

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO AEROMAGNÉTICO DE LA ZONA DE CUPACUY, NORTE DEL ESTADO BOLÍVAR**

Trabajo Especial de Grado  
presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela para  
optar al título de Ingeniero Geofísico  
Por el Br. Azuaje Pérez Rafael Angel

Caracas, Junio de 2004

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO AEROMAGNÉTICO DE LA ZONA DE CUPACUY, NORTE DEL ESTADO BOLÍVAR**

**Tutor Académico: Prof. Inírida Rodríguez**  
**Cotutor Académico: Prof. Sebastian Grande**  
**Tutor Industrial: Ing. Octimio Gutierrez**

Trabajo Especial de Grado  
presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela para  
optar al título de Ingeniero Geofísico  
Por el Br. Azuaje Pérez Rafael Angel

Caracas, Junio de 2004

Caracas, Junio de 2004

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Azuaje Pérez Rafael Angel, titulado:

**“ESTUDIO AEROMAGNÉTICO DE LA ZONA DE CUPACUY, NORTE DEL ESTADO BOLÍVAR”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geofísico y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Rafael Falcón  
Jurado

Prof. Rommel Whilchy  
Jurado

Prof. Inírida Rodríguez  
Tutor Académico

Prof. Sebastián Grande  
Cotutor Académico

Ing. Octimio Gutierrez  
Tutor Industrial

## DEDICATORIA

A Dios omnipotente, quien es mi Padre, mi guía, mi amigo incondicional, a ti debo Señor todo lo que soy.

A la Virgen de Guadalupe, quien en su manto me cobija y me da el amor y la fuerza para lograr mis grandes sueños.

A San Judas Tadeo, abogado de mi seno familiar, nuestro apoyo e instrumento de fe en momentos difíciles.

A ti Mamá, porque a ti me debo, a tu incondicional amor, a tu inagotable esfuerzo, a ese apoyo que siempre ha estado a mi lado, a ese ejemplo que desde niño me ha hecho hombre, a ti porque con amor me has dado el regalo más grande...mi educación. No es ésta mi obra, es la tuya que a través de mi se ha hecho realidad.

A ti Papá, por tu amor, por tu fortaleza, por tus sabios consejos, por tus enseñanzas, por tu longanimidad, por tus buenos ejemplos, por educarme y por hacer de mí un hombre de bien.

A mi hermana Blayodaima, mi segunda madre, mi compañera, quien con amor me cuidó y apoyó en todo momento para que lograra mis metas, ella es ejemplo de que los sueños se pueden hacer realidad. Gracias Yano.

A mi hermano César Augusto, quien es el compañero que con amor y particular gracia incrementa la fuerza para seguir adelante y lograr muchas metas más. Gracias hermano por tu ejemplo, inteligencia y compañía.

A mis Abuelos: A la luz azul de los ojos de Maria Mery, a las manos trabajadoras de Carlos Pérez, a ustedes quienes con gran amor, esfuerzo y sabiduría sembraron las semillas de familia y unión que hoy florecen para que juntos y desde el cielo las cautiven.

A mis tíos quienes me ofrecieron su apoyo, cariño y amor familiar, en especial a mi Tío Carlos Pérez quien es mi gran amigo, buen hombre y ahora colega. También a mi Tío José Reymundo mi especial dedicatoria porque fue gran maestro y amigo.

A mis primos para que esta meta contribuya a la unión familiar y sea estímulo a seguir cosechando triunfos y formar grandes generaciones.

A Gabriela, por su amor, por su incondicional apoyo, por su compañía, comprensión y paciencia, eres parte de esta meta que muy pronto será tuya.

A mis grandes amigos: Eulogio, Augusto, Jatzil, Pedro "Pepi", Luis "Luigi", Ramón, Teresa, Luis "Buli", Maritza, Harold, Francisco y tantos otros con quienes he compartido grandes e inolvidables momentos y han contribuido a mi crecimiento como ser humano y hoy día como profesional.

A Donna, Princesa y Pelusa †, fieles compañeras, pequeñas e inocentes, grandes y nobles seres que me alegran la vida.

## AGRADECIMIENTOS

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela, mi segundo hogar, en tus aulas y pasillos me formé como mejor ser humano, bajo tus techos llenos de arte viví dulces y amargos momentos, todo esto y mucho mas para darme al fin el regalo más anhelado.

A la Profesora Inírida Rodríguez, por haberme brindado su invaluable apoyo, profesionalismo, orientación y amistad durante el desarrollo de mi carrera.

Al Profesor Sebastián Grande, por sus sabios aportes, por su amistad y su desinteresada ayuda en todo momento.

Al Profesor Franco Urbani, por su calidad humana, por ser gran amigo y profesional consejero, por su ayuda e incondicional contribución.

Al Ing. Octimio Gutierrez de INGEOMIN, por brindarme la oportunidad de elaborar el presente trabajo bajo su tutoría y orientación.

A la Lic. Nieves Nevado y al Lic. Francisco Araujo de INTEVEP, por su profesionalismo, por el tiempo dedicado y por su valiosa y desinteresada contribución.

Al T.S.U. Julian Bigott de la U.C.V. por brindarme sus conocimientos y valiosa ayuda en la realización de análisis de laboratorio contemplados en el presente trabajo.

A mis compañeros de Tesis: Liz, Maxlin, Emgelberth, Natalia, Nanvir, Alexander y Leo por compartir grandes momentos y apoyar el desarrollo integral de este proyecto.

A la Lic. Morella Mikatti, hermoso ser humano que me brindó en todo momento su amistad, su cariño, su apoyo y sus valiosos consejos durante mi carrera.

Al Ing. Eduardo Castillo, por ser gran colaborador, amigo y herramienta de apoyo en el curso de mis estudios.

A Eunices, por brindarme su mano amiga, su sonrisa, su apoyo en buenos y malos momentos y alegrar día a día esta lucha que apenas comienza.

A Maria Teresa, mi alegre amiga que tendió su mano para apoyarme siempre, para reír conmigo, y estar presente en los momentos difíciles y agradables.

A Cecília Hernández de Gente de Petróleo, por su amistad, por su fortaleza y ayuda incondicional.

Al Profesor Robert Hutchinson, verdadero profesional y amigo que graciosamente me regaló grandes enseñanzas.

A la Profesora Graciela Martis, excelente docente, amiga, ser humano de gran fe y corazón.

A Lenin Quintero, Jhovany Fernández “Chicho” por compartir grandes momentos y ofrecer su mano amiga en el curso de mi carrera.

A las Familias: Jiménez Avilez, Marcano Avendaño, Silva Arnal, Carrillo Aponte, Camacho Dugarte, Vilerá Dugarte y Moros Trocoli por ofrecerme la calidez de su hogar y de una u otra manera contribuir al logro de esta meta.

A los Ingenieros: Moisés “Mou”, Danielis, Isa y Luis Camposano, excelentes amigos que me apoyaron y brindaron su amistad para cursar parte de mi carrera y realizar este trabajo.

A todos mil gracias.

Rafael

**AZUAJE, P. RAFAEL, A.**

**ESTUDIO AEROMAGNÉTICO DE LA ZONA DE CUPACUY, NORTE  
DEL ESTADO BOLÍVAR**

**Tutor Académico: Prof. Inírida Rodríguez. Cotutor Académico: Prof. Sebastián Grande. Tutor Industrial: Ing. Octimio Gutierrez. Tesis. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología Minas y Geofísica. Caracas. Año 2004. 129 p.**

**PALABRAS CLAVES:** Aeromagnetismo, Cupacuy, Bolívar.

**RESUMEN**

Durante los años 1959 y 1961 el Ministerio de Energía y Minas inició una campaña exploratoria en el sur de Venezuela con la finalidad de obtener datos magnéticos que en conjunto con la correlación geológica aportarán información acerca de la distribución de minerales en el subsuelo. La Compañía Hunting Survey Geology and Geophysics L.T.D realizó un levantamiento aeromagnético sobre el Estado Bolívar con el cual elaboró mapas aeromagnéticos en escala 1:50000, que en la actualidad representan la información base de un proyecto conjunto del Instituto Nacional de Geología y Minas del M.E.M (INGEOMIN) y el Departamento de Geofísica de la U.C.V., que comprende la revisión, análisis e interpretación de los mapas elaborados con el fin de ubicar nuevas zonas para explotación mineral.

La revisión de la información aeromagnética determinó que existen limitantes para realizar nuevos estudios geofísicos, ya que los mapas sólo pueden ser analizados desde criterios descriptivos y cualitativos, por otra parte no existe una base de datos que permita aplicar nuevas técnicas de procesamiento y análisis que conduzcan a realizar mejores interpretaciones.

Con base en lo anterior se plantea desarrollar un estudio en la zona de Cupacuy, ubicada al NE del Estado Bolívar entre coordenadas 61° 45' W

62° 30' W de longitud y 7° 30' N - 8° 00' N de latitud; que comprende la construcción de una base de datos magnéticos a partir de la digitalización de mapas aeromagnéticos de la zona, para aplicar mediante programas computacionales, análisis estadístico, geoestadístico y espectral de los datos, seguido por la construcción y análisis del mapa de Intensidad Magnética Total y Reducción al Polo. Con la información de los mapas generados y el mapa de Anomalía de Bouguer de la zona se construyeron 3 perfiles que permiten proponer un modelo estructural del subsuelo.

Los resultados obtenidos del estudio permitieron determinar que la dirección predominante de IMT es N 80° E, con valores máximos comprendidos entre 7200 y 10160 gammas en coordenadas de longitud 61,15° W - 62,50° W y 7,75° N - 8,00° N de latitud. La respuesta gravimétrica dentro de estas coordenadas son valores máximos de anomalía de Bouguer entre valores -22 a -12 miligales. La correlación de parámetros geológicos y geofísicos permiten determinar que la Provincia de Imataca ubicada al NE de la zona de estudio es la estructura que genera las mayores respuestas anómalas; la unidad de Imataca se distribuye como base a la Provincia de Pastora, la cuales en superficie están limitadas por la falla de Guri.

De acuerdo a modelos de subsuelo propuestos en este estudio se apoya el planteamiento realizado por Dickinson (1971) el cual propone que la asociación petrotectónica de la Provincia de Imataca se puede explicar por el proceso de subcorrimento y formación de montañas en la zona de fosa, en la cual dos placas en la zona de geosutura (falla de Guri) colisionaron y se produjo la incorporación de rocas plásticas y móviles de Pastora sobre las rocas de Imataca. El subcorrimento fue muy lento y permitió el desarrollo de rocas metamórficas de gradientes geotérmicos intermedios.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABLAS.....	xv

### CAPÍTULO I

1.1 Introducción.....	16
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo General.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
1.3 Justificación.....	18
1.4 Ubicación de la zona de estudio.....	19
1.5 Metodología.....	20
1.5.1 Fuente de información geofísica.....	21
1.5.2 Digitalización de mapas aeromagnéticos.....	23
1.5.3 Construcción de una base de datos aeromagnéticos.....	24
1.5.4 Análisis estadístico, geoestadístico y espectral de los datos aeromagnéticos.....	24
1.5.5 Elaboración de mapas de IMT y AB.....	26
1.5.6 Elaboración de mapas de 2° DV y RTP.....	27
1.5.7 Construcción de perfiles.....	30
1.5.8 Modelaje gravimétrico y magnético.....	31
1.5.9 Interpretación cuantitativa y cualitativa.....	32

### CAPÍTULO II

2.1 Geología regional.....	33
2.1.1 Provincia de Imataca.....	33

2.1.2 Provincia de Pastora.....	35
2.1.3 Provincia de Cuchivero.....	39
2.1.4 Provincia de Roraima.....	42
2.1.5 Evolución tectónica del Escudo de Guayana.....	43
2.2 Geología Local.....	47
2.3 Reconocimiento geológico.....	53

### CAPÍTULO III

3.1 Fundamentos Teóricos.....	63
3.1.1 Métodos gravimétricos.....	63
3.1.2 Métodos Magnéticos.....	66

### CAPÍTULO IV

4.1 Presentación y análisis de resultados.....	72
4.1.1 Resultados gravimétricos.....	72
4.1.2 Resultados magnéticos.....	84
4.1.3 Resultados del reconocimiento geológico.....	106
4.1.4 Resultados del modelaje gravimétrico y magnético.....	113

CONCLUSIONES.....	121
-------------------	-----

RECOMENDACIONES.....	125
----------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIA CITADAS.....	126
--	-----

## LISTA DE FIGURAS

<b>Fig. N°</b>		<b>pág</b>
1.1	Ubicación de la zona de estudio.....	19
1.2	Esquema del proceso metodológico seguido en el estudio.....	20
1.3	Distribución de estaciones gravimétricas en el norte del Edo. Bolívar.....	22
1.4	Diagrama de identificación de los mapas aeromagnéticos de Cupacuy, Edo. Bolívar.....	23
1.5	Interpretación del análisis espectral.....	26
1.6	Efecto de aplicación de reducción al polo.....	28
1.7	Separación Regional-Residual de AB.....	30
2.1	Esquema de distribución litológica del Supergrupo Pastora.....	35
2.2	Provincias geológicas del Escudo de Guayana.....	43
2.3	Marco geológico de la zona de estudio.....	48
2.4	Ubicación de la Provincia de Imataca.....	49
2.5	Ubicación de la Provincia de Pastora.....	49
2.6	Ubicación del Granito del Parguaza.....	52
2.7	Afloramiento de Anfibolita. Provincia de Imataca.....	55
2.8	Muestra de anfibolita. Provincia de Imataca.....	55
2.9	Afloramiento de Regolito.....	57
2.10	Veta de Cuarzo. Grupo Carichapo sin diferenciar.....	58
2.11	Gneis thronjemítico meteorizado del Complejo Supamo.....	58
2.12	Estructura Plegada perteneciente al Complejo de Supamo.....	59
2.13	Gneis tonalítico.....	60
2.14	Afloramiento en Carretera. Gneis thonalítico.....	60
3.1	Efecto topográfico en mediciones gravimétricas.....	65
3.2	Líneas de campo magnético de la Tierra.....	67
3.3	Componentes del Campo Magnético Terrestre.....	67
4.1	Mapa de Anomalía de Bouguer del norte del Edo. Bolívar.....	73

<b>Fig. N°</b>	<b>pág</b>
4.2	Mapa gravimétrico de la zona de Cupacuy, Norte del Edo Bolívar....75
4.3	Mapa Geológico y Anomalía de Bouguer de la zona de Cupacuy, Edo. Bolívar..... 77
4.4	Bondad de Ajuste Separación Regional – Residual del Mapa de AB.... 79
4.5	Mapa de Anomalía Regional de Bouguer de 3° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar..... 81
4.6	Mapa de Anomalía Residual de Bouguer de 3° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar..... 81
4.7	Mapa de Anomalía Regional de Bouguer de 1° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar..... 82
4.8	Mapa de Anomalía Residual de Bouguer de 1° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar..... 82
4.9	Mapa de Anomalía Regional de Bouguer de 2° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar..... 82
4.10	Mapa de Anomalía Residual de Bouguer de 2° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar..... 82
4.11	Mapa de Anomalía Regional de Bouguer de 4° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar..... 83
4.12	Mapa de Anomalía Residual de Bouguer de 4° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar..... 83
4.13	Mapa de Anomalía Regional de Bouguer de 5° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar..... 83
4.14	Mapa de Anomalía Residual de Bouguer de 5° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar..... 83
4.15	Histograma de Frecuencia de IMT..... 85
4.16	Variograma de localización de datos de la zona de estudio..... 87
4.17	Curva de ajuste de los variogramas teóricos de IMT..... 88
4.18	Roseta de distribución espacial de IMT..... 88
4.19	Elipse de anisotropía de IMT..... 89
4.20	Análisis espectral de IMT de la zona Cupacuy, Edo. Bolívar.....90

<b>Fig. N°</b>	<b>pág</b>
4.21 Análisis espectral de perfil A-A' .....	91
4.22 Análisis espectral de perfil B-B' .....	92
4.23 Análisis espectral de perfil C-C' .....	93
4.24 Esquema del desfase entre mapas NS-46, NS-47, NT 46.....	94
4.25 Esquema de ajuste del desfase entre mapas NS-46, NS-47, NT-46.....	94
4.26 Mapa de posicionamiento de líneas digitalizadas de la zona de Cupacuy Edo. Bolívar.....	95
4.27 Mapa de posicionamiento de líneas digitalizadas corregido de la zona de Cupacuy, Edo. Bolívar.....	96
4.28 Mapa de Intensidad Magnética Total de la zona de Cupacuy, Edo. Bolívar.....	98
4.29 Bondad de ajuste separación Regional –Residual del mapa de IMT.....	99
4.30 Mapa de Anomalía Regional de IMT de 3° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar.....	101
4.31 Mapa de Anomalía Residual de IMT de 3° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar.....	101
4.32 Mapa de Anomalía Regional de IMT de 1° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar.....	102
4.33 Mapa de Anomalía Residual de IMT de 1° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar.....	102
4.34 Mapa de Anomalía Regional de IMT de 2° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar.....	102
4.35 Mapa de Anomalía Residual de IMT de 2° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar.....	102
4.36 Mapa de Anomalía Regional de IMT de 4° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar.....	103
4.37 Mapa de Anomalía Residual de IMT de 4° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar.....	103
4.38 Mapa de Anomalía Regional de IMT de 5° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar.....	103

<b>Fig. N°</b>	<b>pág</b>
4.39 Mapa de Anomalía Residual de IMT de 5° Grado de la zona de Cupacuy, Edo. Bolívar.....	103
4.40 Mapa de Reducción al Polo de IMT de la zona de Cupacuy, Edo. Bolívar.....	105
4.41 Marco geológico con perfiles de la zona de estudio.....	114
4.42 Modelo Gravimétrico-Magnético del Perfil A-A'.....	116
4.43 Modelo Gravimétrico-Magnético del Perfil B-B'.....	118
4.44 Modelo Gravimétrico-Magnético del Perfil C-C'.....	120
4.45 Mapa general del estudio integrado de IMT, norte del Estado Bolívar.....	124

## LISTA DE TABLAS

Tabla N°		pág.
2.1	Identificación de muestras recolectadas en la observación de 2° Afloramiento.....	57
4.1	Datos Gravimétricos de Anomalía de Bouguer.....	74
4.2	Datos de la Bondad de Ajuste Separación Regional-Residual del Mapa de AB.....	79
4.3	Datos generados por la digitalización de los Mapas Aeromagnéticos.....	84
4.4	Resultados del análisis estadístico de IMT.....	85
4.5	Profundidades estimadas a partir del análisis espectral de IMT de la zona de Cupacuy, Edo. Bolívar.....	90
4.6	Profundidades estimadas a partir del análisis espectral del perfil A-A'.....	91
4.7	Profundidades estimadas a partir del análisis espectral del perfil B-B'.....	92
4.8	Profundidades estimadas a partir del análisis espectral del perfil C-C'.....	93
4.9	Datos de la Bondad de Ajuste Separación Regional-Residual de IMT.....	99
4.10	Resultados de los análisis de laboratorio de las muestras de roca.....	110

## CAPÍTULO I

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Durante los años 1959 y 1961 el Ministerio de Energía y Minas (M.E.M.) realizó una campaña exploratoria en el sur de Venezuela con el fin de obtener información magnética que permitiera elaborar mapas de Intensidad Magnética Total y posteriormente establecer, a través de estudios geofísicos y geológicos, zonas mineras económicamente rentables.

La Compañía Hunting Survey Geology and Geophysics L.T.D realizó el levantamiento aeromagnético sobre el Estado Bolívar, y posteriormente aplicó técnicas de interpolación y algoritmos matemáticos como herramientas de procesamiento para elaborar mapas aeromagnéticos en escala 1:50.000.

Una de las zonas exploradas en el estudio fue la de Cupacuy, la cual está ubicada al NE del Estado Bolívar entre coordenadas  $61^{\circ} 45' W - 62^{\circ} 30' W$  de longitud y  $7^{\circ} 30' N - 8^{\circ} 00' N$  de latitud; esta zona representa gran interés para el Instituto Nacional de Geología y Minas (INGEOMIN) del M.E.M., ya que por sus características geológicas presenta indicios favorables para la existencia de yacimientos minerales.

En la actualidad INGEOMIN está desarrollando proyectos que permitan ubicar nuevas zonas para la explotación minera sobre la base de estudios geológicos y geofísicos previos. La revisión de la información magnética de las áreas de interés ha determinado que existen limitantes para realizar nuevos estudios, ya que los mapas sólo pueden ser analizados desde criterios descriptivos y cualitativos; por otra parte no existe una base de datos que permita aplicar nuevas técnicas de procesamiento y análisis que conlleven a realizar una identificación efectiva de la fuente en el subsuelo.

Con base en lo anteriormente expuesto se plantea desarrollar un proyecto conjunto INGEOMIN-UCV que comprende el estudio aeromagnético del Estado Bolívar, a través de la elaboración de 8 Trabajos Especiales de Grado que sobre la base de levantamientos aeromagnéticos previos establezcan nuevas formas para el manejo e interpretación de los datos. Una de las zonas establecidas para el desarrollo del proyecto es la de Cupacuy, la cual se estudia en el actual trabajo bajo una metodología que comprende la construcción de una base de datos magnéticos a partir de la digitalización de mapas aeromagnéticos de la zona, que permita aplicar programas de computación para el procesamiento y análisis de los datos. Posteriormente se realiza el estudio estadístico, geoestadístico y espectral de los datos, seguido por la construcción y análisis del mapa de Intensidad Magnética Total en formato digital. Sobre el mapa generado y con el sustento de la información gravimétrica de la zona se construyen 3 perfiles que permiten proponer un modelo estructural del subsuelo y al mismo tiempo es posible realizar la interpretación y análisis de mapas generados a partir de la aplicación de algoritmos matemáticos como Segunda Derivada Vertical (DV) y Reducción al Polo (RTP) que contribuye a localizar fuentes minerales en el subsuelo.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Proponer un modelo del subsuelo a partir del análisis integrado de mapas aeromagnéticos de la zona de Cupacuy entre coordenadas  $61^{\circ} 45' W$  a  $62^{\circ} 30' W$  de longitud y  $7^{\circ} 30' N$  -  $8^{\circ} 00' N$  de latitud al norte del Estado Bolívar, que contribuya en la localización de yacimientos minerales económicamente rentables.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Construir una base de datos aeromagnéticos en formato digital de la zona de Cupacuy entre coordenadas  $61^{\circ} 45' W$ -  $62^{\circ} 30' W$  de longitud y  $7^{\circ} 30' N$  -  $8^{\circ} 00' N$  de latitud.

- Elaborar mapas de Intensidad Magnética Total, Segunda Derivada Vertical y Reducción al Polo a partir de la base de datos aeromagnéticos generada.
- Analizar estadística, geoestadística y espectralmente los datos aeromagnéticos.
- Elaborar mapas de anomalías gravimétricas regionales y residuales a partir del mapa de Anomalía de Bouguer de la zona de estudio.
- Construir 3 perfiles sobre los mapas aeromagnéticos y gravimétricos.
- Proponer un modelo estructural del subsuelo a partir de los datos gravimétricos y aeromagnéticos, con respaldo en la información geológica de la zona de estudio.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Venezuela cuenta con un gran potencial en reservas de yacimientos minerales, que en el mundo actual resultan de gran importancia como materia prima en los procesos industriales que se desarrollan a nivel nacional e internacional. Para el Ministerio de Energía y Minas como órgano del Estado encargado de la planificación, fiscalización y administración de los recursos minerales, es necesario conocer la ubicación, capacidad de explotación y nivel de reservas de los minerales que se distribuyen en el subsuelo a lo largo del Territorio Nacional.

Es por esta razón que la realización del presente trabajo contribuye a establecer a través de la interpretación y análisis de mapas aeromagnéticos y gravimétricos un modelo estructural del subsuelo que describa la distribución litológica de la zona y conduzca a plantear la posible localización de yacimientos minerales fundamentado en la aplicación de métodos geofísicos de exploración y su respectiva correlación geológica. De igual forma se elaboró una base de datos magnéticos en formato digital que permite el manejo de la información de manera rápida y efectiva, y no sólo hará posible la construcción de nuevos mapas aeromagnéticos digitales, sino que también serán los elementos de entrada a cualquier análisis computacional de datos que pueda aplicarse con la finalidad de

mejorar y actualizar la información acerca de la distribución y capacidad de explotación de las riquezas minerales del País.

#### 1.4 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en el sur de Venezuela, al NO del Estado Bolívar, entre coordenadas de longitud  $61^{\circ} 45' W - 62^{\circ} 30' W$  y  $7^{\circ} 30' N - 8^{\circ} 00' N$  de latitud; longitudinalmente se extiende en 83,25 km y en latitud representa 55,5 km, siendo el área aproximada de  $4620,375 \text{ km}^2$  (Figura n° 1.1).

67° 27' 30" W

60° 35' 00" W

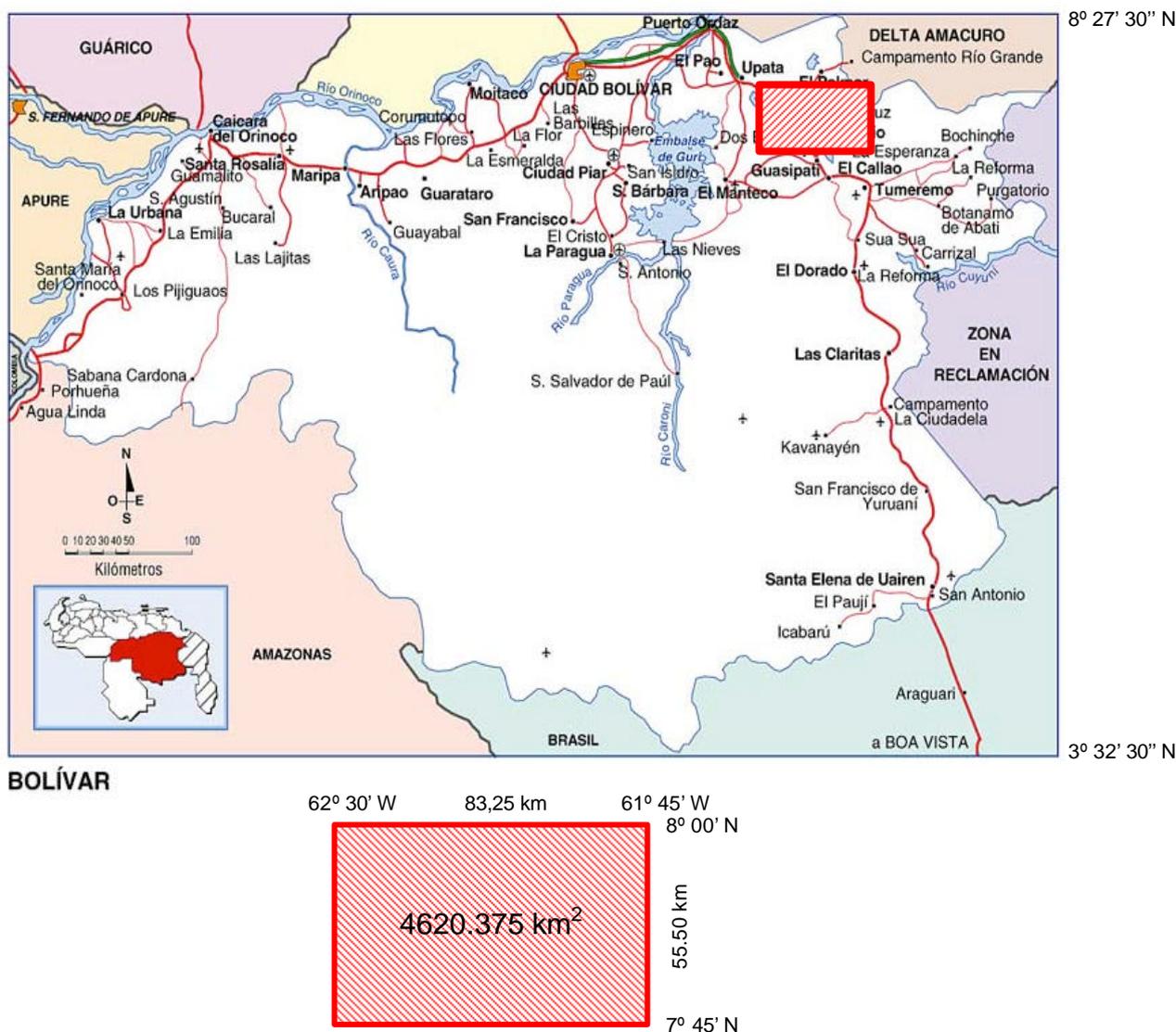


Figura n° 1.1. Ubicación de la zona de estudio. Tomado de Mapas de Venezuela (2004)

## 1.5 METODOLOGÍA

El proceso metodológico a desarrollar para cumplir los objetivos propuestos se muestra en el esquema de la Figura nº 1.2.

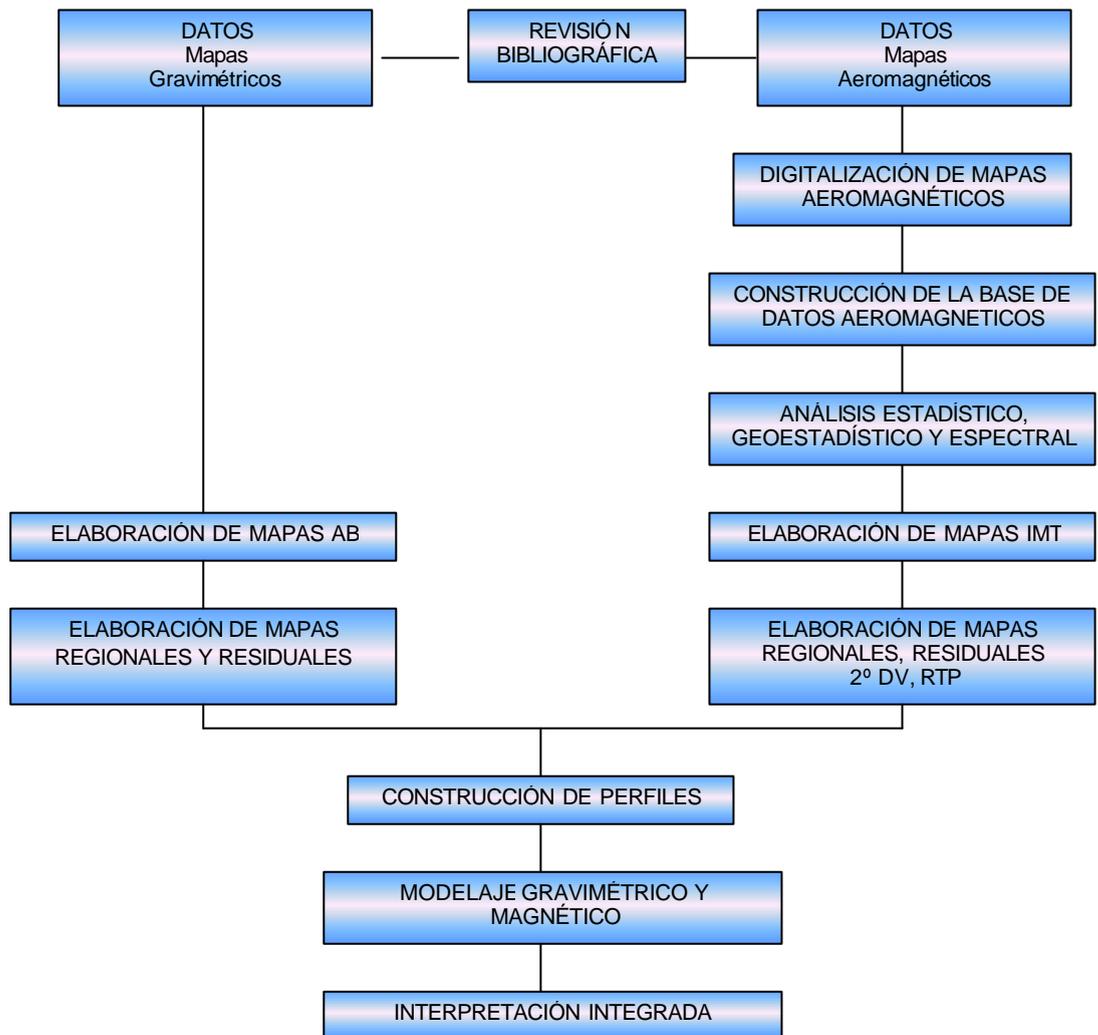


Figura nº 1.2. Esquema del proceso metodológico seguido en este estudio

### **1.5.1 FUENTE DE INFORMACIÓN GEOFÍSICA**

El estudio se inicia con una fase de revisión bibliográfica que consistió en investigar las unidades litoestratigráficas y la evolución tectónica de la Guayana Venezolana, con el fin de conocer la distribución litológica en el Estado Bolívar y así correlacionar las respuestas asociadas a la aplicación de métodos indirectos de prospección geofísica.

Del mismo modo se revisaron los aspectos relevantes y los principios teóricos y de aplicación de los métodos magnéticos y gravimétricos, con el objetivo de conocer la relación del concepto físico y la respuesta natural del subsuelo.

En cuanto al procesamiento de datos se revisó información referente a la aplicación de algoritmos matemáticos que resaltan o disminuyen el efecto de las variables de interés en el estudio a desarrollar; para ello el uso del computador representa una herramienta imprescindible, por lo que se requirió la revisión de programas para el análisis computacional de los datos con aplicación a la Geofísica.

### **DATOS GRAVIMÉTRICOS**

Los datos gravimétricos se tomaron de la Red Gravimétrica Nacional y fueron suministrados por el Departamento de Geofísica de la U.C.V. La información recolectada permitió establecer 1879 estaciones gravimétricas distribuidas en el norte del Estado Bolívar, a partir de las cuales se identificó un total de 230 estaciones de levantamiento gravimétrico terrestre para la zona específica de Cupacuy, entre coordenadas de longitud  $61^{\circ} 45' W - 62^{\circ} 30' W$  y  $7^{\circ} 30' N - 8^{\circ} 00' N$  de latitud, correspondientes al marco de estudio. Las estaciones gravimétricas se distribuyen en la zona de acuerdo a las condiciones viales y de acceso, por lo que gran parte de las mediciones se realizaron de acuerdo a la disposición de carreteras. La distribución general de las estaciones gravimétricas al norte del Estado Bolívar y el marco específico de estudio se ilustra en la Figura n° 1.3.

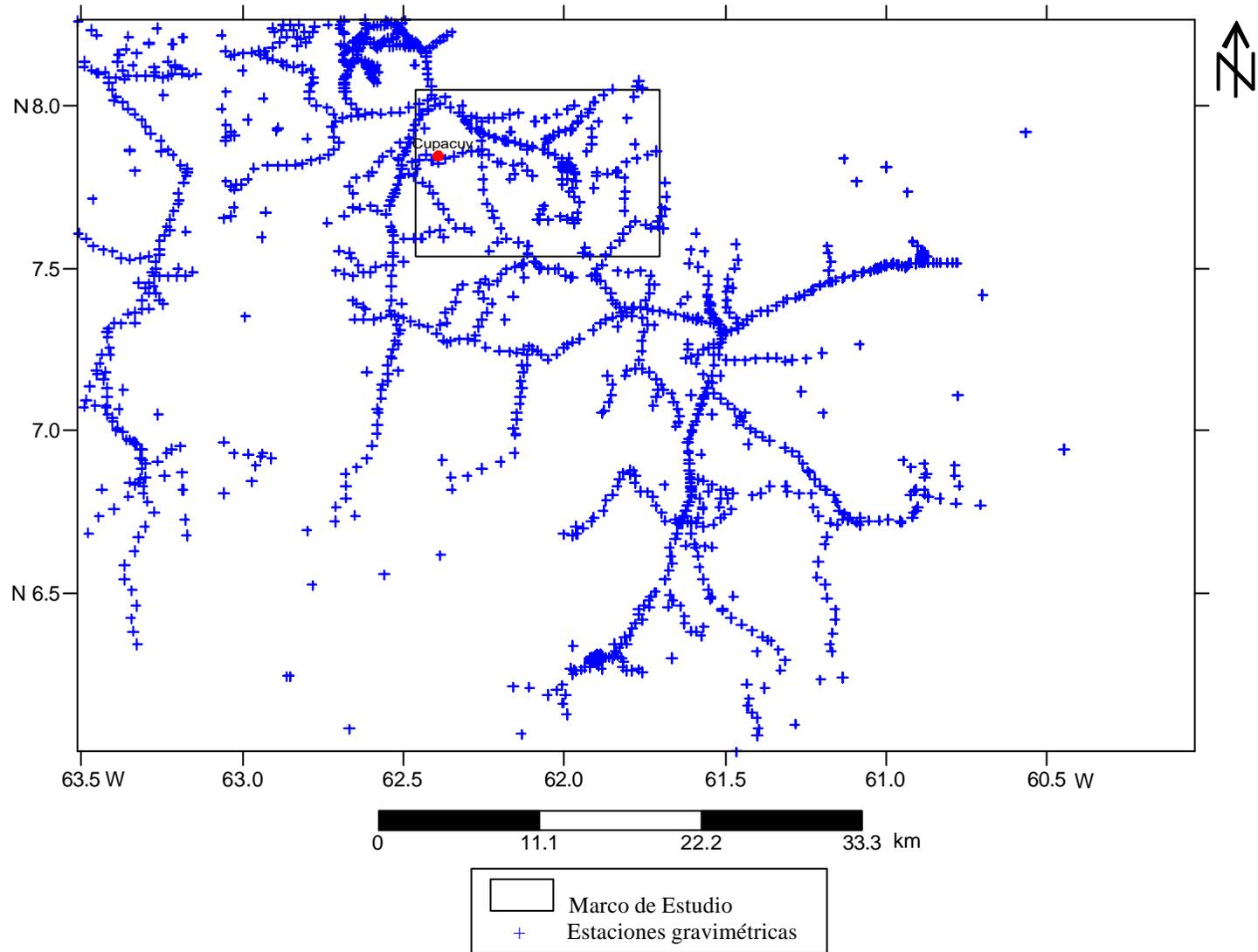


Figura n° 1.3. Distribución de estaciones gravimétricas en el norte del Edo. Bolívar.

## DATOS MAGNÉTICOS

Se dispuso de 6 mapas aeromagnéticos suministrados por el Instituto Nacional de Geología y Minas (INGEOMIN), a escala 1:50.000, con intervalo entre curvas de 20 gammas correspondientes a las hojas NS-45, NS-46, NS-47, NT-45, NT-46, NT-47 entre coordenadas de longitud  $61^{\circ} 45' W - 62^{\circ} 30' W$  y  $7^{\circ} 30' N - 8^{\circ} 00' N$  de latitud, distribuidos según se ilustra en la Figura n° 1.4.

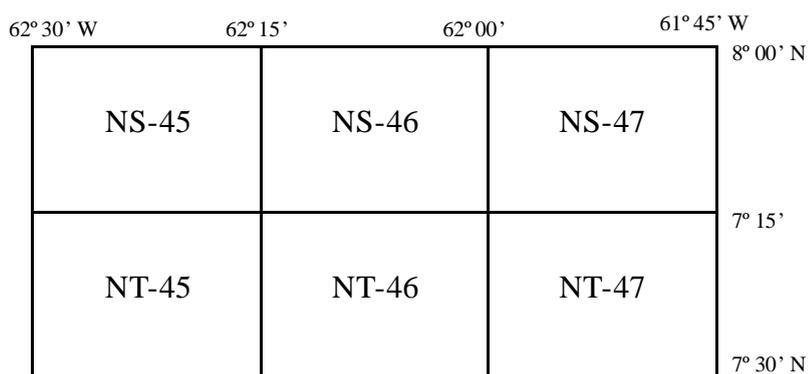


Figura n° 1.4. Diagrama de identificación de los mapas aeromagnéticos de Cupacuy, Edo. Bolívar.

Los datos aeromagnéticos fueron adquiridos por la Compañía Aeroservice Corporation de Venezuela C.A. y Hunting Airbone Geophysics Limited en vuelos realizados de enero a abril de 1959, a una altura de vuelo de 152 m.s.n.m. y una separación de 500 m. entre líneas de vuelo.

### 1.5.2 DIGITALIZACIÓN DE MAPAS AEROMAGNÉTICOS

El proceso de digitalización comprendió en primer lugar la creación de una copia digital de cada uno de los 6 mapas aeromagnéticos de la zona, usando una copiadora digital "Scanner", con el fin de llevar los mapas a formato de imagen digital.

La imagen fue asignada al programa AutoCAD® Autodesk Inc. (2002), donde usando una herramienta de seguimiento lineal se copió punto a punto cada línea de contorno del mapa, creando así una ubicación espacial de cada punto en coordenadas ortogonales X, Y, Z, donde "X" es la latitud, "Y" la longitud y "Z" el valor de la Intensidad Magnética Total.

Cada línea copiada representa un conjunto de puntos que el programa almacena, y que posteriormente al ser solicitada por el comando “LIST” puede ser visualizada y copiada como una lista de datos con extensión “.TXT” para ser exportada a otro programa de manejo y cálculo de datos.

### **1.5.3 CONSTRUCCIÓN DE UNA BASE DE DATOS AEROMAGNÉTICOS**

El conjunto de datos generados en AutoCAD, fue copiado en Excel<sup>®</sup> Office<sup>®</sup> 2003 Microsoft, donde se filtró de información textual innecesaria y se organizó en variables independientes X,Y,Z, formato necesario para ser copiado en cualquier otro programa de computación.

Los datos depurados provenientes de Excel se copiaron en una hoja de datos del Surfer 8<sup>®</sup>, Golden Software Inc. (2002), para ser guardados posteriormente con la extensión “.DAT”. El proceso de copia de los datos de Excel a Surfer se realiza ya que Excel permite en cada hoja de trabajo el manejo de sólo 64400 datos aproximadamente, cantidad que resulta insuficiente en el manejo de datos provenientes de adquisiciones a gran escala. De esta manera se crea la base de datos de los mapas en formato “.DAT” en el programa Surfer, la cual permite la aplicación de otros programas de análisis y procesamiento de los datos.

### **1.5.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO, GEOESTADÍSTICO Y ESPECTRAL DE DATOS AEROMAGNÉTICOS.**

#### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para el análisis estadístico se usó del Programa de computación SPSS<sup>®</sup> 10.0 for Windows ©1999 SPSS Inc, a través del cual se determinaron las medidas de tendencia central y de dispersión de los datos. También se construyó el histograma de frecuencias asociado con el fin de conocer la distribución de los datos aeromagnéticos generados.

## ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

Con el uso del SPSS se determinó de manera aleatoria un número de 1000 datos aeromagnéticos, los cuales comprenden una muestra representativa de los datos totales y al mismo tiempo son los datos de entrada al programa de computación GRIDSTAT PRO<sup>®</sup> Inc. (1999) usado para el análisis geoestadístico.

El GRIDSTAT PRO<sup>®</sup> Inc. (1999) es una herramienta computacional que permite conocer el comportamiento espacial de la variable en estudio (en este caso IMT) a partir de la generación de variogramas y de la elipse de anisotropía, elemento geométrico de gran utilidad en la determinación de la dirección de la anisotropía.

## ANÁLISIS ESPECTRAL

El análisis espectral consiste en el estudio de la longitud de onda proveniente de las anomalías presentes en la zona de estudio. Para ello se transforma el conjunto de datos en el dominio espacial a un conjunto de datos en el dominio de "Fourier" o número de onda a través de la Transformada de Fourier, (Figura n° 1.5)

El programa usado para realizar el análisis espectral es el Magmap<sup>TM</sup><sup>®</sup> de GEOSOFT (1996), el cual aplica la Transformada de Fourier como operación preliminar a la determinación del contenido de longitud de onda, calculando a su vez la profundidad a la cual está la fuente causante de la anomalía. Si se considera un sistema geométrico de fuentes (una malla), el logaritmo del espectro de estos datos puede ser estadísticamente interpretado para conocer la profundidad de la fuente a través de la relación (Bhattacharyya, 1966; Spector et al., 1970).

$$\text{Log } E(r) = 4. \pi \cdot h \cdot r \quad (\text{Ecuación n° 1.1})$$

De esta manera la profundidad de la fuente se determina por:

$$z = \frac{m}{4p} \quad (\text{Ecuación n° 1.2})$$

Donde  $z$ : es la profundidad de la fuente  
 $m$ : pendiente del espectro de energía

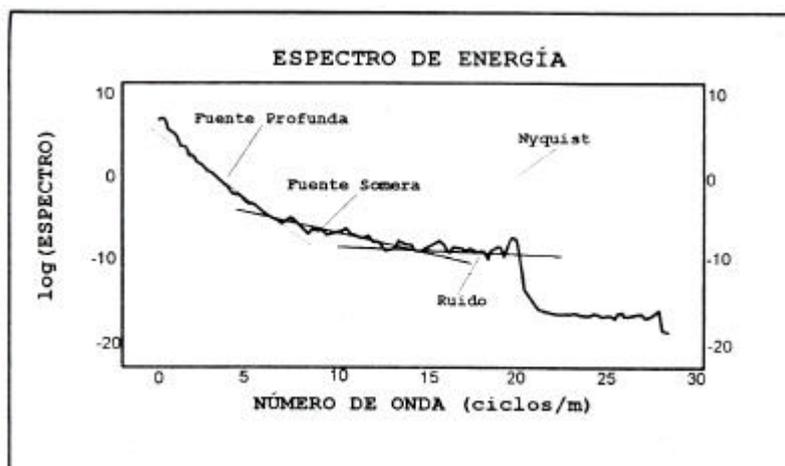


Figura nº 1.5. Interpretación del análisis espectral Tomado del Manual de GEOSOFT, 1996

### 1.5.5 ELABORACIÓN DE MAPAS DE INTENSIDAD MAGNÉTICA TOTAL (IMT) Y ANOMALÍA DE BOUGUER (AB).

#### MAPA DE IMT

A partir de la base de datos construida de la zona de Cupacuy, se generó en el Programa MAGMAP<sup>TM</sup>, GEOSOFT INC (1996), el mapa de Intensidad Magnética Total, usando como método de interpolación el de Mínima Curvatura "Rangrid" el cual calcula los valores de la malla o "grid" en base a la distancia promedio inversa de los datos dentro de un radio definido.

#### MAPA DE AB

Con los datos gravimétricos se construyó el mapa de contornos de Anomalía de Bouguer de la zona de Cupacuy, usando el Programa SURFER 8<sup>©</sup> Golden Software Inc. (2002), el método de interpolación usado fue "Kriging", y se usó el método de suavizado de contornos "alto", con un intervalo de separación entre curvas de 2 miligales.

## 1.5.6 ELABORACIÓN DE MAPAS DE 2º DV Y RTP.

### MAPA DE 2º DERIVADA VERTICAL.

La segunda derivada vertical consiste en la diferenciación de la tendencia regional o profunda de la superficial o residual a través de la aplicación de un algoritmo matemático que resalta los efectos superficiales.

Según Elkins (1950), aplicando la segunda derivada parcial con respecto a la componente vertical de un campo potencial, usando la ecuación de Laplace, y luego despejando se obtiene:

$$-\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (\text{Ecuación n}^\circ 1.3)$$

Al calcular la Transformada de Fourier se obtiene la expresión:

$$F\left[\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right] = k_x^2 F[u] + k_y^2 F[u] = [k]^2 F[u] \quad (\text{Ecuación n}^\circ 1.4)$$

(Blakely, 1996)

Donde  $K^n$  representa el orden de diferenciación.

Posteriormente se aplica la Transformada Inversa de Fourier ( $FFT^{-1}$ )

### MAPA DE REDUCCIÓN AL POLO

La reducción al polo consiste en corregir la variación en la anomalía magnética generada por el efecto del campo magnético sobre estructuras geológicas del subsuelo a través de un algoritmo que unifica la polarización de la anomalía, (Figura 1.6).

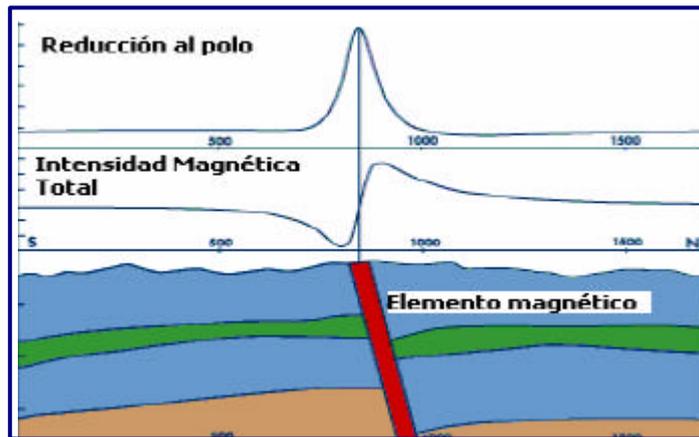


Figura 1.6. Efecto de aplicación de reducción al polo. (Sharma, 1996)

Para aplicar la Reducción al Polo El programa MAGMAP™, GEOSOFT INC (1996) procesa los datos aeromagnéticos según la siguiente ecuación:

$$L(q) = \frac{-\cos^2(D - q)}{[\text{sen}(I_a) + i \cdot \cos I \cdot \cos(D - q)]^2} \quad (\text{Ecuación n}^\circ 1.5)$$

$$\text{si } I_a < I \rightarrow I_a = I$$

Donde:

$I$  inclinación magnética

$D$  declinación geomagnética

$I_a$  inclinación por corrección de amplitud

? Latitud

## MAPAS DE ANOMALÍAS REGIONALES Y RESIDUALES DE IMT

Los mapas regionales y residuales de IMT permiten diferenciar el efecto de fuentes profundas y fuentes someras. Las estructuras profundas de gran extensión generan curvas isoanómalas de longitudes mayores que muestran predominantemente la dirección de imanación total de las rocas distribuidas en el subsuelo. Por otro lado las fuentes superficiales representan el efecto residual de la anomalía y generan curvas isoanómalas que aumentan o disminuyen hacia un “centro” en los que la dirección de alargamiento señala el rumbo del cuerpo anómalo.

La separación regional-residual se realiza aplicando algoritmos matemáticos y herramientas computacionales que optimizan el proceso con el fin de distinguir efectos someros y profundos así como también establecer posibles contactos entre rocas de diferente intensidad total de imanación.

## **MAPAS DE ANOMALÍAS REGIONALES Y RESIDUALES DE AB**

El mapa de Anomalías de Bouguer refleja el contraste de densidad de las rocas en el subsuelo como resultado de la superposición de anomalías de onda larga con las de onda corta. Las estructuras extensas y profundas generan respuestas de onda larga, las cuales son interpretadas como el efecto regional, mientras que las estructuras superficiales y de menor extensión generan una respuesta de onda corta y representan el efecto residual.

Para determinar la ubicación de las fuentes y lograr una interpretación ajustada a la distribución de éstas, se realiza la separación regional-residual fundamentada en la siguiente relación:

$$A_B = A_{Reg} + A_{Res} \quad (\text{Ecuación n}^\circ 1.6)$$

La separación regional-residual puede realizarse por varios métodos, entre ellos:

- Ajuste por superficies de tendencias polinómicas.
- Análisis en el Dominio de la Frecuencia: Continuación analítica del campo, Filtros y Derivadas.

La técnica usada en este estudio fue el ajuste polinómico, el cual consiste en suponer que la anomalía regional se puede expresar como una superficie polinómica de grado n.

El programa Surfer 8<sup>®</sup>, Golden Software Inc. 2002 es una herramienta computacional que permite separar los efectos de las anomalías regionales de las residuales, para ello se genera a partir de los datos de entrada una interpolación polinomial de grado n, que restada a la interpolación Kriging de los datos

originales, se obtiene como resultado una columna de datos correspondiente a la anomalía residual de grado  $n$ , Figura nº 1.7.

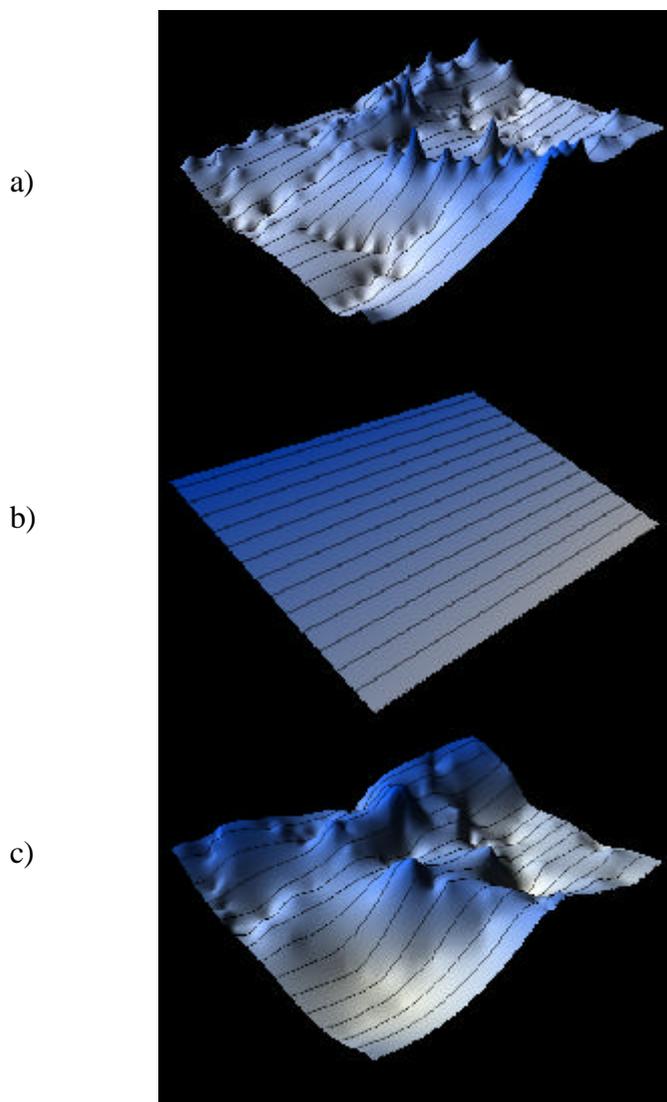


Figura nº 1.7. Separación Regional-Residual de AB

a) Anomalía Residual      b) Anomalía Regional      c) Anomalía de Bouguer

### 1.5.7 CONSTRUCCIÓN DE PERFILES

La construcción de perfiles se realizó de acuerdo a la observación de los mapas gravimétrico y magnético y su asociación con la geología de la zona de estudio.

De acuerdo a la distribución de anomalías, máximos y mínimos, gradientes y dirección de las estructuras se establecieron 3 perfiles:

- Perfil A-A': Orientación S-N  
     A: Long. 62° 21' W, Lat: 7° 30' N  
     A': Long. 62° 21' W, Lat: 8° 00' N
  
- Perfil B-B': Orientación S-N  
     B: Long. 62° 15' W, Lat: 7° 30' N  
     B': Long. 62° 15' W, Lat: 8° 00' N
  
- Perfil B-B': Orientación E-O  
     C: Long. 62° 00' W, Lat: 7° 33' N  
     C': Long. 61° 45' W, Lat: 7° 33' N

### **1.5.8 MODELAJE GRAVIMÉTRICO Y MAGNÉTICO**

Para realizar el modelo gravimétrico y magnético se usó el programa GMSYS<sup>®</sup> versión 3.70.09g (1994) de Northwest Geophysical Associates, Inc., el cual permite el diseño de modelos del subsuelo con base en la geología estructural de la zona en estudio, la variación lateral de densidades y de intensidad magnética inducida.

Para la elaboración de los modelos se introducen en los archivos de datos del programa GM-SYS, los valores de líneas de contorno de Anomalía de Bouguer, y de intensidad magnética total, así como la distribución litológica de las formaciones según el mapa geológico correspondiente a la localización de los perfiles propuestos.

El modelaje comprende la determinación de las profundidades de las unidades litológicas y estructuras, así como también la variación lateral de la densidad y magnetización en función del tipo de litología enmarcada dentro del perfil. Lo que se busca a partir de estos datos es obtener el menor error posible entre la anomalía calculada por el GM-SYS y la determinada por el mapa.

### **1.5.9 INTERPRETACIÓN INTEGRADA**

En esta fase del estudio se determina a partir de un conjunto de datos cual es la solución geológica que corresponde a los resultados geofísicos obtenidos.

En la interpretación cuantitativa se analizaron numéricamente los datos correspondientes a la orientación regional de la estructura, los máximos y mínimos valores de anomalías y el cambio de gradiente en los mapas generados.

Cualitativamente se analizó la distribución de estructuras profundas y suprayacentes, se propuso un modelo geológico que a partir de gravimetría, magnetometría, geología regional y local establece formas, límites y tamaños de cuerpos litoestratigráficos, como el punto de partida para la localización de yacimientos minerales con importancia económica.

## **CAPÍTULO II**

### **2.1 GEOLOGÍA REGIONAL**

El Escudo de Guayana constituye un conjunto de rocas pertenecientes al sistema Precámbrico, tiene forma oval y está delimitado al Norte por el río Orinoco en Venezuela, al sur se extiende por Colombia, Brasil, Guyana, Surinam y la Guayana Francesa.

De acuerdo a características petrológicas y tectónicas el Escudo Guayanés Venezolano se ha dividido en cuatro Provincias denominadas como Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima.

#### **2.1.1 PROVINCIA DE IMATACA**

Según Tepedino (1985), la Provincia de Imataca ocupa una faja de rumbo E-NE al norte de la Guayana Venezolana, al oeste se delimita a unos 15 km al este de Maripa y hacia el sur se identifica al oeste del río Caura bordeando el río Nichare, las cabeceras del río Cucharó y el salto Pará en el río Caura, Estado Bolívar; desde ahí se extiende por unos 400 km de longitud, con una anchura de unos 200 km, hasta el Estado Delta Amacuro al este, donde aparece bajo los sedimentos del delta del Orinoco. Montgomery et al. (1977) señalan que la edad del protolito de esta provincia se ha estimado entre 3500-3600 Ma.

En cuanto a sus características litológicas la provincia describe un conjunto de metasedimentos y gneises graníticos que muestran plegamientos complejos e intrusiones graníticas que de acuerdo a Hurley et al (1976) se deben a dos eventos respectivamente, uno tectonotermal de aproximadamente 2800 Ma que produjo los plegamientos y posteriormente la Orogénesis Trans-Amazónica (2100 Ma) que generó intrusiones graníticas.

Dougan (1977) establece que las rocas que conforman la Provincia de Imataca constituyen un conjunto de rocas silíceas de composición calco-alcalina con algunos episodios máficos y asociaciones menores de sedimentarias e

itabiritas o formaciones de hierro; todas estas rocas se clasifican dentro del Complejo de Imataca.

## **COMPLEJO DE IMATACA**

Las rocas del Complejo de Imataca afloran al norte del Estado Bolívar conformando un cinturón de 510 km de longitud con sentido NE-SO al este del río Caura y paralelo al río Orinoco. Su litología característica incluye gneises máficos y félsicos con cuarcitas ferruginosas, granulitas e interstratificaciones de cuerpos delgados de granito.

Dougan (1972) establece una clasificación para el Complejo de Imataca en la región de Los Indios-El Pilar en función del contenido de ortopiroxeno. Los gneises máficos con ortopiroxeno los clasifica como granulitas máficas, los gneises félsicos con ortopiroxeno los clasifica como granulitas félsicas y las rocas sin ortopiroxeno las denomina como gneises graníticos y anfibolíticos.

Según Dougan (op.cit), las granulitas máficas son rocas foliadas a no foliadas con contenido de dos piroxenos, plagioclasa y biotita en proporciones variables que determinan la conformación de granulitas biotíticas u horbléndicas.

Las granulitas félsicas son gneises foliados cuarzo-feldespatoplagioclásicos con contenido de ortopiroxeno y biotita en concentraciones variables. Los gneises graníticos se presentan migmatizados o no, bandeados con biotita, feldespato potásico, cuarzo y plagioclasa, con contenido variable de granate y sillimanita. Del mismo modo las anfibolitas están representadas por esquistos foliados con horblenda y plagioclasa.

Dougan (1977) establece también otras litologías dentro del Complejo de Imataca que comprenden formaciones de hierro laminadas con cuarzo-magnetita y cuarzo-magnetita-ortopiroxeno, cuarcitas calco-silicatadas-laminadas y granulitas máficas con ortopiroxeno, clinopiroxeno, horblenda y/o biotita.

Según Chase (1965), las formaciones de hierro u horizontes silicoferruginosos están conformados por la asociación mineral cuarzo-magnetita ( $\pm$  ortopiroxeno) en forma de bandas con alto contenido de cuarzo, que alternan con láminas o bandas abundantes de óxido de hierro. El tamaño de los lentes varía de pocos centímetros a 10 metros y localmente pueden presentarse espesores entre 10 y 200 m que constituyen yacimientos de hierro de importancia.

Las formaciones de hierro y las cuarcitas calco-silicatadas son metasedimentarias, las series granulíticas son consideradas metaígneas y presentan evidencias de un incompleto equilibrio metamórfico, mientras que los gneises graníticos y anfibolitas son metaígneas que lograron en forma aparente tal equilibrio.

## 2.1.2 PROVINCIA DE PASTORA

### SUPERGRUPO PASTORA

Menéndez (1968; 1972) realizó estudios en la localidad tipo de Guasipati y estableció que el Supergrupo está constituido por dos unidades, una unidad inferior conformada por rocas volcánicas máficas la cual identificó como Grupo Carichapo y una unidad superior de rocas volcánicas félsicas y sedimentarias denominada Formación Yuruari (Figura nº 2.1).

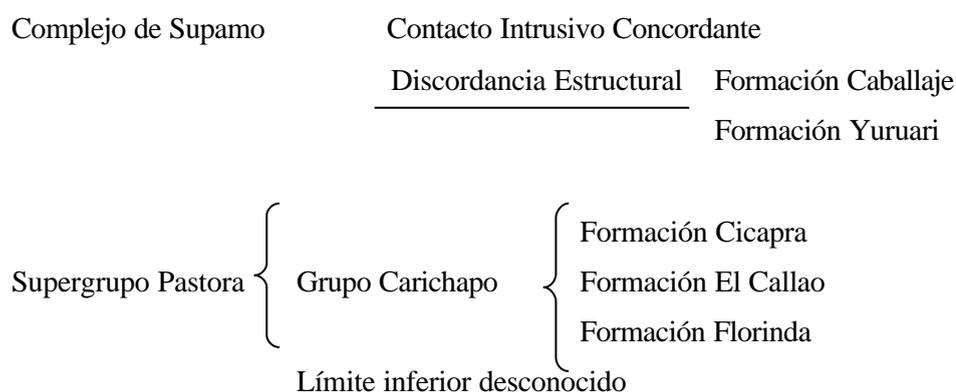


Figura nº 2.1. Esquema de distribución litológica del Supergrupo Pastora. Tomado y modificado de Menéndez (1972)

## **GRUPO CARICHAPO**

De acuerdo a Kalliokoski (1965) y McCandless (1976), la unidad aflora al oeste del río Caroní en la región de Santa Bárbara, hasta los límites con Guayana al este (Benaím, 1972), y desde las estribaciones meridionales de la serranía de Imataca (Kalliokoki, 1965; Chase, 1965; Espejo, 1972 y Ríos, 1972) al norte (Falla de Guri), hasta las estribaciones septentrionales de la serranía de Lema al sur (Benaím, 1972).

El Grupo está constituido por metalavas y metatobas basálticas, toleíticas y komatíticas, en las zonas de mayor metamorfismo se determinan anfibolitas y cornubianitas hornbléndicas y meta cuarcitas mangano-ferríferas. La unidad está constituida por tres formaciones denominadas Florinda, El Callao y Cicapra.

### **FORMACIÓN FLORINDA**

Menéndez (1994) establece esta formación para diferenciar la parte inferior de la Formación El Callao; la unidad está compuesta por metabasaltos toleíticos magnesianos (posiblemente metakomatitas) a normales con estructura de almohadillas, los cuales están intercalados con una menor proporción de rocas talco-carbonáticas posiblemente generadas por alteración hidrotermal submarina de komatitas (el carbonato puede ser magnesita  $MgCO_3$ ). La unidad está en contacto intrusivo con el Complejo de Supamo e infrayace a la Formación Cicapra donde la Formación El Callao está ausente, por esta razón su base no aflora, sin embargo ha sido diferenciada en los bordes SE y SO del cinturón de rocas verdes de Guasipati.

### **FORMACIÓN EL CALLAO**

Según Benaím (1982), la Formación El Callao aflora al O y SO de Pastora en una franja aproximada de hasta 3 kilómetros de ancho, al sur y sudeste de El Callao, al NE y NO de la región de Guasipati, y al NO de El Dorado en la Región Yuruán-Ave Chica. La unidad ha sido afectada por metamorfismo regional de bajo grado, facies de los esquistos verdes, que localmente en las zonas de contacto

con masas graníticas, pasa a facies de la anfibolita. Su litología es descrita por Menéndez (1972), como un conjunto de metalavas de composición basáltica que presentan estructuras en almohadillas hasta de 2 m de diámetro, con amígdalas de cuarzo y fracturas radiales rellenas de epidoto y cuarzo.

## **FORMACIÓN CICAPRA**

Menéndez (1994) establece que la unidad está restringida a la parte oeste del cinturón de rocas verdes de Guasipati ya que no ha sido identificada todavía en otra localidad. Su litología, según Menéndez (1968,1994), está constituida en un 80% de esquistos anfibólicos derivados de brechas y tobas de composición basáltico-komatítica, y de lodolitas, areniscas y conglomerados grauváquico-volcánicos, muy pobres en cuarzo. Las brechas y los conglomerados son de estratificación espesa y están constituidos por fragmentos de lavas máficas y ultramáficas con afinidades komatíticas, en una matriz rica en blastocristales de anfíbol aparentemente pseudomorfo de piroxeno. Presenta metamorfismo en la facie de los esquistos verdes; aumentando el metamorfismo hacia el norte y NE de Guasipati a la facies de la anfibolita.

## **GRUPO BOTANAMO**

En 1972 Benaim estableció la clasificación de dos formaciones geológicas para diferenciar unidades litológicas características del NE del Estado Bolívar:

## **FORMACIÓN CABALLAPE**

Según Korol (1965) la unidad es la más joven de la Provincia Pastora, su sección tipo se localiza en las laderas de la quebrada Divinal y está conformada por lodolitas laminadas, limolitas y grauvacas de grano fino a medio con pocos sedimentos conglomeráticos. El contacto inferior es concordante y transicional con la Formación Yuruari

Menéndez (1972) establece como rasgo característico de la Formación Caballape el contenido de metalimolitas volcánicas laminadas y compactas con

alto contenido de epidoto, que alternan con metagrauvas volcánicas de grano fino a conglomerático. Las capas de metalimolitas varían de pocos metros a 10 metros de espesor, del mismo modo las capas de metagrauvas alcanzan hasta 2 metros de espesor.

Menéndez (1972) también establece la presencia de brechas tobáceas y metaconglomerados volcánicos que alternan con metatobas y metagrauvas volcánicas, donde las primeras contienen fragmentos de andesita y riocita. También considera la Formación Caballape estructuralmente discordante sobre las formaciones El Callao y Yuruari en la región de Guasipati.

## **FORMACIÓN LOS CARIBES**

Benaim (1972) estableció que la sección tipo de la Formación Los Caribes se localiza entre la Isla Bogarín y un punto 3 km aguas abajo donde desemboca el río Botanamo, y sobre éste desde su boca hasta 2.2 km aguas arriba. Su litología está caracterizada por el contenido de metaconglomerado polimítico con abundante jaspe rojo, poco contenido de granito rosado de grano fino, presencia ocasional interstratificada de filitas rojas y pequeñas capas de fánita con vetas de cuarzo paralelas a la estratificación. Al este de la localidad tipo la unidad presenta grano más fino, para constituir metareniscas laminadas de grano fino interstratificadas con metareniscas limolíticas, metalimolitas y filitas.

## **COMPLEJO DE SUPAMO**

Menéndez (1972) establece que el Complejo de Supamo está conformado por migmatitas, paragneis biotítico, rocas ígneas ácidas con bajo contenido de feldespato potásico, tronjemitas, granodioritas y monzonitas cuarcíferas (rocas ígneas ácidas).

Espejo (1974), en la descripción de este Complejo, determina como estructuras importantes en la zona de El Manteco-Guri la existencia de dos estructuras dómicas con forma elipsoidal, Santa Justa y El Foco, separadas por una faja migmatítica que varía de pocos metros a 2 km que se distribuyen paralelamente a la foliación de rocas tronjemíticas y está definida por la

alternancia de bandas ácidas y bandas discontinuas de anfíboles. Del mismo modo Menéndez (op. cit.), al oeste de esta zona, determina un domo arqueado que está en contacto con el cinturón de rocas verdes del río Caroní.

La edad del Complejo de Supamo ha sido objeto de muchas discusiones, ya que diversos autores fundamentados en la aplicación de métodos como K/Ar, R/Sr, U/Pb, Rb/Sr, entre otros estudios, han determinado diferentes edades que varían desde 1800 Ma hasta 3400 Ma.

### **2.1.3 PROVINCIA DE CUCHIVERO**

De acuerdo a Talukdar y Colvee (1974, 1975) la unidad estructural tiene evidencias de haberse desarrollado entre 1900-1400 Ma sobre una corteza continental pre-existente, donde ocurrió una sedimentación de tipo clástica de fuente cratónica, vulcanismo ácido, deformación y metamorfismo regional a la facies de esquistos verdes y fases de intrusiones ígneas.

En cuanto a su litología, la unidad está conformada por rocas plutónicas de emplazamiento epizonal y epimesozonal como los granitos alcalinos, granitos y cuarzomonzonitas con granodioritas y tonalitas en menor frecuencia y dioritas en baja proporción. La Provincia de Cuchivero también contiene rocas metavolcánicas y metasedimentarias como depósitos de flujo de cenizas y lavas con composición de riolita alcalina, riolita, riodacita, dacita y latita cuarcífera.

### **GRUPO CUCHIVERO**

McCandless (1965) describe a un conjunto de rocas ígneas intrusivas y extrusivas, comagmáticas ubicadas en la región occidental del Estado Bolívar con el nombre de Serie Ígnea Cuchivero. El basamento de dichas estructuras se desconoce y su tope está parcialmente cubierto por la rocas del Grupo Roraima.

Ríos (1972) estableció una secuencia de unidades, de la más antigua a la más reciente: Formación Caicara, Granito de Guanamito y Granito de Santa Rosalía.

## **FORMACIÓN CAICARA**

Ríos (op. cit.) describe la Formación Caicara como la más antigua secuencia de rocas extrusivas ácidas expuestas en la región noroccidental del Estado Bolívar al oeste del río Cuchivero-sur de Caicara, con una alineación de N 5-10° E y buzamiento alto a vertical. La unidad comprende riolitas y riolitas porfídicas con matriz de grano fino a medio, riodacitas y dacitas porfídicas con indicios de mineralización de pirita y recristalización.

La Formación Caicara se encuentra intrusionada por los granitos de Santa Rosalía y del Parguaza, y su edad está estimada entre 1875 y 1750 Ma.

## **GRANITO DE GUANIAMITO**

Aflora al oeste del río Cuchivero en los cerros de El Tigre, Cacarrañao, Las Vainillas, El Chingo y en el río Guaniamo y quebrada La Magdalena. La unidad está conformada por rocas graníticas ricas en félsicos con textura gneisica, de grano medio a grueso, holocristalinas y porfídicas. Como accesorios comunes se encuentran esfena, epidoto, hornblenda, esfena, circón y magnetita.

## **GRANITO DE SANTA ROSALÍA**

Aflora en el valle de los ríos Cuchivero y Guaniamo en forma extensa y representa las mayores elevaciones de la región. La litología de esta unidad consiste en un granito biotítico, color rosado a gris, de grano fino a grueso, macizo fanerocrystalino, porfídico. En cuanto a su composición mineralógica general contiene 35% de cuarzo, biotita como principal componente máfico (5%) y cantidades menores de hornblenda, epidoto, clorita y opacos.

## **GRANITO DE SAN PEDRO**

El granito de San Pedro aflora en el área del río Suapure, en los alrededores de los poblados de San Pedro, Pijiguaos, Cerro Bebederos, en el camino La Mariposa, y en Pijiguao y Temblador. Representa una facies transicional de grano fino del Granito de Santa Rosalía. Se caracteriza por ser de

grano fino, leucocrático, masivo a moderadamente foliado, aspecto subvolcánico, hipidiomórfico granular a xenomórfico, protoclastico, está compuesto de 25 % de cuarzo cataclástico, 50 % feldespato potásico y pertita, y un 20 % de plagioclasa con cantidades pequeñas de máficos como biotita, clorita, epidoto y opacos, y otros constituyentes menores como apatito, titanita y circón.

## **GRUPO SUAPURE**

Mendoza (1974) estableció dos unidades de rocas ígneas ácidas, Granito del Pijiguo y Granito del Parguaza, que afloran desde Los Pijiguaos hasta Puerto Páez, en dirección este-oeste, y desde Los Pijiguaos hasta el río Ventuari en sentido norte-sur, cubriendo un área de alrededor de 30000 km<sup>2</sup>.

## **GRANITO DE PIJIGUAO**

Es un granito de color rosado salmón, macizo, de grano fino a medio, de aspecto subvolcánico, sin cataclasis y sin desarrollo de textura gráfica. Consiste en feldespato potásico, pertita, plagioclasa albitica, cuarzo en glomérulos y biotita marrón, apatito y opacos como accesorios, epidoto y clorita como secundarios.

## **GRANITO DE PARGUAZA.**

El granito de Parguaza se extiende por la región noroccidental del Estado Bolívar. Mendoza (1972) describe la roca como un granito biotítico de grano grueso a muy grueso, masivo, con textura rapakivi, rico en feldespato potásico y hornblenda. Petrográficamente es una roca holocristalina hipidiomórfica granular e inequigranular. Mineralógicamente contiene entre 40-50% por volumen de microclino-pertita, 25-30% de oligoclasa, 10-20% de cuarzo, 5-10% de biotita marrón. Como minerales accesorios el más frecuente es el apatito (0-8%) en cristales anhedrales, los opacos (magnetita e ilmenita) abundan entre (1-5%).

## **2.1.4 PROVINCIA DE RORAIMA**

### **GRUPO RORAIMA**

Se extiende en un área aproximada de 450.000 km<sup>2</sup> desde Talfelberg, Surinam hasta la Sierra de La Macarena, Colombia, y al S-SE del Escudo de Guayana hasta el río Branco en Brasil.

Según Reid (1974) las litologías y caracteres sedimentarios del Grupo Roraima corresponden a ambientes que van de continentales a deltáicos, donde los depósitos se pueden clasificar en cuatro formaciones de la más antigua a la más joven:

#### **FORMACIÓN UAIRÉN**

De acuerdo a Reid (op. cit) los sedimentos que conforman esta formación provienen de corrientes del sur y el este, fueron depositados en forma discordante sobre un basamento de rocas ácidas, y consisten en conglomerados y areniscas de origen fluvial.

#### **FORMACIÓN CUQUENÁN**

Representa 50 a 100 metros de espesor de lutitas físciles pobremente endurecidas, plásticas y con muy poca resistencia al corte a lo largo de los planos de estratificación. Se depositó concordantemente sobre la Formación Uairén

#### **FORMACIÓN UAIMAPUÉ**

Se depositó en forma concordante sobre la Formación Cuquenán con sedimentos provenientes del sur y oeste, y consiste en ftanita, limolitas, arcosas y jaspes rojos y verdes.

## FORMACIÓN MATAUÍ

Es la superior del Grupo Roraima y se encuentra concordantemente sobre la Formación Uaimapué; el flujo de sedimentos provino del norte y está conformada por ortocuarcitas de grano fino de colores blanco, crema y rosado.

## 2.2 EVOLUCIÓN TECTÓNICA DEL ESCUDO DE GUAYANA

Mendoza (1972) establece que la evolución tectónica del Escudo de Guayana no debe explicarse por la teoría de la “cratonización de los continentes”, sino por la agregación lateral de material mayormente siálico, lo cual se establece sobre la base de diferencias en directrices estructurales, estilos de deformación tectónica, datos radimétricos, asociaciones y límites petrotectónicos.

De acuerdo a lo anterior Mendoza (op. cit) establece el estudio tectónico de la Guayana Venezolana a partir de la subdivisión del Escudo en cuatro provincias estructurales: Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima (Figura n° 2.2).

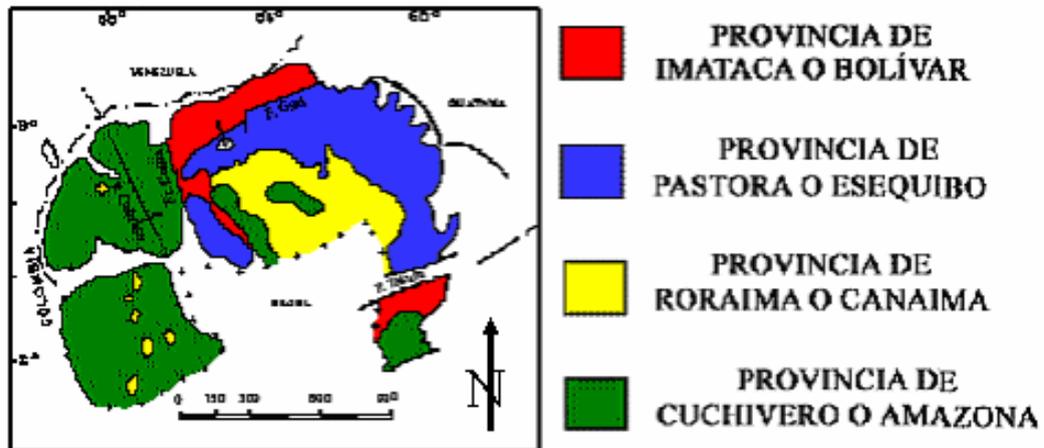


Figura n° 2.2 Provincias geológicas del Escudo de Guayana. Menéndez (1968)

## **PROVINCIA DE IMATACA**

La provincia estructural Imataca se extiende en Venezuela desde el río Caura hasta el Delta Amacuro, litológicamente comprende el Complejo de Imataca el cual tiene directrices estructuras lineales en dirección predominante de N 50-70° E, con estructuras migmatíticas plegadas y replegadas, características de la deformación plástica.

La Provincia Imataca describe en su estilo estructural un régimen de pliegues de flujos sintectónicos y fallas transcurrentes tardías a post-tectónicas, la deformación plástica se evidencia en el plegamiento y replegamiento complejos con intersecciones estructurales no relacionadas a eventos orogénicos.

La Orogénesis Guriense se produce entre 3600-3100 Ma (Hurley et al., 1968) con el levantamiento posterior de la Provincia Imataca como extenso cinturón granulítico, el fallamiento se produce después de la deformación plástica (Falla Guri - El Pao), y la erosión de Imataca representa la fuente de sedimentos para conformar el Supergrupo Pastora, el cual sirvió de base para la depositación del Grupo Roraima. Posteriormente el Escudo fue invadido por diques y sills de rocas máficas, ocurrieron levantamientos menores y hubo recristalización e intrusiones graníticas (1500 a 1100 Ma).

El levantamiento del Bloque Imataca se evidencia con el fallamiento de Gurí-El Pao a finales del Guriense, que a continuación promovió desplazamientos horizontales con desarrollos de zonas miloníticas.

La presencia de formaciones bandeadas de hierro y chert con ausencia de carbonatos, sulfatos y silicatos permite establecer que los sedimentos se depositaron por precipitación química en aguas poco profundas y tranquilas.

## **PROVINCIA DE PASTORA**

Se extiende desde el río Caura en Venezuela hasta el río Esequibo en Guyana, y comprende el Supergrupo Pastora, Grupo Botanamo, y Complejo Supamo como unidades. Los rumbos estructurales son variables pero los más

predominantes son E-O y NE, el fallamiento es transcurrente y normal con dirección preferencial NE.

Las asociaciones petrotectónicas de la Provincia Pastora pueden explicarse en base 2 planteamientos. El primero de ellos, según Aubouin (1965) y Mitchell y Reading (1969), basado en la teoría geosinclinal, propone que la provincia está conformada por una secuencia pre-flysh (ofiolita) constituida por una secuencia de meta-lavas basálticas almohadilladas, metagabros, meta-periodotitas y cherts. Una secuencia petrotectónica tipo flysh (grauvacas, lutita, limolitas) y finalmente una secuencia tardía tectónica a post tectónica con facies tipo molasa de ambiente miogeoclinal finalizando con areniscas y conglomerados.

La sucesión litológica anterior se plantea sobre la base de que las rocas máficas se emplazaron a través de fracturas desde el manto hasta la corteza, las almohadillas basálticas implican un enfriamiento submarino de fundido basáltico y las grauvacas de composición andesítica sugieren una fuente de sedimentos volcánicos de arcos de islas cercanos.

El segundo planteamiento propuesto por Dickinson (1971) establece el proceso de subcorrimento y formación de montañas en la zona de fosa, la cual explica como dos placas en una zona de geosutura (falla de Guri) colisionaron y se produce la incorporación de rocas plásticas y móviles del Pastora sobre las rocas más antiguas de la Provincia de Imataca, el subcorrimento fue muy lento lo cual permitió el desarrollo de rocas metamórficas de gradientes geotérmicos intermedios.

La teoría señala como la corteza oceánica primitiva se transforma por fusión parcial en la parte superior del manto en una corteza cristalina siálica y por consiguiente las rocas graníticas en el cinturón de rocas verdes no tienen que ser basamento o ser más antiguas, por el contrario plantea Mendoza (1972) que la presencia de rocas ultramáficas asegura una corteza oceánica de 10 a 15 Km de espesor.

## **PROVINCIA DE CUCHIVERO**

La Provincia de Cuchivero ocupa la parte noroccidental del Escudo de Guayana y constituye litológicamente el Supergrupo Cedeño y las rocas graníticas del Estado Amazonas. El rumbo de las estructuras del Grupo Cuchivero es de N 10-30° O, con zonas de cizalla en esa misma dirección (Falla de Cabruta).

Según Mendoza (op. cit.) el contacto entre el Complejo de Imataca y el Supergrupo Pastora con el Grupo Cedeño se localiza en las cercanías del río Caura y se postula como un choque de tres directrices estructurales que representa una zona de cizallamiento y discordancias complejas denominado como Frente Caura.

La orogénesis Trans-Amazónica (2000-1700 Ma.) representa un evento magmático ácido con escaso tectonismo asociado que genera el emplazamiento de grandes volúmenes de material granítico que pudo haberse generado por diferentes causas: a) La fusión parcial de sedimentos y rocas volcánicas asociadas depositadas en una depresión eugeosinclinal hacia el margen continental (Bateman y Dodge, 1970). b) La fusión parcial de corteza oceánica más sedimentos eugeosinclinales a lo largo de una zona de subcorrimento inclinada por debajo del margen continental (Dickinson, 1970) y c) por la fusión parcial de rocas basálticas en la parte superior del manto sobre una zona lineal de alto flujo de calor (Kistler, 1971).

La Provincia de Cuchivero representa la acreción lateral de material siálico más cantidades menores de sedimentos, material basáltico y material andesítico fundidos en la parte superior del manto y devueltos a la corteza por diapirismo boyante.

## **PROVINCIA DE RORAIMA**

La provincia de Roraima comprende el Grupo Roraima con una área aproximada de 450.000 km<sup>2</sup> con escasa o ninguna deformación estructural, sin embargo por estudio de fotoradar se han determinado fallamientos y plegamientos con orientación NO.

La Provincia de Roraima se conformó sobre la Provincia de Pastora y localmente sobre el Grupo Cuchivero después de la orogénesis Transamazónica (1600 ±50 Ma) cuando se formaron cuencas de aguas someras sobre la cordillera de rocas verdes y granitos. Las cuencas de ambiente deltaico-continental a deltaico-litoral sufrieron un hundimiento para recibir sedimentos detríticos que posteriormente sufrieron ajustes verticales isostáticos que desarrollaron horts, grabens, y el correspondiente fallamiento vertical que facilitó el emplazamiento de flujos basálticos.

Posterior a la Orogénesis Transamazónica hubo un período tectónico pasivo que permitió generar extensos y espesos mantos de arenisca que se depositaron hasta el inicio de la Orogénesis Orinoquense.

## **2.4 GEOLOGÍA LOCAL**

En el marco geológico de este trabajo se ubica geográficamente al noreste del estado Bolívar entre coordenadas 61° 45' W - 62° 30' W de longitud y 7° 30' N 8° 00' N de latitud, donde se logró identificar litologías de las Provincias Petrotectónicas Imataca, Pastora y Cuchivero, (Figura n° 2.3).

### **Provincia de Imataca**

En la zona de estudio la Provincia de Imataca se localiza al NO entre coordenadas de longitud 61° 06' W – 62° 30' W y 7° 49' N- 8° 00' N de latitud, con una extensión aproximada de 418 km<sup>2</sup>, (Figura n° 2.4). Litológicamente se caracteriza por el contenido de granulitas plagioclásicas-cuarzo-piroxénicas, granulitas microclínicas - cuarzo plagioclásicas - piroxénicas, gneis cuarzo-feldespático-cordierítico-granatífero-biotítico-silimanítico-grafítico y formaciones de hierro.



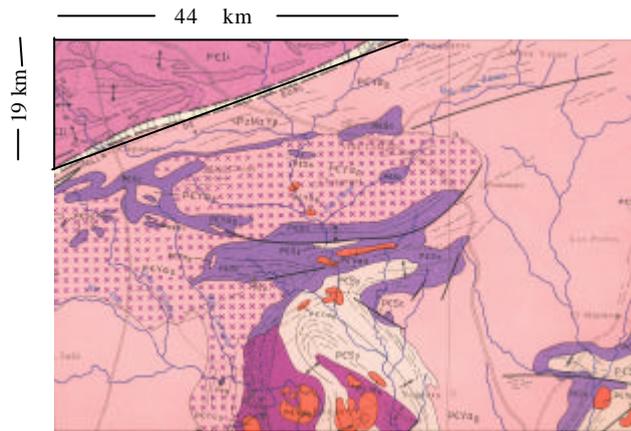


Figura 2.4 Localización de la Provincia de Imataca en la zona de estudio.

Como litología secundaria presenta cuarcita, caliza impura metamorfozada, roca rodonítica-granatífera, roca cuarzo-granatífero-grafítica y esquistos bronzítico-hornabléndico-biotítico. La unidad se caracteriza por estar intrusionada por cuerpos graníticos básicos y por tener estructuras anticlinales bien desarrolladas y estructuras sinclinales mal definidas, con rumbo E-NE.

Según Chase (1965) el Complejo de Imataca está intensamente metamorfozado y pertenece en general a la subfacies de granulita hornabléndica, de la facies granulítica.

### Provincia de Pastora

En el marco geológico de estudio la Provincia de Pastora comprende la unidad de mayor extensión, con un área aproximada de 4047 km<sup>2</sup> (sin incluir los granitos del Parguaza) donde se localiza el Supergrupo Pastora, Grupo Botanamo y Complejo de Supamo (Figura n° 2.5).

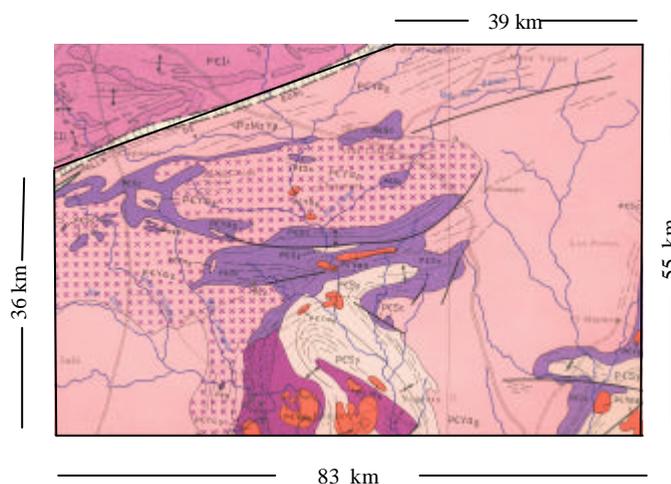


Figura 2.5 Localización de la Provincia de Pastora en la zona de estudio

**Supergrupo Pastora:** Menéndez (1968; 1972) a partir del estudio en la región de Guasipati, estado Bolívar, distinguió una unidad de rocas volcánicas máficas en su parte inferior y una unidad de rocas volcánicas félsicas y sedimentarias asociadas en su parte superior. La unidad máfica la identificó como Grupo Carichapo, constituida por las Formaciones El Callao y Cicapra, y la félsica como Formación Yuruari. Adicionalmente, Menéndez (1994) diferenció en la base del Grupo Carichapo a la Formación Florinda.

**Grupo Carichapo:** El Grupo está conformado por metalavas y metatobas basálticas, toleíticas y komatíticas, y una menor proporción de rocas volcánicas ultramáficas de afinidad química komatítica y de metajaspes; en las zonas de mayor metamorfismo está constituida de anfibolitas y cornubianitas hornbléndicas y metacuarcitas mangano-ferríferas.

**Formación Florinda:** La unidad está compuesta por metabasaltos toleíticos magnesianos a normales con estructura de almohadillas, e intercalados con una menor proporción de rocas talco carbonáticas, las cuales se identificaron como peridotitas komatíticas metamorfizadas.

**Formación El Callao:** La unidad consiste casi en su mayoría de metalavas de composición basáltica (Menéndez, 1972); con estructuras en almohadillas, que presentan amígdalas principalmente de cuarzo, además de fracturas radiales rellenas de epidoto y cuarzo. Menéndez (1994) indicó que las lavas de El Callao son esencialmente toleitas normales con tendencia a toleitas ferruginosas.

**Formación Cicapra:** Según Menéndez (1968; 1994), la Formación Cicapra tiene una litología distintiva de esquistos anfibólicos derivados de brechas y tobas de composición basáltico-komatítica, y de lodolitas, areniscas y conglomerados grauváquico-volcánicos, muy pobres en cuarzo. Los conglomerados y las brechas son usualmente de estratificación espesa y están constituidos de fragmentos de lavas máficas y ultramáficas con afinidades komatíticas, en una matriz rica en blastocristales de anfíbol aparentemente pseudomorfos de piroxeno.

**Formación Yuruarí:** Contiene una litología producto de volcanismo dacítico o riodacítico muy bien desarrollado en su parte media y superior donde contiene lavas, brechas y tobas, además de areniscas y limolitas feldespáticas de estratificación delgada (Menéndez,1994). En la parte inferior contiene filitas manganesíferas y grafiticas de estratificación fina, interlaminada con limolitas feldespáticas y con filitas cloríticas.

**Grupo Botanamo:** Comprende las formaciones siguientes:

**Formación Caballape:** Se caracteriza principalmente por un conjunto de rocas epiclásticas volcánicas como limolitas, grauvacas y conglomerados, también contiene rocas volcánicas generalmente de composición intermedia, tobas, brechas y lavas, con un metamorfismo bajo, facies de los esquistos verdes y con estructuras sedimentarias primarias que indican una sedimentación por corrientes turbias.

**Formación Los Caribes:** Benaím (1972) describe una secuencia predominante de sedimentos rojos, bien estratificados, filitas, areniscas de grano fino, limolitas y conglomerados polimícticos, interestratificados con lavas y brechas piroclásticas ácidas e intermedias.

**Complejo de Supamo:** El complejo se caracteriza por contener rocas ígneas ácidas sódicas, paragneises, cuarzo feldespático y zonas de migmatitas. Las rocas ígneas constituyen cuerpos dómicos de granodioritas, cuarzo dioritas, tonalitas y trondhjemitas, (Menéndez 1972; Benaím 1972; Espejo 1974). Las zonas de migmatita consisten en paragneises biotíticos, gneises hornabléndicos y anfibolitas que alternan con sills de trondhjemita y granodiorita.

## **PROVINCIA DE CUCHIVERO**

En el marco de estudio las unidades de la Provincia de Cuchivero representan aproximadamente 90 km<sup>2</sup> de extensión, constituidos por los Granitos Parguazenses, (Figura n° 2.6).



feldespato potásico y hornblenda. Petrográficamente es una roca holofanelocrystalina sub-idiomórfica granular de grano muy grueso, inequigranular, maciza con textura rapakivi.

**Granito de Pijigao:** El granito es de grano fino a medio, de color rosado salmón, macizo, de aspecto subvolcánico, sin cataclasis y sin desarrollo de textura gráfica. Consiste esencialmente de feldespato potásico ipertita (30-35%), plagioclasa albítica (25-30%), cuarzo en glomérulos (25-30%) y biotita marrón (1-3%), apatito (0-4%) y opacos (1-3%) como accesorios y epidoto y clorita como secundarios.

### **2.3 RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO**

La observación directa de la zona a estudiar representa una herramienta imprescindible para interpretar las manifestaciones e indicaciones de la naturaleza relacionadas con los objetivos de la investigación.

La geología de superficie comprende la observación directa de afloramientos de roca, ubicación de rasgos estructurales, levantamiento de secciones estratigráficas y cortes de carretera, así como la recolección de muestras de roca para su posterior análisis.

Para desarrollar el estudio geofísico de una determinada zona, es necesario conocer la distribución litológica y las características estructurales de la misma, ya que estos aspectos representan la base para realizar la mejor interpretación de las respuestas obtenidas a través de los métodos indirectos de prospección.

Es por ello que en el desarrollo de este estudio se realizó un reconocimiento geológico en el Estado Bolívar, con la finalidad de observar de manera directa parámetros litológicos (tipo de roca, minerales, ambientes) y parámetros geométricos (rumbos, buzamientos, identificación de fallas y pliegues) de las unidades litológicas presentes, con el fin de brindar aportes para un mejor trabajo interpretativo.

## **Geología de Superficie en el Estado Bolívar**

### **Equipo Usado**

- GPS Garmin “ETREX”
- Reloj digital.
- Vehículo Toyota Land Cruiser 4.5. Doble tracción
- Mapa geológico de la Zona de Guri Hoja NB-20-1 a escala 1:50.000 de la Dirección de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos (1976).
- Piqueta
- Brújula tipo Brunton

### **Localización del Campamento:**

Upata. Edo Bolívar - Hotel Andrea

Coordenadas : Latitud: 08° 00' 27.4'' N

Longitud : 62° 23' 11.7'' W

### **Observación del Primer afloramiento:**

Vía Guasipati – El Callao - Tumeremo

Coordenadas: Latitud : 07° 56' 51.5'' N

Longitud : 62° 17' 54.3'' W

Se determinó que la litología presente en el afloramiento está entre anfibolita o granulita máfica perteneciente al Complejo de Imataca (3000 Ma). Las muestras de roca tomadas presentan pequeñas intercalaciones de plagioclasas y piroxenos que le dan apariencia micácea; de igual forma muestran un nivel de meteorización alta y contienen mucho óxido.

Se observaron también metalavas máficas y una distribución de diaclasas a lo largo del afloramiento (Figura n° 2.7).



Figura n° 2.7 Afloramiento de Anfibolita. Provincia de Imataca. Rumbo N 70° W

Del afloramiento se extrajeron muestras de roca (Figura 2.8) así como también se logró determinar la dirección de la foliación y de las diaclasas:

Dirección de la diaclasas:

Rumbo: E-W

Buzamiento: 51° N

Conjugada :

Rumbo : N-S

Buzamiento: 85° N

Dirección de la foliación :

Rumbo : N 70° W

Buzamiento : 10°S

Rumbo de la carretera :

N70°W



Figura n° 2.8. Muestra de anfibolita. Provincia de Imataca.

### **Mediciones en carretera:**

- Santa María (Bifurcación de la carretera "Y")

Coordenadas: Latitud : 07° 56' 0.79" N

Longitud : 62° 17' 7.26" W

Se observó el valle que representa la falla del Guri (Santa María)

- Cercano a Villa Flor

Coordenadas : Latitud: 07° 54' 0.954" N

Longitud : 62° 15' 0.503" W

- 1107 km Puente sobre el río Gualpa

Coordenadas : Latitud: 07° 58' 0.94" N

Longitud : 62° 13' 0.21" W

- Complejo de Supamo, Río Guanaparo

Coordenadas : Latitud: 07° 53' 0.255" N

Longitud : 62° 10' 0.353" W

- Vía Guaispati

Coordenadas : Latitud: 07° 52.47' N

Longitud : 62° 07.67' W

### **Observación del segundo afloramiento:**

Localización: Cantera Pedeca

Rumbo: E-W

Buzamiento: 84° S

Se observó un afloramiento de regolito (Figura n° 2.9) y bloques limitados por diaclasas en el que se identificaron metalavas y metatobas. Se presenta un cambio en los granos intercalándose rocas sedimentarias con metamórficas, pueden presentarse lentes y budines pero la roca principal es la metagrauvaca. La litología probablemente pertenece al grupo Carichapo sin diferenciar.

Se observaron metaareniscas o metachert (sílice), presencia de metagrauvaca con lentes o budines de metachert y la presencia de andesita.



Figura n° 2.9. Afloramiento de regolito. Rumbo E-W

Se recolectaron del afloramiento 5 muestras representativas

Tabla n° 2.1. Identificación de muestras recolectadas en la observación de 2° afloramiento

	<p>Podría ser una metagrauvaca, presenta granitos de cuarzo de menor tamaño.</p>
	<p>Cuarzo con vetas de horblenda</p>
	<p>Plagioclasa máfica</p>
	<p>Metatoba máfica</p>
	<p>Actinolita</p>

### Medición sobre Carretera

- Villa Lola (bifurcación en la carretera “Y”)  
Coordenadas:      Latitud : 07° 51,695’ N  
                          Longitud :62° 03,882’ W
- Vía Guasipati  
Coordenadas:      Latitud : 07° 49.814’ N  
                          Longitud: 62° 0,334’ W
- 1138.7 km.  
Coordenadas:      Latitud: 07° 48,677’ N  
                          Longitud: 61° 58,641’ W

### Observación del Tercer afloramiento

Coordenadas:      Latitud: 07° 48’ 23.7’’ N  
                          Longitud: 61° 58’ 38.6’’ W

Se determinó la presencia de metachert, muy resistente a la meteorización con vetas de cuarzo (Figura 2.10), gneis tronjemíticos (Figura 2.11). El grado de meteorización es probablemente alto.



Figura n° 2.10. Veta de Cuarzo. Grupo Carichapo sin diferenciar.



Figura n° 2.11 .Gneis thronjemítico meteorizado del Complejo Supamo

### **Medición sobre Carretera**

- 1142.9 km. Finca la Rinconada

Coordenadas:            Latitud : 07° 47.403' N  
                                  Longitud ; 61° 58.114' W

Nota : Hato Santa Cruz (mapa)

### **Observación del Cuarto afloramiento:**

**Coordenadas:**            Latitud : 07° 47' 13.5'' N  
                                  Longitud ; 61° 58' 15.0'' W

Presencia de caolinita del Complejo de Supamo así como la existencia de metatronjemita bandeada de color crema con plagioclasas de bajo índice de color (<10%). También se observaron domos tronjemíticos y estructuras plegadas (Figura n° 2.12)



Figura 2.12. Estructura plegada perteneciente al Complejo de Supamo

### **Medición sobre Carretera**

- 1145.6 km.

Coordenadas:            Latitud : 07° 45.396' N  
                                  Longitud : 61° 57.752' W

### **Observación del quinto afloramiento:**

Coordenadas:            Latitud : 07° 44.156' N  
                                  Longitud: 61° 58.201' W

Dirección de foliación :

Rumbo: N 20° E

Buzamiento: 30° N

Dirección de la Carretera

Rumbo: N 07° E

Rumbo de la formación

Rumbo: N 60° E

En este afloramiento se observó:

- Presencia de gneis thonalítico (Figura 2.13)
- Complejo Supamo, se observan pliegues y vetas de cuarzo con meteorización (Figura nº 2.14)
- Plagioclasas, cuarzo, posiblemente producto de intrusiones fluidas
- Presencia de un pliegue recurrente con :  
    Rumbo: N 20° E  
    Buzamiento: 22° N
- Se determina un buzamiento leve al norte



Figura nº 2.13 Gneis thonalítico

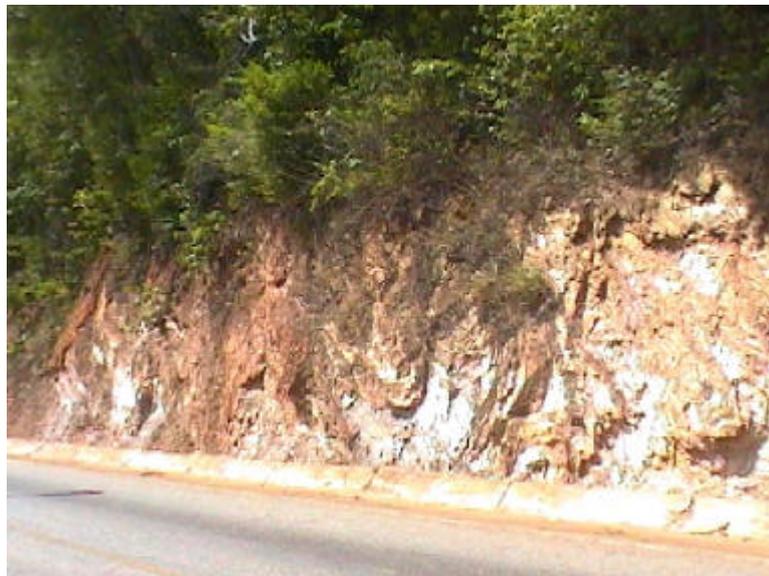


Figura nº 2.14. Afloramiento en Carretera. Gneis thonalítico rumbo N 60° E , foto tomada de sur a norte

### **Medición sobre Carretera**

- En carretera

**Coordenadas:**        Latitud : 07° 40.089' N  
                              Longitud : 61° 57.650' W

### **Observación del Sexto afloramiento**

Antes de entrar al Callao

**Coordenadas:**        Latitud : 07° 21.264' N  
                              Longitud : 61° 49.482' W  
                              Rumbo: S 65° E

La observación del afloramiento permitió determinar:

- Intercalaciones de tobas con metapelitas, se observan pequeños cristales rectangulares.
  
- Metalabas andesíticas con micas.
  
- Metasedimentarias – metavolcánicas.
  
- Parte del afloramiento se presenta arenoso.
  
- Presencias de metareniscas y meta chert.
  
- Se identifica posiblemente la Formación Yuruari.
  
- Afloramiento bastante meteorizado, las partes de color oscuro del afloramiento son intercalaciones de metatobas andesíticas.
  
- El material es metasedentario-metavolcánico; originalmente era arcilla o lutita, se puede observar metachert.
  
- Se establece posiblemente flujo de lavas submarino, debido al color rojo de meteorización.

### **Observación del séptimo afloramiento:**

Vía de Ferrominera a Pto Ordaz

Coordenadas:            Latitud: 07° 34' 7'' N

                                  Longitud: 63° 15' 16'' W

Se determinaron las siguientes observaciones:

- Domos, bolones o cantos de meteorización esferoidales.
- Presencia de charnoquita o granodiorita máfica, meteoriza igual que un granito porque aún cuando es sedimentaria, en la roca se observan distintas estructuras.
- Contiene granate y micas.
- Cada uno de los bolones es una fuente termal submarina.

## CAPÍTULO III

### 3.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 3.1.1 MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS

Los métodos gravimétricos se fundamentan en la medición de variaciones laterales de la atracción gravitatoria, asociadas a las distribuciones de densidades en el subsuelo. El principio de medición está fundamentado en la Ley de Gravitación Universal de Isacc Newton, la cual establece que una unidad de masa ( $m_1$ ) colocada en el contorno de cualquier cuerpo ( $m_2$ ) estará sometido a un campo de fuerza (campo de gravedad) y experimentará una aceleración inversamente proporcional al cuadrado de su distancia.

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (\text{Ecuación n}^\circ 3.1)$$

$G$  :  $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}$

$r$ : distancia entre  $m_1$  y  $m_2$

La fuerza de atracción que experimenta un cuerpo sobre la Tierra representa el efecto de la Ley de Gravitación Universal, siendo la magnitud aproximada de la aceleración igual a  $980 \text{ cm/seg}^2$  o Gales en dirección vertical. La composición y distribución de las densidades en el interior del planeta generan variaciones del efecto gravitacional, las cuales son usadas en Geofísica para interpretar el comportamiento de las estructuras en el subsuelo.

Las mediciones relativas de la gravedad se realizan con el uso de instrumentos denominados gravímetros. El gravímetro consiste en un sistema mecánico que posee un elemento sensible, generalmente un resorte de constante única con una masa que pende de uno de sus extremos. El cambio en la intensidad de la gravedad de un punto a otro desplaza el resorte de su estado de equilibrio y la fuerza necesaria para regresar a dicho elemento a su posición de equilibrio representa una magnitud en la gravedad. (Parasnis, 1970)

La aceleración gravitacional se mide en Gales, donde  $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm.seg}^{-2}$ , usualmente la medida usada es el Miligal  $= 10^{-3} \text{ Gal}$ , en el SI la conversión en c.g.s es  $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m.seg}^{-2}$ .

En Geofísica, determinar el valor de la gravedad absoluta no es un objetivo principal, lo que se busca es conocer las medidas relativas, las cuales permiten obtener la diferencia  $\Delta g$  entre la gravedad en la estación de observación y en otro tomado como base (BM). Las diferencias determinadas se denominan anomalías gravimétricas, y a éstas debe aplicarse un conjunto de correcciones con el objeto de reducirlas a condiciones normales para obtener información acerca de los cambios de densidad en el interior de la Tierra, así como sobre las superficies que limitan regiones de densidad diferente. (Parasnis ,1970).

## **CORRECCIONES GRAVIMÉTRICAS**

Los datos gravimétricos observados deben ser corregidos a consecuencia de la elevación de la estación, la influencia de la topografía circundante, la latitud, el efecto de las mareas y el efecto de la densidad del material en subsuelo (Corrección de Bouguer). Todos los datos de gravedad se reducen a un nivel de referencia, que puede o no estar al nivel del mar según el estudio que se está realizando.

Las correcciones a realizar son:

- **Corrección por deriva:** La Deriva Instrumental del gravímetro se define como la variación de las lecturas del instrumento con el transcurso del tiempo, y es producida por la fluencia elástica de los muelles que lo constituyen. Por otra parte también existe la deriva causada por el efecto de la declinación solar, que no es más que la fluctuación del campo gravimétrico terrestre por el cambio en la posición del sol durante la rotación de la Tierra. Estos efectos pueden ser corregidos a través de la adquisición de medidas en un único punto y en tiempo estimado que permitirá la construcción de una curva de deriva, donde a través de un ajuste lineal se visualizan los lapsos temporales que son afectados por la

declinación solar, así como la dispersión en la extensión del muelle provocado por el uso del instrumento.

- **Corrección por el efecto de mareas:** La fuerza de atracción generada por la posición del Sol y la Luna pueden hacer cambiar el valor de la gravedad en una estación. El calculo de la corrección se realiza con el uso de tablas y herramientas computacionales que determinan las posiciones geométricas de las astros y su efecto gravitatorio terrestre.
- **Corrección de altitud:** Fundamentada en la Ley de Newton, la intensidad de la gravedad varía en relación inversa al cuadrado de la distancia al centro de la Tierra. El patrón de variación se ha establecido en 0.3086 miligales por metro, lo cual debe añadirse a la diferencia de gravedad medida si la estación está sobre el nivel de referencia, y restada si está por debajo de él.
- **Corrección topográfica:** En un punto de medición, las elevaciones o depresiones cercanas a la estación provocan una componente gravitatoria directamente proporcional a su densidad, lo que afecta la atracción de la columna vertical hacia el interior del subsuelo. Para corregir este efecto se usa el método de Hammer (1939), el cual consiste en plantillas de círculos concéntricos con líneas radiales que dividen las zonas en compartimientos, cada compartimiento representa el efecto de la altura y la distancia del relieve próximo a la estación.

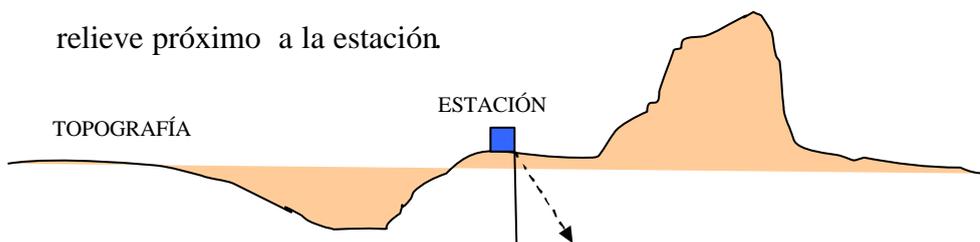


Figura n° 3.1.Efecto topográfico en mediciones gravimétricas (Nettleton, 1976)

- **Corrección por latitud (F):** Se realiza con el fin de eliminar el efecto que en la medida gravimétrica tiene el incremento de la gravedad terrestre del ecuador a los polos, debido principalmente a la rotación de la Tierra y

a la diferencia de radios ecuatorial y polar en la misma. Se aplica mediante el cálculo de la Gravedad Teórica mediante la expresión:

$$G_{teo} = 978031.846 * (1 + 0.005278895 * \text{sen}^2 F + 0.00023462 * \text{sen}^4 F)$$

F : Latitud

(Ecuación nº 3.2)

- **Corrección de Bouguer:** Toma en cuenta el efecto de la masa situada entre el nivel de referencia y la estación, se calcula como:

$$CB = 0.04191 * \rho_B * h \text{ ( mgal)} \quad \text{(Ecuación nº 3.3)}$$

h = altura de la estación

$\rho_B$  = Densidad de Bouguer.

En función de las correcciones planteadas anteriormente se calcula la anomalía de Bouguer, la cual representa la variación del campo gravitatorio en función de las estructuras presentes en el subsuelo.

$$B = G_{obs} - C_{lat} - C_{lon} - C_{alt} - C_{Bouguer} - G_{teo} \quad \text{(Ecuación nº 3.4)}$$

Realizando la representación gráfica sobre un plano de los valores de anomalía según la latitud y longitud de la estación se obtendrá un Mapa de Anomalías de Bouguer para la densidad  $\rho_B$ .

### 3.1.2 MÉTODOS MAGNÉTICOS

Los métodos magnéticos consisten en medir las anomalías del campo geomagnético producidas por variaciones en la intensidad de imanación de las rocas presentes en subsuelo (Parasnis, 1970). La intensidad magnética inducida depende de la susceptibilidad magnética y del campo imanador, mientras que la intensidad remanente es función de la historia geológica de la roca.

El campo geomagnético puede ser representado por un dipolo magnético situado en el centro de la Tierra, con su momento magnético apuntando hacia el sur geográfico (Figura nº 3.2). Físicamente, el origen más probable del campo es la existencia de corrientes de convección que conducen carga en el núcleo terrestre. Los iones cargados que circundan en el interior líquido podrían producir

un campo magnético del mismo modo que una corriente en una espira de alambre produce un campo magnético. (Serway, 1997).

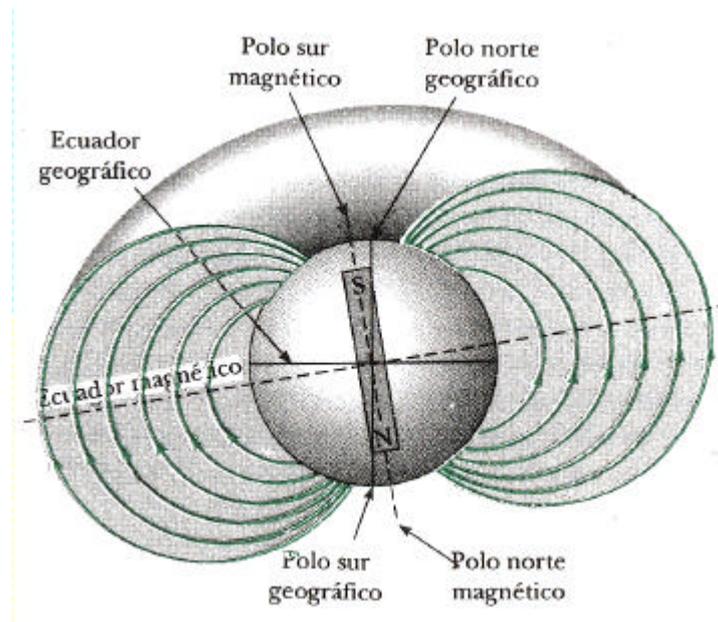


Figura nº 3.2 Líneas de campo magnético de la Tierra. (Serway, 1996)

El campo geomagnético no es constante y varía en intensidad y dirección debido a que en cada punto de la superficie terrestre el vector del campo magnético se define por dos componentes, una principal o bipolar y una secundaria no bi-polar, la cual produce variaciones en la componente total del campo magnético ( $T$ ), (Figura nº 3.3).

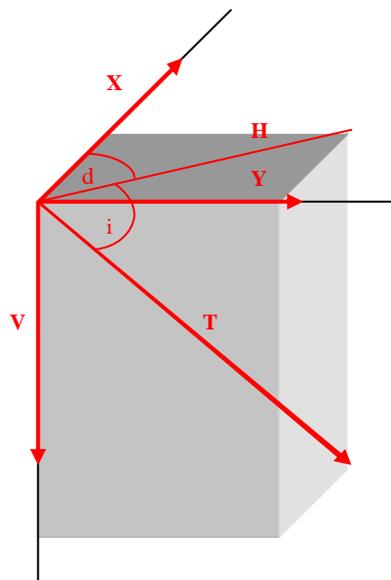


Figura nº 3.3 Componentes del Campo Magnético Terrestre (Nettleton, 1976)

<b>T:</b> Intensidad del campo magnético total	<b>Y:</b> Componente Este
<b>i:</b> Inclinação Magnética.	<b>V:</b> Componente vertical
<b>d:</b> Declinación magnética	<b>H:</b> Componente horizontal
<b>X:</b> Componente Norte	

En el sistema emu, **T** se mide en gammas, donde

$$1 \text{ gamma} = 1 \text{ nanotesla} = 10^{-5} \text{ gauss} = 10^{-5} \text{ oersteds} \quad (\text{Ecuación n}^\circ 3.6)$$

## SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA DE LAS ROCAS

La susceptibilidad magnética es la propiedad física que poseen las rocas para adquirir imanación frente a un campo externo de inducción magnética. La intensidad de imanación  $M_i$ , inducida en una sustancia isótropa por una poder imanador, puede expresarse a través de la ecuación:

$$\vec{M}_i = k \cdot \vec{H} \quad (\text{Ecuación n}^\circ 3.5)$$

La susceptibilidad es  $k$  y representa un parámetro adimensional que determina las propiedades magnéticas de las rocas, ya que se ha estimado que la susceptibilidad depende del contenido de minerales ferromagnéticos que posee una roca.

La magnetización en las rocas puede ser explicada con base en la clasificación de los materiales de acuerdo a sus propiedades magnéticas:

### **Materiales Diamagnéticos**

El diamagnetismo tiene su origen en el movimiento de un electrón alrededor de un núcleo, el cual genera un momento magnético descrito por un vector, que en presencia de un campo magnético externo toma un movimiento de precesión alrededor de éste creando un momento con sentido opuesto al campo inductor ( $-k$ ). El diamagnetismo puro existe cuando los momentos magnéticos de los átomos son nulos en ausencia de un campo exterior. Algunos minerales diamagnéticos son cuarzo, mármol, grafito, sal gema y yeso.

### **Materiales Paramagnéticos**

Un material es paramagnético cuando los átomos o moléculas que lo componen poseen un momento magnético en ausencia de un campo exterior y además la interacción entre los átomos es débil. Normalmente los momentos están distribuidos al azar pero al recibir la inducción de un campo externo se alinean en dirección de éste, por lo tanto su susceptibilidad ( $k$ ) es positiva. Algunas rocas paramagnéticas son los gneises, pegmatitas, dolomías y sienitas.

### **Materiales Ferromagnéticos**

Son aquellos materiales que poseen átomos con momento magnético y la interacción entre átomos es tan fuerte, que los momentos de todos los átomos de cada dominio se orientan en la misma dirección aún en ausencia de un campo externo.

Dentro de esta clasificación se puede mencionar que cuando los elementos de cada dominio del átomo se encuentran en direcciones opuestas el material es antiferromagnético y cuando el número de espines es desigual se denomina ferrimagnéticos. El ferromagnetismo desaparece por encima de la temperatura de Curie.

### **MAGNETIZACIÓN REMANENTE DE LAS ROCAS**

La magnetización permanente o remanente es la alineación de los dominios de los constituyentes ferrimagnéticos de las rocas. El mecanismo se logra bajo una imanación termo-remanente (TRM) que se adquiere cuando la roca pasa del estado viscoplastico al estado sólido, donde las partículas que la integran toman la dirección del campo geomagnético en el momento y lugar de formación.

Las rocas ígneas y sedimentarias poseen imanación remanente en grado variable, ya que no sólo muestran una imanación intensa sino que además tienen direcciones diversas que reflejan que el campo magnético terrestre ha cambiado de dirección en diferentes edades geológicas. (Parasnis,1970).

## MAGNETISMO TERRESTRE

El campo geomagnético no es constante en ningún punto de la superficie, ya que sufre perturbaciones provocadas por las siguientes variaciones:

**Variaciones seculares:** Son aquellas que cambian lentamente durante décadas o siglos. Se determinan por las variaciones en los distintos componentes de la intensidad magnética total como en la declinación e inclinación.

**Variación diurna:** Son las oscilaciones, menores pero más rápidas, que tienen una periodicidad de aproximadamente 24 horas solares. Estas variaciones diurnas son registradas regularmente por observatorios magnéticos. La variación puede ser suave, regular y de poca amplitud o fuerte con menos regularidad asociada a tormentas magnéticas.

**Variación lunar:** Son variaciones generadas por dos pasos consecutivos de luna por un meridiano terrestre (24 horas lunares), generando modificaciones de baja intensidad debido a la acción solar sobre la ionosfera, donde se crean campos magnéticos.

**Tormentas magnéticas:** Son cambios fuertes en los elementos magnéticos que dependen principalmente de la latitud, originados por la actividad solar en particular como erupciones y apariciones de manchas solares. (Netleton, 1976)

Los instrumentos usados en estudios geomagnéticos permiten determinar el valor absoluto del campo magnético total, en condiciones de topografía real, por lo que el procesamiento en estos datos viene dado por tres procesos:

- Correcciones por variaciones en el tiempo

Los datos deben ser corregidos por efecto de las variaciones seculares y diurnas.

- Amarre al campo geomagnético de referencia internacional – IGRF.

Se realiza para remover el contenido de componentes de longitud de onda larga, mediante un modelo matemático que genera el campo magnético total

en cualquier punto. El modelo contiene coeficientes armónicos esféricos, derivados de observaciones y datos de satélite, y es revisado cada cinco años.

- Filtraje

Se realiza para obtener la mejor relación señal/ruido, mediante filtros clásicos como paso alto y paso bajo, y otros no tan clásicos como coseno direccional entre otros.

## **ANOMALÍAS MAGNÉTICAS**

Las anomalías magnéticas para un cuerpo magnetizado dado se complican mucho más que las anomalías de gravedad de un cuerpo con los mismos límites. En gravimetría la anomalía producida por un cuerpo depende de la geometría y el contraste de densidad del cuerpo. En magnetismo la anomalía depende de los siguientes factores:

- 1.- La geometría del cuerpo.
- 2.- La dirección del campo magnético de la tierra y la localización del cuerpo.
- 3.- La dirección de polarización de los minerales que forman el cuerpo.
- 4.- La orientación del cuerpo con respecto a la dirección del campo terrestre.
- 5.- La orientación de la línea de observación (la línea del vuelo) con respecto al eje del cuerpo. (Netleton, 1976).

## **CAPÍTULO IV**

### **4.1 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

A partir de los datos gravimétricos y magnéticos se generaron los mapas de Anomalía de Bouguer, Anomalía Regional-Residual, Intensidad Magnética Total Reducción al Polo y Segunda Derivada Vertical de IMT, así como también se realizaron análisis estadísticos, geoestadísticos y espectrales de los datos magnéticos para estimar matemáticamente la profundidad y distribución de estructuras del subsuelo.

El análisis integrado de los resultados obtenidos comprende una fase cuantitativa y una cualitativa. El análisis cuantitativo se realizó aplicando herramientas computacionales que muestran tablas y gráficos de la distribución numérica y espacial de los datos. Por otro lado el análisis cualitativo establece la descripción e interpretación de los mapas elaborados y su correlación con la geología característica de la zona de estudio.

De esta manera se presentan y analizan a continuación los resultados obtenidos del procesamiento de los datos gravimétricos y magnéticos de la Zona de Cupacuy, en el norte del Estado Bolívar:

#### **4.1.1 RESULTADOS GRAVIMÉTRICOS**

A partir de la base de datos gravimétricos de la Red Gravimétrica Nacional suministrados por el Departamento de Geofísica de la U.C.V se construyó el mapa de Anomalía de Bouguer del norte del Estado Bolívar con un número total de 1879 estaciones gravimétricas. El mapa se generó con el fin de tener un mejor control de los contornos del marco específico de estudio, comprendido en la zona de Cupacuy entre coordenadas  $61^{\circ} 45' W$  -  $62^{\circ} 30' W$  de longitud y  $7^{\circ} 30' N$  -  $8^{\circ} 00' N$  de latitud. La distribución total de las estaciones y la identificación de la zona se ilustra en la Figura nº 4.1.

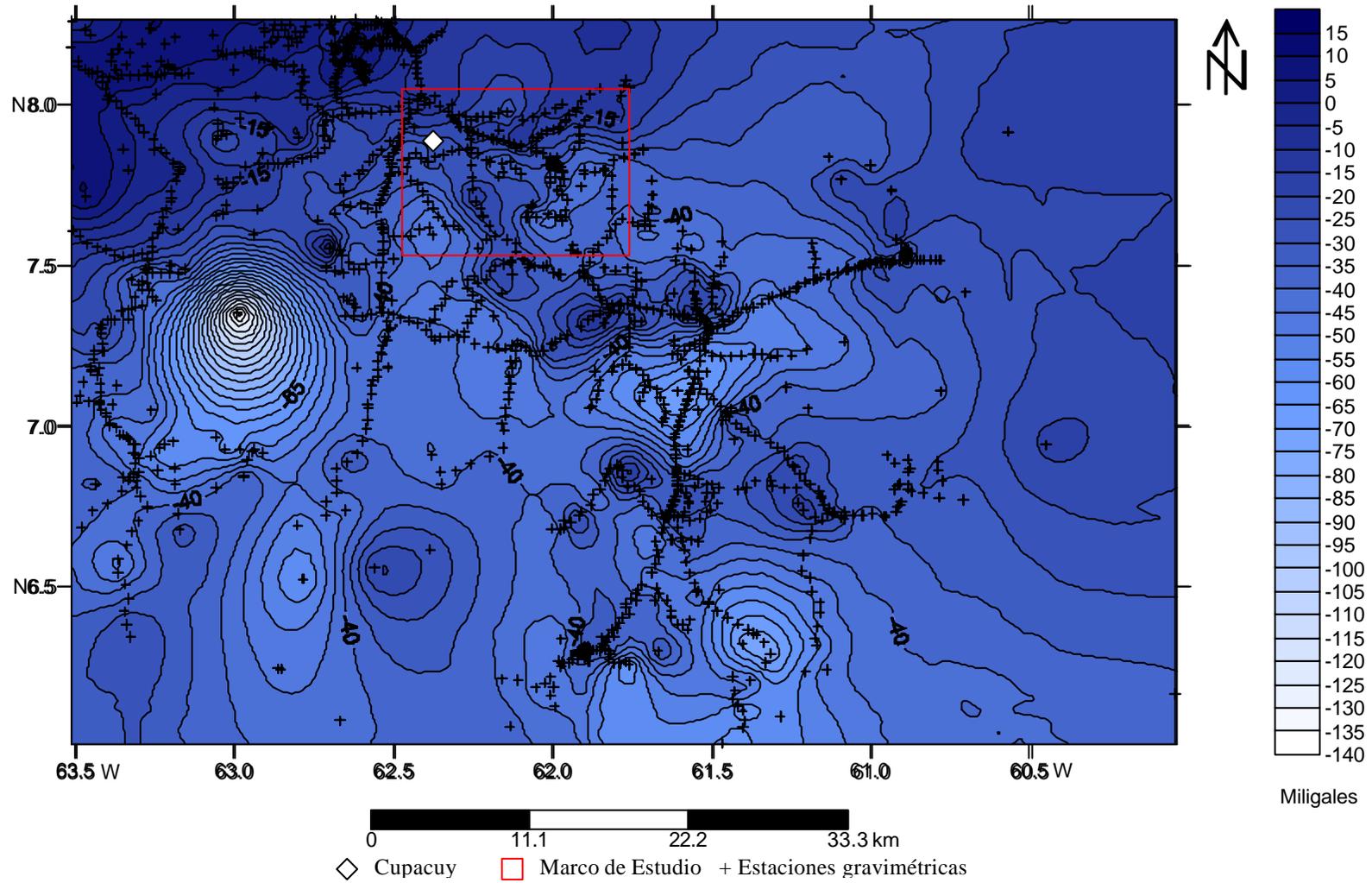


Figura n° 4.1 Mapa de Anomalía de Bouguer del Norte del Estado Bolívar

Para la zona de estudio se determinó a partir del mapa de AB del Norte del Estado Bolívar los siguientes datos:

Tabla n° 4.1 Datos Gravimétricos de Anomalía de Bouguer

Marco Geográfico de Trabajo	Longitud 61° 45' W - 62° 30' W Latitud 07° 30' N - 8° 00' N
N° de Estaciones Gravimétricas Terrestres	230
Máximo Valor de Anomalía de Bouguer	-7,79588 Miligales
Mínimo Valor de Anomalía de Bouguer	-48,04254 Miligales
Rango de Valores de Anomalía de Bouguer	40,24665 Miligales

Con el programa Surfer 8<sup>®</sup>, Golden Software Inc. 2002 se generó el Mapa de Anomalía de Bouguer, aplicando una malla o “grid” de interpolación “Kringing”, con suavizado alto e intervalo de curvas de 2 miligales (Figura n° 4.2).

#### **Análisis del Mapa de Anomalía de Bouguer**

El análisis del mapa de Anomalía de Bouguer de la Figura n° 4.2, se puede establecer en principio con la determinación de la orientación o tendencia general del mapa, el cual se estimó en N 80° E. La observación del mapa en general permite establecer 3 comportamientos significativos de las curvas de contornos de Anomalía de Bouguer. Se determina entre coordenadas 62,20° W - 62,50° W de longitud y 7,5° N - 7,7° N de latitud un cierre de contornos anómalos menores que hacia longitudes cercanas a 62,5° W se inician con la dirección de la tendencia general del mapa y posteriormente cambian la dirección hacia el sur en longitudes próximas a 62,2° W.

Como otra observación significativa se determinan, entre coordenadas 61,8° W - 62,10° W de longitud y 7,5° N - 7,85° N de latitud, cierres de curvas de contorno con valores intermedios que en longitud próxima a 61,95° W modifican la tendencia general del mapa mencionada anteriormente. Como tercer punto relevante se observa una tendencia más uniforme de líneas de contorno en latitudes mayores a 7,9° N con valores anómalos del orden de -22 a -12 mgal y líneas de tendencia paralelas que definen la orientación general del mapa.

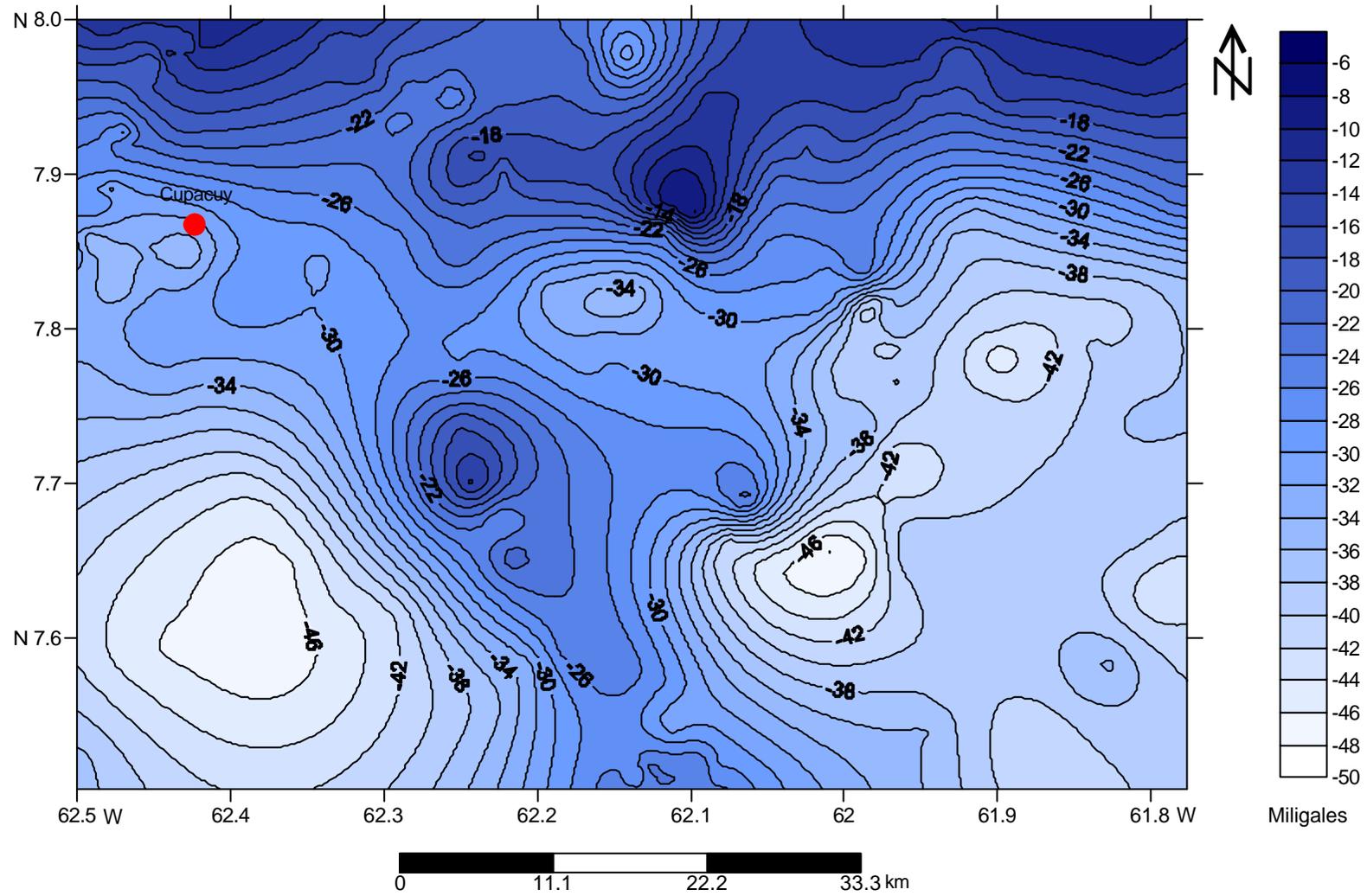


Figura n° 4.2. Mapa de Anomalia de Bouguer de la zona de Cupacuy, Edo. Bolívar

Para describir los máximos y mínimos es oportuno establecer que las anomalías mayores en la zona de estudio se determinan en  $-7$  mgal y el valor mínimo en  $-48$  mgal con un rango de  $40$  mgal. Los valores máximos de Anomalía de Bouguer se ubican entre coordenadas  $62,05^{\circ}$  W -  $62,15^{\circ}$  W de longitud y  $7,85^{\circ}$  N -  $7,95^{\circ}$  N de latitud con magnitudes de  $-10$  mgal aproximadamente. Hacia la parte Norte de la zona de estudio entre coordenadas de latitud  $7,95^{\circ}$  N -  $8,00^{\circ}$  N se localizan también valores máximos de anomalía que están entre  $-22$  y  $-12$  mgal.

Los valores mínimos de anomalías se identifican en dos sectores, uno de ellos entre  $62,5^{\circ}$  W -  $62,20^{\circ}$  W de longitud y por debajo de  $7,75^{\circ}$  N de latitud, el otro se localiza entre  $61,85^{\circ}$  W -  $62,5^{\circ}$  W de longitud y entre  $7,60^{\circ}$  N y  $7,75^{\circ}$  N de latitud; ambos sectores con magnitudes de  $-46$  mgal como mínimo valor de anomalía.

En cuanto a los gradientes se observan distintos comportamientos que van desde cambios abruptos localizados a cambios graduales de mayor extensión. Al SO entre coordenadas  $62,15^{\circ}$  W -  $62,5^{\circ}$  W de longitud y  $7,5^{\circ}$  N -  $7,75^{\circ}$  N de latitud se determina un gradiente con dirección NE-SO de  $2,18$  mgal/km, que asciende desde  $-46$  mgal a  $-22$  mgal en  $13,7$  km aproximadamente.

En el SE de la zona de estudio entre coordenadas  $62,25^{\circ}$  W -  $62,10^{\circ}$  W de longitud se determinan gradientes de  $2,64$  mgal/km con dirección NO-SE. Otro gradiente importante es el definido en la parte NE de la zona de estudio, el cual desciende desde  $-38$  mgal hasta  $-12$  mgal en  $16,14$  km, con un gradiente calculado en  $1,6$  mgal/km.

En términos generales se puede determinar que al sobreponer el mapa de Anomalía de Bouguer sobre el mapa geológico de estudio (Figura nº 4.3), las mayores anomalías gravimétricas se localizan hacia la parte NO del marco del estudio donde se identifica la litología de la Provincia de Imataca, mientras que los menores se localizan en la parte SO y SE del mapa, lo cual corresponde al Complejo de Supamo removilizado. El contraste de densidades es mayor hacia la parte central del mapa donde se establecen 2 gradientes de direcciones NE-SO y

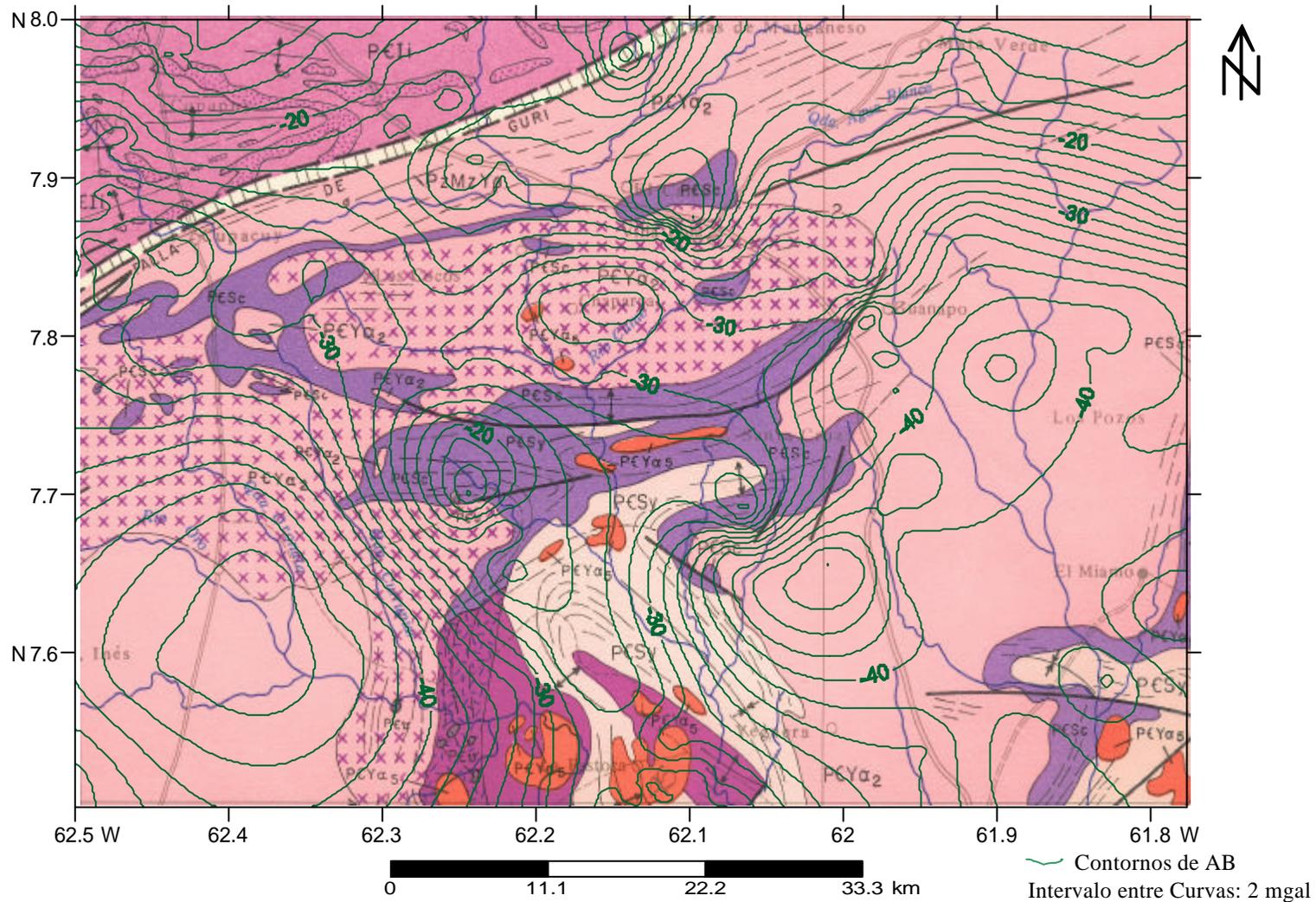


Figura N° 4.3 Mapa Geológico y Anomalia de Bouguer de La Zona de Cupacuy, Edo. Bolívar



NO-SE que delimitan una faja de anomalías intermedias que van de -30 mgal a -22 mgal, en la cual se identifican correspondientemente con las curvas y cierres de contorno el Grupo Carichapo, la Formación Yuruari e intrusiones del Granito del Parguaza.

Aunado a lo anterior se identifica un cierre máximo de -12 mgal en 62,1° W de longitud y 7,9° N de latitud que podría asociarse a intrusiones graníticas del Grupo Carichapo. En las coordenadas 62,25° W y 7,7° N se identifica también un cierre máximo significativo de -14 mgal que muestra la respuesta asociada a rocas de mayor densidad en la Formación Yuruari.

En la Figura 4.3 es importante destacar que en el SO del mapa las líneas de contorno de anomalía de Bouguer muestra una dirección aproximada de N 25° W, la cual corresponde con la dirección de las estructuras que en el mapa geológico se identifican como unidades del Grupo Carichapo

### **Separación Regional-Residual**

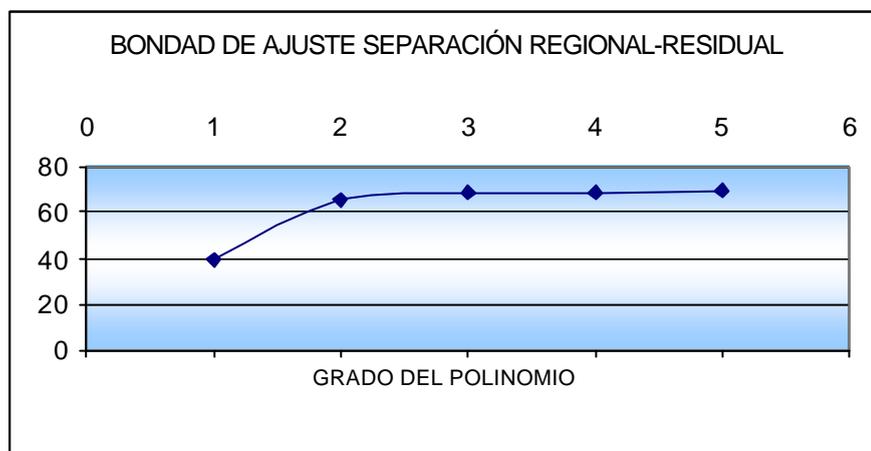
Para la separación regional-residual se aplicó la técnica de tendencias por superficies polinómicas a partir de la cual se realizaron los mapas de Anomalía Regional-Residual hasta grado 5.

La bondad de ajuste es la técnica matemática que a través de mínimos cuadrados determina cual es el polinomio que mejor describe los efectos de la anomalía regional. A partir del análisis matemático se determinó que el polinomio de 3° grado es el que mejor ajusta con la tendencia regional de la anomalía de Bouguer. En la Tabla n° 4.2 se muestran los valores calculados de  $R^2$  y en la Figura 4.4 se muestra la curva de ajuste de las superficies polinómicas generadas. Se puede observar que es asintótica a partir del polinomio de 3° grado, el cual representa el mejor ajuste regional.

Tabla n° 4.2 Datos de la Bondad de Ajuste Separación Regional-Residual del Mapa de Anomalía de Bouguer

POLINOMIO	R <sup>2</sup>
1	39,05804
2	65,68453
3	69,00828
4	68,97085
5	69,46804

Figura n° 4.4. Bondad de Ajuste Separación Regional – Residual del Mapa de AB



### Análisis del mapa regional-residual de Anomalía de Bouguer de 3° grado

El mapa de anomalía regional de 3° grado (Figura 4.5) muestra una orientación N 85° W y a su vez muestra una forma característica que en matemática podría ilustrarse como una hipérbola que en el eje “x” (hacia el este y el oeste) contiene las anomalías regionales menores y en el eje “y” (hacia el norte y el sur) las anomalías regionales mayores.

Hacia la parte norte de la zona de estudio los valores de anomalías se ubican entre -32 y -14 mgal mientras que al este y oeste se muestran valores menores de -38 a -46 mgal y -38 a -48 mgal respectivamente. Se observa un mayor gradiente en la parte central del mapa calculado en 0,36 mgal/km aproximadamente, mientras que hacia el oeste y este del mapa los gradientes se calculan en 0.32 mgal/km.

El rango de valores de anomalía residual (Figura 4.5) varía desde -18 a 22 miligales, con valores máximos de anomalía residual entre coordenadas 62,30° W - 62,00° W de longitud y 7,65 N - 7,90 N de latitud representado por 3 cierres de curvas de contorno con magnitudes de 6 a 20 mgal; también se localizan valores mínimos de -8 a -18 mgal distribuidos en la zona norte y sur del marco de estudio. Los contrastes son mayores hacia la parte central del mapa residual por lo que se determinan mayores gradientes que varían entre 3.17 mgal y 1,05 mgal.

Es relevante mencionar que dentro de coordenadas 62,2° W - 62,3° W de longitud y 7,7° N - 7,8° N de latitud se ubica un cierre de contornos con valor máximo de 20 mgal, lo cual se relaciona con el efecto superficial del grupo Carichapo, el cual está conformado por metalavas y metatobas basálticas y menor proporción de rocas ultramáficas. Del mismo modo se localizan cierres máximos de curvas de contorno entre coordenadas 62,00° W - 62,15° W de longitud y 7,8° N - 7,95° N de latitud con valor máximo de 14 mgal el cual está asociado a la distribución local del Grupo Carichapo.

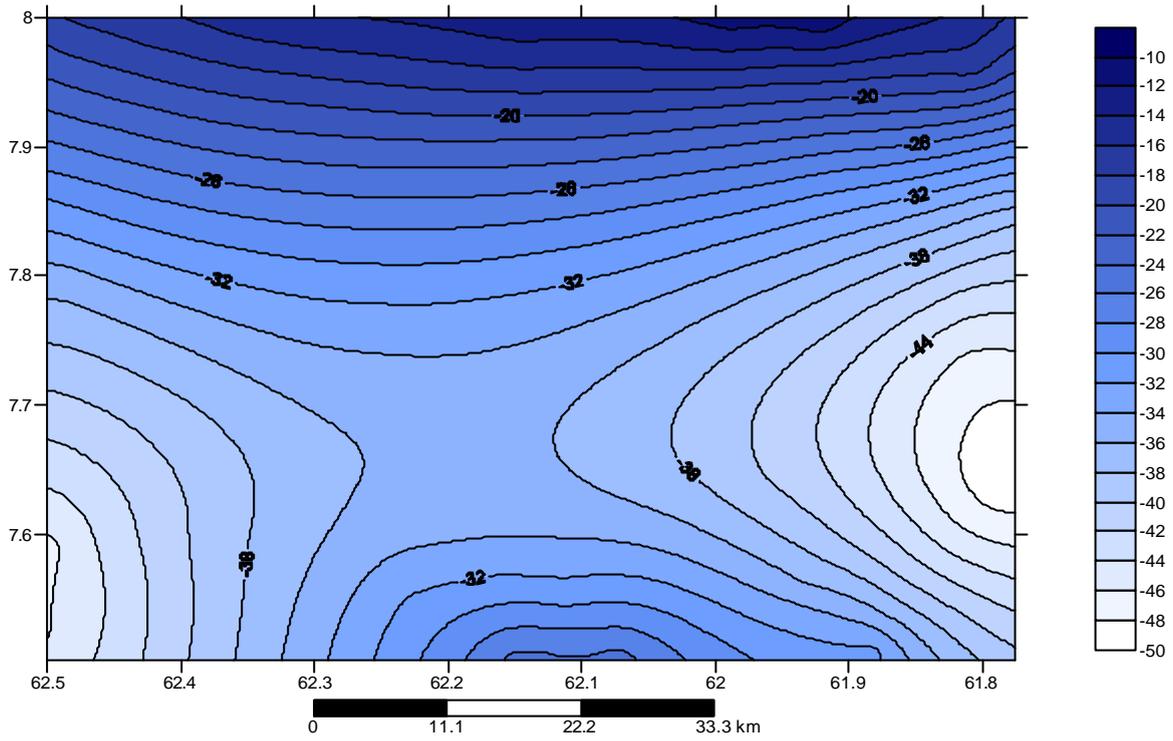


Figura n° 4.5 Mapa de Anomalía Regional de Bouguer de 3° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar

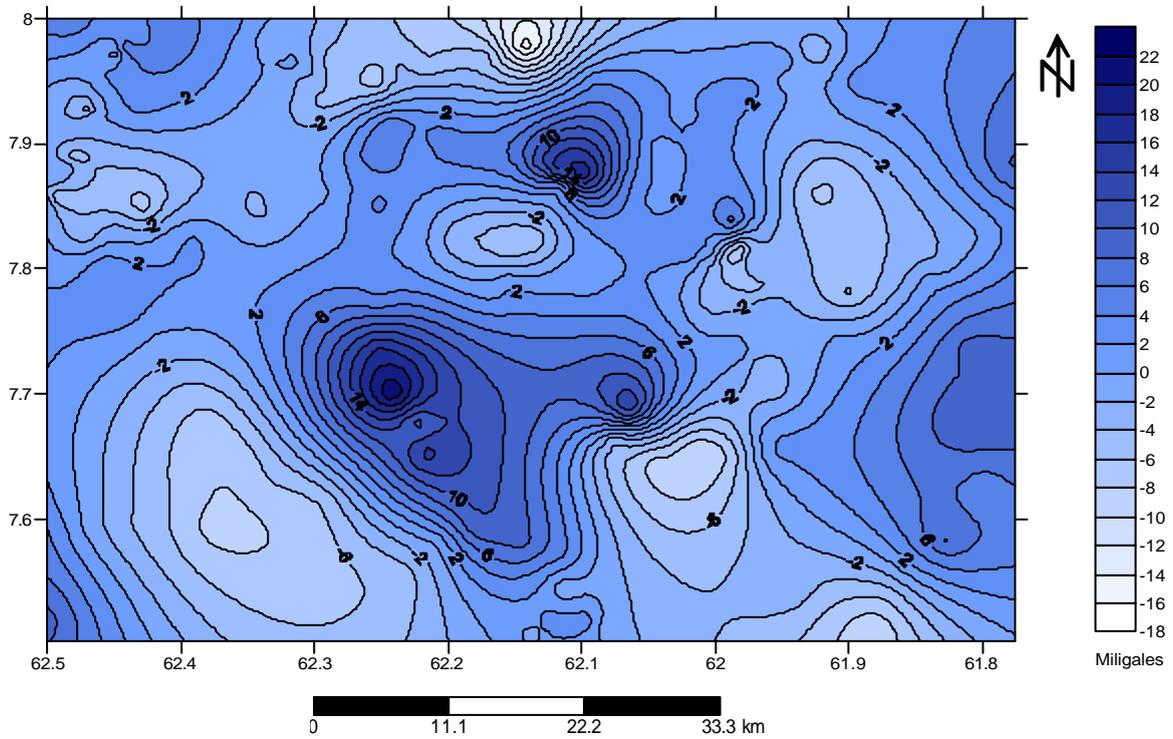


Figura n° 4.6 Mapa de Anomalía Residual de Bouguer de 3° Grado de la zona de Cupacuy. Edo. Bolívar

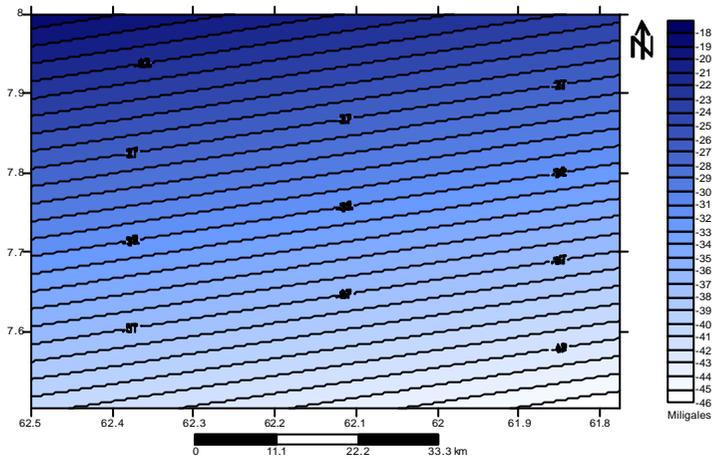


Figura n° 4.7 Mapa de Anomalía Regional de Bouguer de 1° Grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

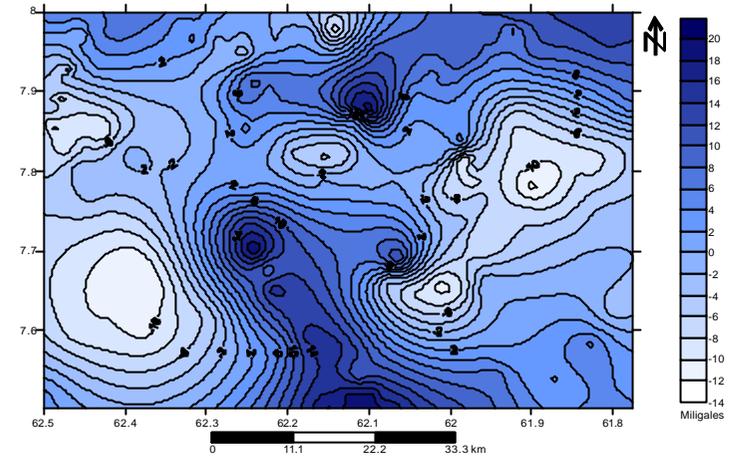


Figura n° 4.8 Mapa de Anomalía Residual de Bouguer de 1° grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

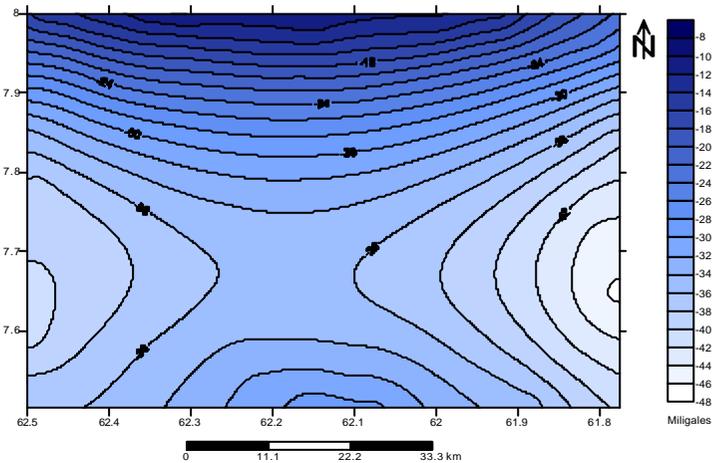


Figura n° 4.9 Mapa de Anomalía Regional de Bouguer de 2° Grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

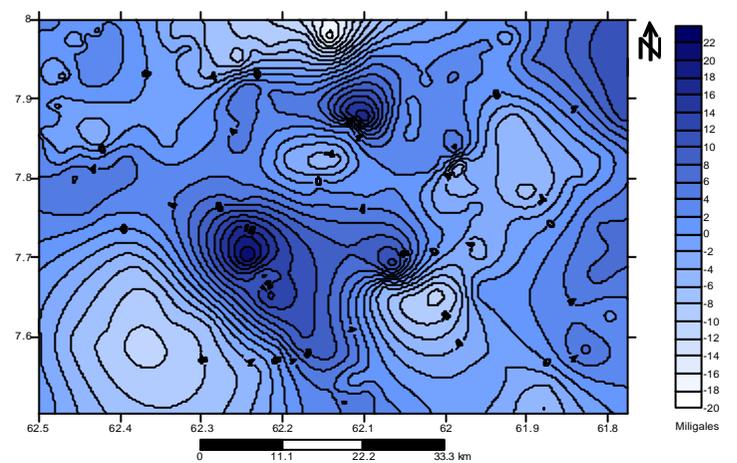


Figura n° 4.10 Mapa de Anomalía Residual de Bouguer de 2° grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

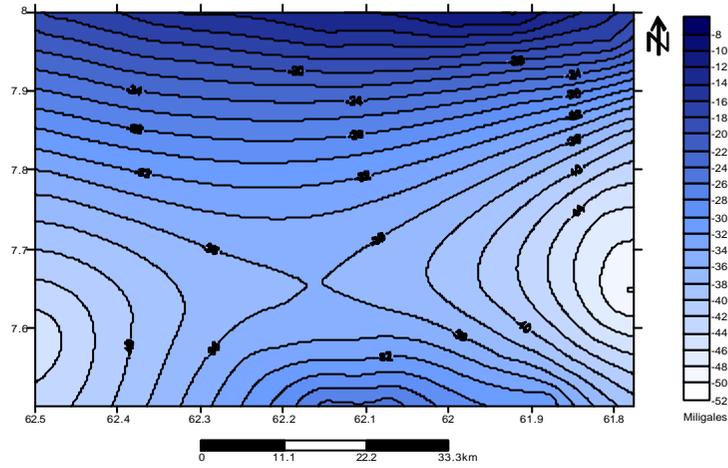


Figura n° 4.11 Mapa de Anomalía Regional de Bouguer de 4° Grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

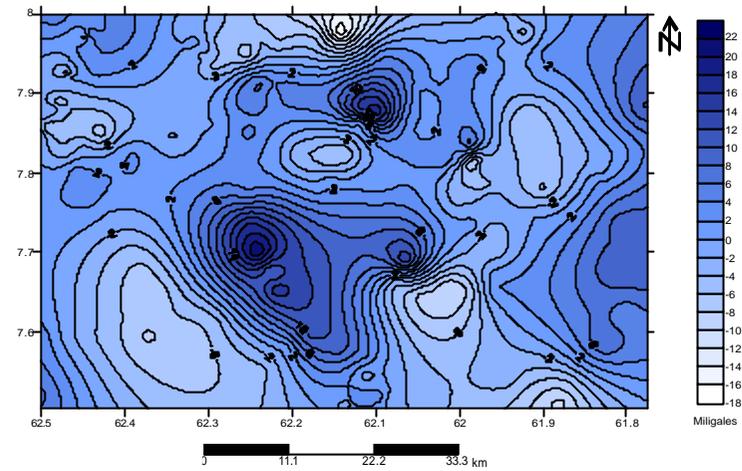


Figura n° 4.12 Mapa de Anomalía Residual de Bouguer de 4° grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

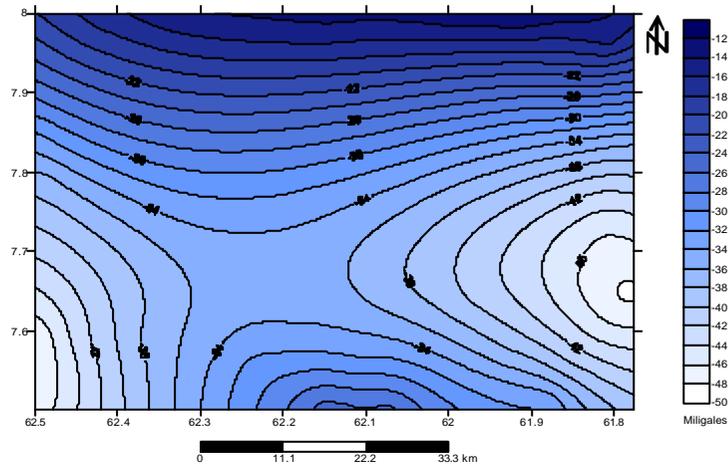


Figura n° 4.13 Mapa de Anomalía Regional de Bouguer de 5° Grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

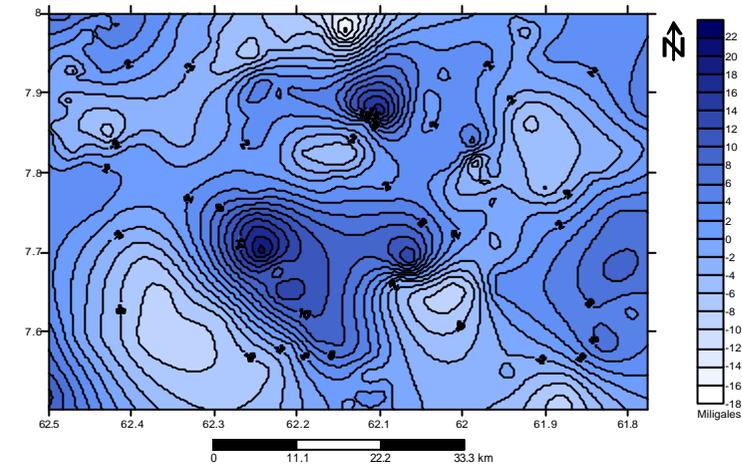


Figura n° 4.14 Mapa de Anomalía Residual de Bouguer de 5° grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

#### 4.1.2 RESULTADOS MAGNÉTICOS

El proceso de digitalización de los mapas aeromagnéticos permitió hacer un seguimiento lineal de las líneas de contorno punto a punto, con el objeto de obtener la ubicación espacial en coordenadas ortogonales de cada uno de ellos y generar la base de datos en formato digital.

La digitalización de las hojas NS-45, NS-46, NS-47, NT-45, NT-46, NT-47 (Figura 1.4) entre coordenadas de longitud  $61^{\circ} 45' W - 62^{\circ} 30' W$  y  $7^{\circ} 30' N - 8^{\circ} 00' N$  de latitud arrojó los resultados de la Tabla n° 4.3.

Tabla n° 4.3 Datos generados por la digitalización de los Mapas Aeromagnéticos

HOJAS	N° DATOS
NS-45	68.126
NS-46	67.007
NS-47	34.533
NT-45	19.989
NT-46	44.100
NT- 47	23.101
<b>TOTAL</b>	<b>256.856</b>

#### Análisis estadístico de los datos de IMT

Para realizar el análisis estadístico se usó el Programa SPSS® 10.0 for Windows © (1999) SPSS Inc, al cual se le introdujeron 256.856 datos de Intensidad Magnética Total como entrada para realizar el proceso de validación de datos descriptivos. El programa determinó las medidas de tendencia central y medidas de dispersión (Tabla n° 4.4) así como también el histograma de frecuencias (Figura n° 4.15).

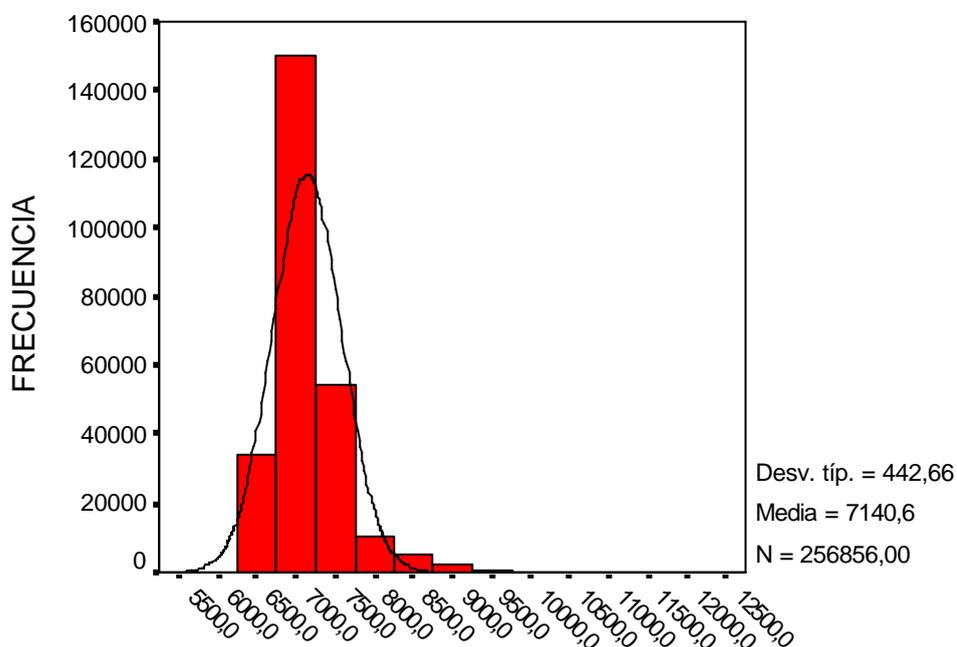
En cuanto a la distribución de frecuencia de IMT generada se determina un valor promedio representativo de 7140,5722 gammas, una mediana de 7060 gammas y un valor de 7020 gammas como el más frecuente del conjunto de datos. El valor máximo de IMT es de 12.500 gammas y el menor de 5.600 gammas, valores que establecen un rango de 6.900 gammas. La desviación de los datos en promedio de la media aritmética se determina en 442,6627 gammas para luego establecer una varianza de 195.950,3 gammas.

Tabla nº 4.4. Resultados del análisis estadístico de IMT

**Estadísticos**

VAR IMT		
N	Válidos	256856
	Perdidos	0
Media		7140,5722
Error típ. de la media		,8734
Mediana		7060,0000
Moda		7020,00
Desv. típ.		442,6627
Varianza		195950,3
Asimetría		2,531
Error típ. de asimetría		,005
Curtosis		12,370
Error típ. de curtosis		,010
Rango		6900,00
Mínimo		5600,00
Máximo		12500,00

**HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE IMT**



**VALORES DE INTENSIDAD MAGNÉTICA TOTAL**

Figura nº 4.15. Histograma de Frecuencia de IMT

En el histograma de frecuencia se determinaron 15 intervalos de clase con longitud de 500 gammas y agrupados en forma ascendente. La curva de frecuencia describe un comportamiento normal, curtosis positiva y desviación típica baja; parámetros que permiten interpretar que la mayoría de los valores agrupados de Intensidad Magnética Total están por debajo de la media aritmética calculada.

La interpretación del histograma de frecuencia de IMT con base en la distribución de magnetización de la zona de estudio conduce a determinar tres comportamientos significativos de la distribución de los datos; en primer lugar se establece que la mayoría de los datos de IMT están dentro del intervalo de 6500 a 7000 gammas, el segundo intervalo representa una frecuencia de 60000 unidades, seguido por el intervalo de 6000 a 6500 como la tercera respuesta estadística significativa.

Del mismo modo se puede establecer que los intervalos de 8.500 hasta 12.500 gammas representan frecuencias bajas, observación que permite señalar que los valores máximos de IMT son pocos con respecto al número total de datos y que posiblemente están muy localizados.

### **Análisis Geoestadístico**

Para realizar el análisis geoestadístico se usó el programa GRIDSTATPRO<sup>®</sup> (GRIDSTATPRO Inc., 1999) versión 2002, donde se establece la relación espacial con la distribución de medidas experimentales. La relación se muestra a través de los variogramas, los cuales determinan el grado de correlación espacial definida por la función  $\gamma(h)$ .

Los 1.000 datos usados en GRIDSTATPRO<sup>®</sup> se seleccionaron en forma aleatoria de la base de datos de IMT (256.856 datos) usando el programa SPSS<sup>®</sup> 10.0 (1999), el cual generó valores de entrada para realizar los variogramas.

En la Figura n° 4.16 se muestra el variograma de distribución espacial de los datos, en el cual se observa que el mayor volumen de los mismos se ubica al

NE de la zona de estudio, esto se debe a que los mapas aeromagnéticos preliminares presentan mayor gradiente en dicha sección.

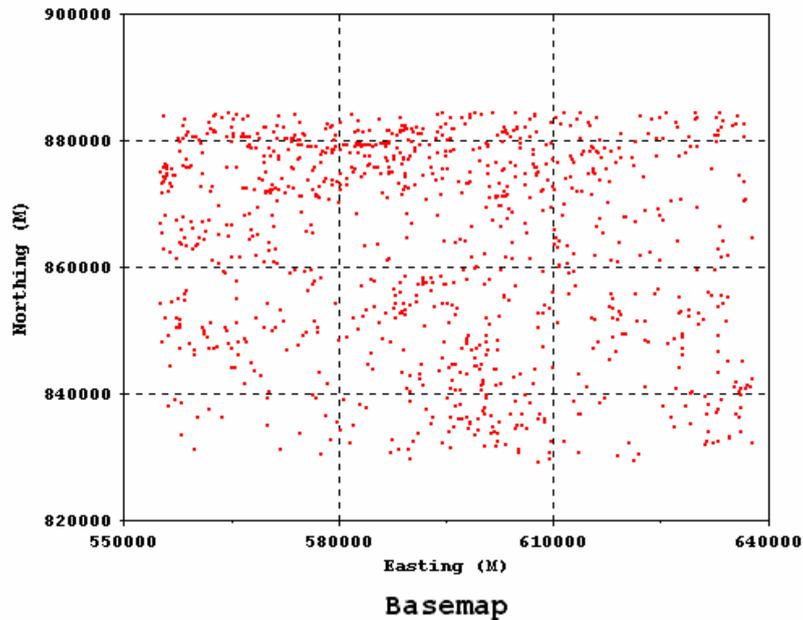
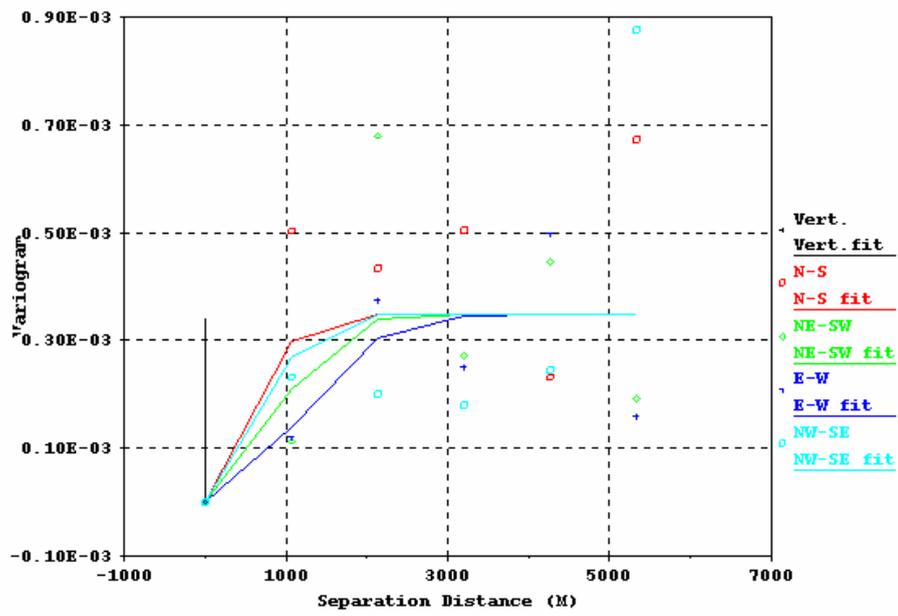


Figura n° 4.16 Variograma de localización de datos de la zona de estudio.

Hacia coordenadas inferiores a 840.000 (UTM) la distribución de puntos es más dispersa debido a menor número de curvas, gradientes menores que describen distribuciones litológicas más uniformes.

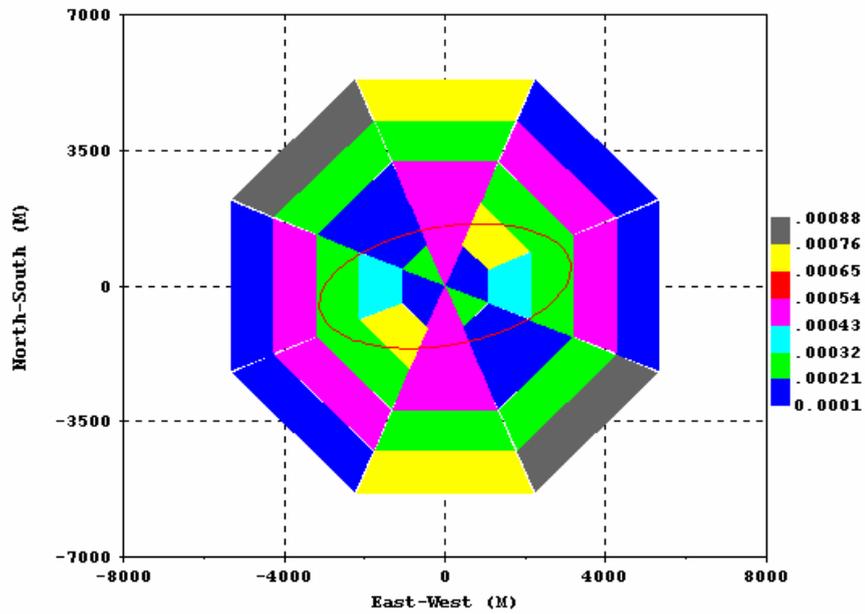
El ajuste del variograma teórico (Figura n° 4.17) con el variograma experimental se determina en forma óptima con una relación gaussiana que genera un error de 9,81 %, y establece la existencia de anisotropía geométrica en la zona de estudio.

La roseta de anisotropía (Figura n° 4.18) muestra la distribución de las variaciones magnéticas en el marco espacial de trabajo, y dentro de ella se diferencia la elipse de anisotropía la cual muestra en la dirección del eje focal la orientación de la mayor continuidad de las propiedades magnéticas.



**All Variograms**

Figura nº 4.17. Curva de ajuste de los variogramas teóricos de IMT



**Areal Variogram**

Figura nº 4.18. Roseta de distribución espacial de IMT

La elipse de anisotropía (Figura 4.19) muestra una dirección del eje mayor de 79,219°, lo cual representa la orientación de mayor continuidad de magnetización distribuida en la zona de estudio. La relación entre el eje focal y el eje normal es 2,08, el primero es 0,480 unidades mayor al segundo.

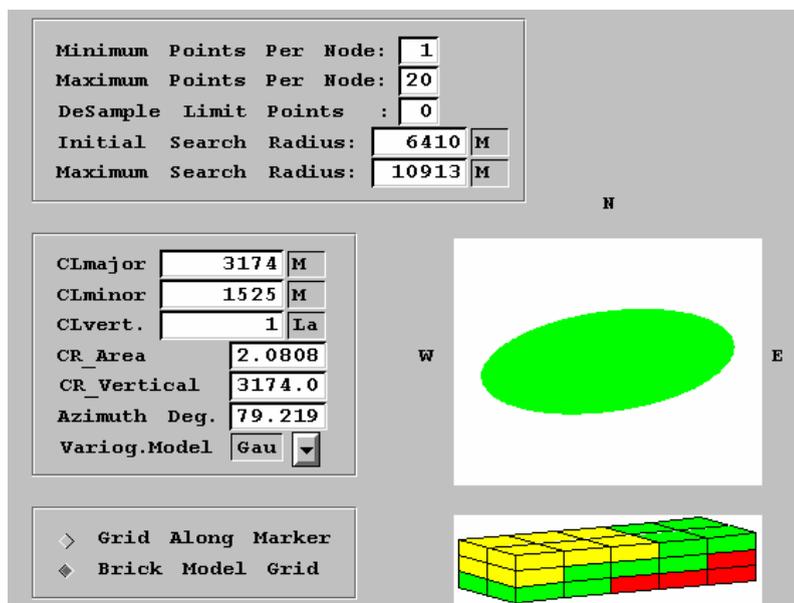


Figura nº 4.19. Elipse de anisotropía de IMT.

### Análisis espectral de los datos aeromagnéticos

El estudio del contenido de longitud de onda de las anomalías presentes en la zona de estudio permite conocer la contribución de los efectos de fuentes profundas y los de fuentes superficiales. Aplicando el programa Magma<sup>TM</sup>® de GEOSOFT (1996), es posible analizar los datos de IMT en el dominio de la frecuencia, y aplicando el principio de Battacharyya (1966), se puede calcular la profundidad como la pendiente de la aproximación lineal entre  $4\pi$ .

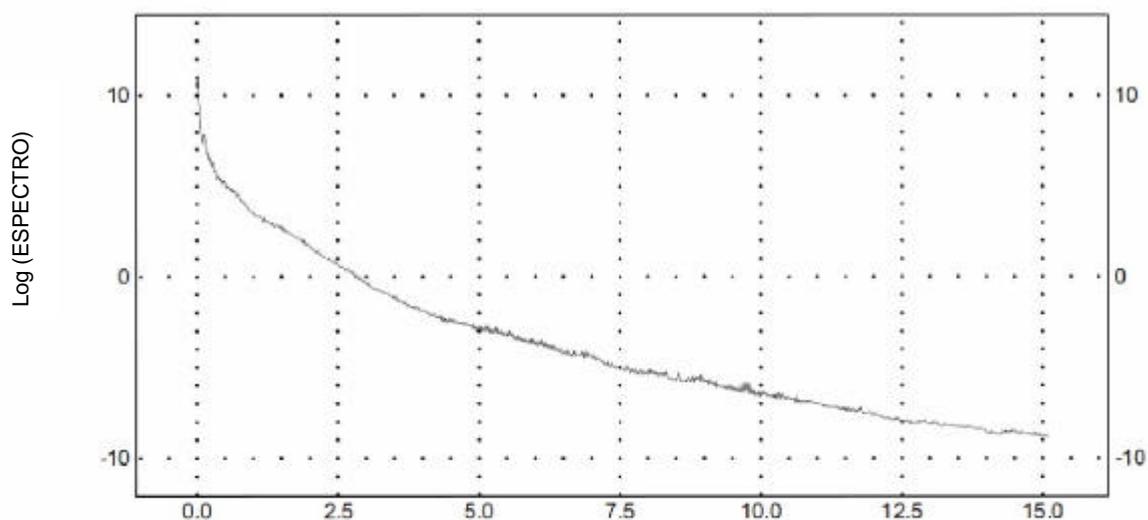
El análisis espectral del presente estudio comprendió en primer lugar el procesamiento de 256.856 datos de Intensidad Magnética Total que conforman la base de datos generada; por otra se realizó el estudio espectral de 3 perfiles que comprenden los datos bases para realizar los modelos del subsuelo.

A partir del análisis cuantitativo del promedio radial del espectro de energía del conjunto total de datos de IMT (Figura nº 4.20) se muestran los siguientes valores estimados:

Tabla nº 4.5. Profundidades estimadas a partir del análisis espectral de los datos totales IMT de la zona de Cupacuy, Edo. Bolívar

ZONA	PROFUNDIDAD (km)	UNIDAD LITOLÓGICA
Profunda	6.80	Imataca o equivalente
Intermedia	5.21	Supamo o equivalente
Superficial	1.82	Carichapo o equivalente

PROMEDIO RADIAL DEL ESPECTRO DE ENERGÍA



PROFUNDIDAD ESTIMADA

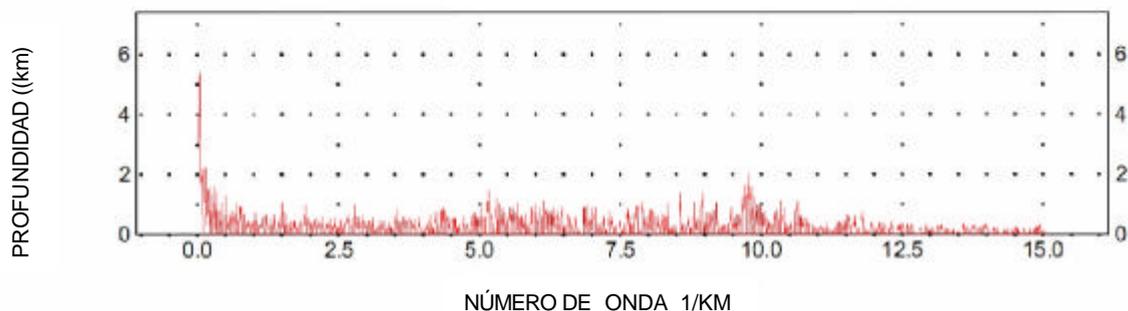


Figura 4.20 Análisis espectral de IMT de la zona Cupacuy, Edo. Bolívar

### Análisis Espectral Perfil A-A':

Orientación: S-N

A: Long. 62° 21' W, Lat: 7° 30' N

A': Long. 62° 21' W, Lat: 8° 00' N

El análisis cuantitativo del promedio radial del espectro de energía del perfil A-A' (Figura nº 4.21) arrojó los resultados que se incluyen en la Tabla nº 4.6.

Tabla nº 4.6. Profundidades estimadas a partir del análisis espectral del perfil A-A'

ZONA	PROFUNDIDAD (km)	UNIDAD LITOLÓGICA
Profunda	5.72	Imataca o equivalente
Intermedia	2.45	Supamo o equivalente
Superficial	0.85	Carichapo o equivalente

#### PROMEDIO RADIAL DEL ESPECTRO DE ENERGÍA

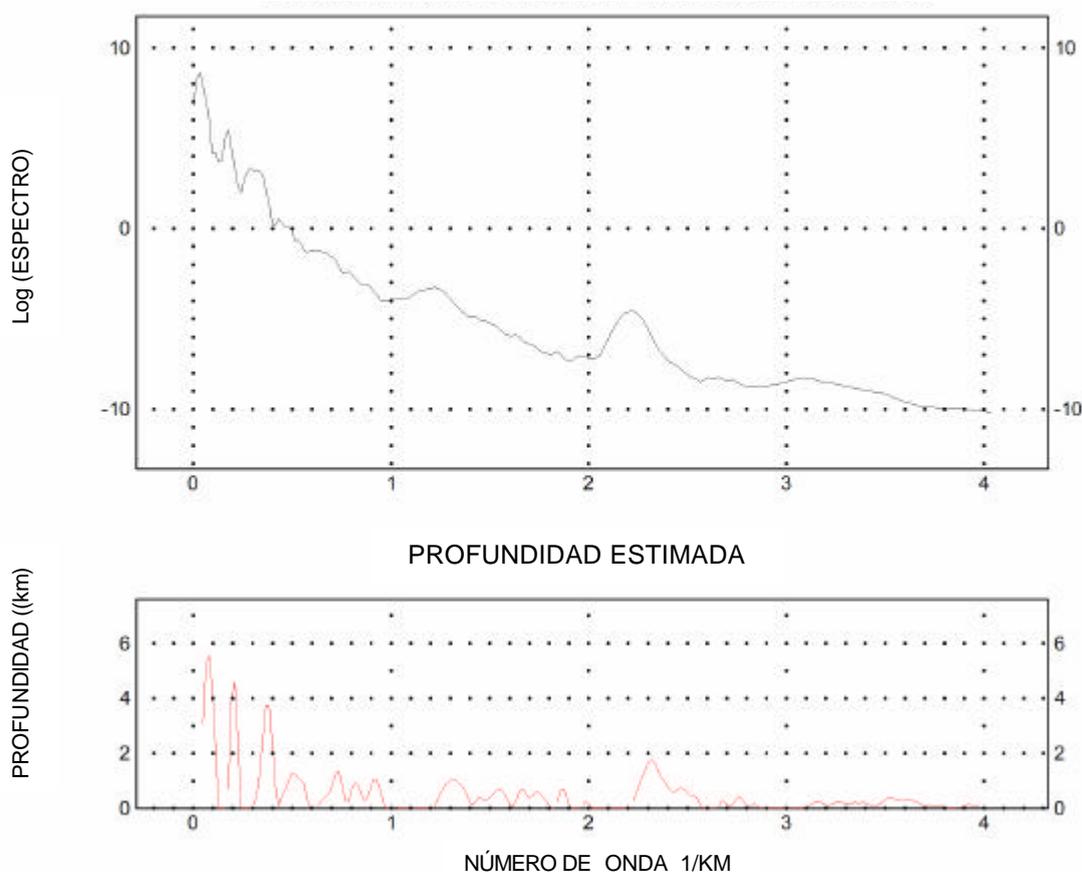


Figura 4.21 Análisis espectral de perfil A-A'

## Análisis Espectral Perfil B-B'

Orientación S-N

B: Long. 62° 15' W, Lat: 7° 30' N

B': Long. 62° 15' W, Lat: 8° 00' N

El análisis numérico del promedio radial del espectro de energía del perfil B-B' (Figura nº 4.22) arrojó los resultados que se incluyen en la Tabla nº 4.7.

Tabla nº 4.7. Profundidades estimadas a partir del análisis espectral del perfil B-B'

ZONA	PROFUNDIDAD (km)	UNIDAD LITOLÓGICA
Profunda	7.01	Imataca o equivalente
Intermedia	1.92	Supamo o equivalente
Superficial	1.03	Carichapo o equivalente

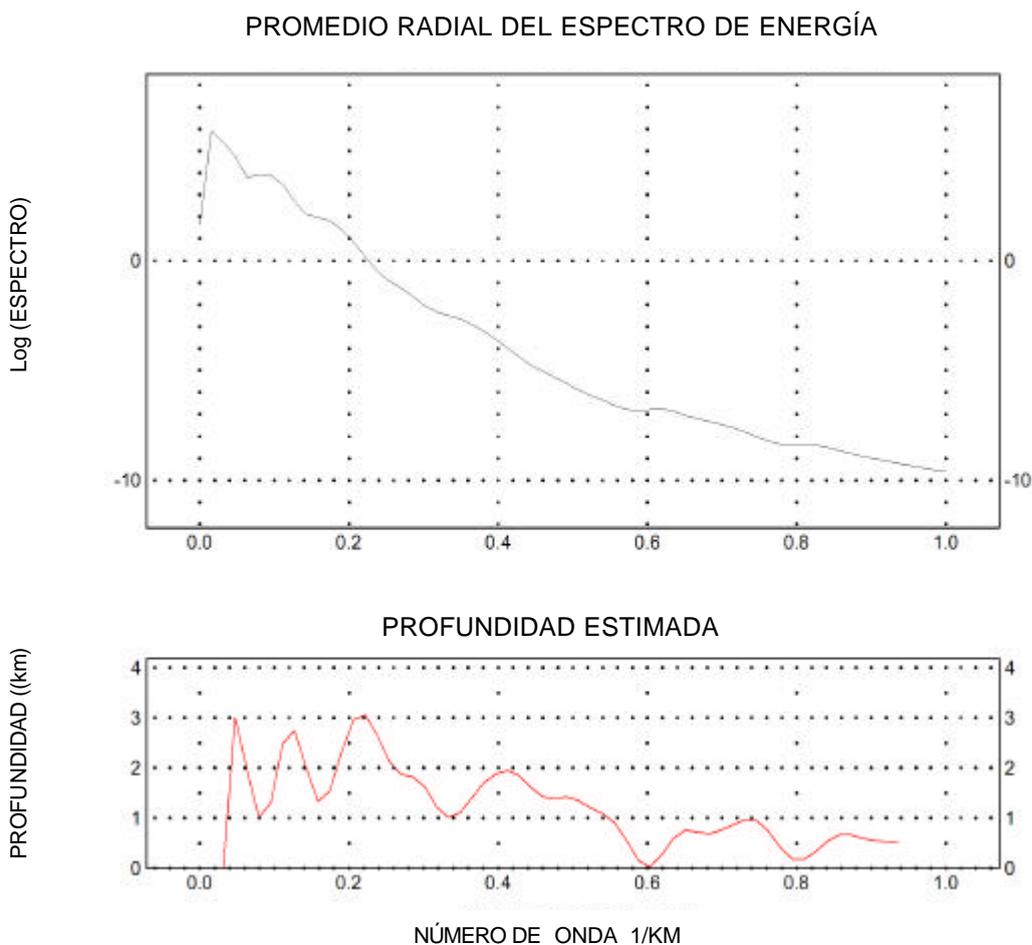


Figura 4.22 Análisis espectral de perfil B-B'

## Análisis Espectral Perfil C-C'

Orientación E-O

C: Long. 62° 00' W, Lat: 7° 33' N

C': Long. 61° 45' W, Lat: 7° 33' N

El estudio cuantitativo del promedio radial del espectro de energía del perfil C-C' (Figura nº 4.23) arrojó los resultados que se incluyen en la Tabla nº 4.8.

Tabla nº 4.8. Profundidades estimadas a partir del análisis espectral del perfil C-C'

ZONA	PROFUNDIDAD (km)	UNIDAD LITOLÓGICA
Profunda	6.5	Imataca o equivalente
Intermedia	1.23	Supamo o equivalente
Superficial	0.7	Carichapo o equivalente

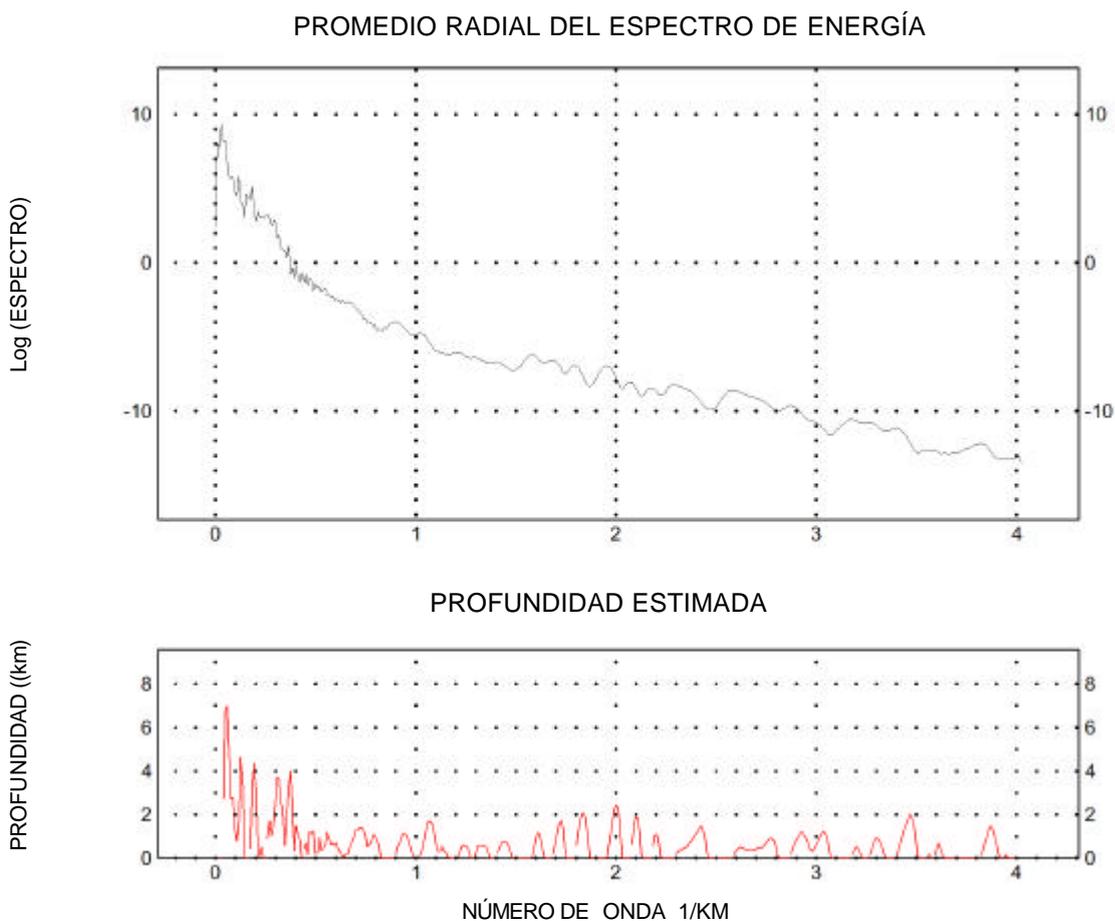


Figura 4.23 Análisis espectral de perfil C-C'

### Elaboración del Mapa IMT

A partir de los 256.856 datos generados se construyó en el Programa Surfer 8<sup>®</sup>, Golden Software Inc. (2002) el Mapa de Posicionamiento que muestra la distribución de líneas digitalizadas de los mapas aeromagnéticos. Al realizar el estudio de dicho mapa de posicionamiento, se pudo determinar un desfase entre líneas del mapa NS-46 con el mapa NS-47, y el mapa NT-47 con el mapa NS-47 (Figura 4.24).

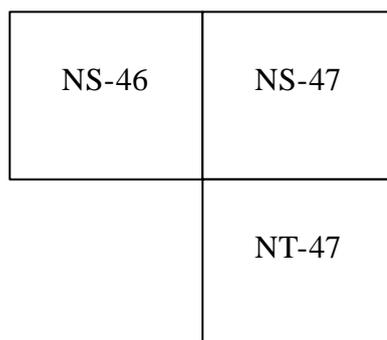


Figura n° 4.24. Esquema del desfase entre mapas NS-46, NS-47, NT 46

Con base en el planteamiento anterior se calculó la magnitud de desplazamiento que permitió observar una continuidad en las líneas de contorno de IMT, para lo cual se desplazó el mapa NS-47 con dirección Norte y se calculó matemáticamente un desfase de 1' 15'' en la escala geográfica indicada en el mapa, es decir todas las coordenadas del mapa NS-47 tienen un desfase de 1' 15'' con respecto al Norte Geográfico (Figura n° 4.25). De esta manera se generó otro mapa de posicionamiento IMT, con inexistencia de datos entre coordenadas 61° 45' - 62° 00' de longitud, 7° 45' 00'' - 7° 46' 15'' de latitud.

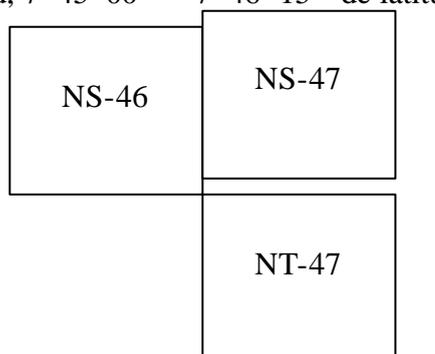


Figura n° 4.25. Esquema de ajuste del desfase entre mapas NS-46, NS-47, NT 46

El mapa de posicionamiento de líneas digitalizadas donde se identifica el desfase se muestra en la Figura n° 4.26, mientras que el mapa corregido por dicho efecto se muestra según la Figura n° 4.27.

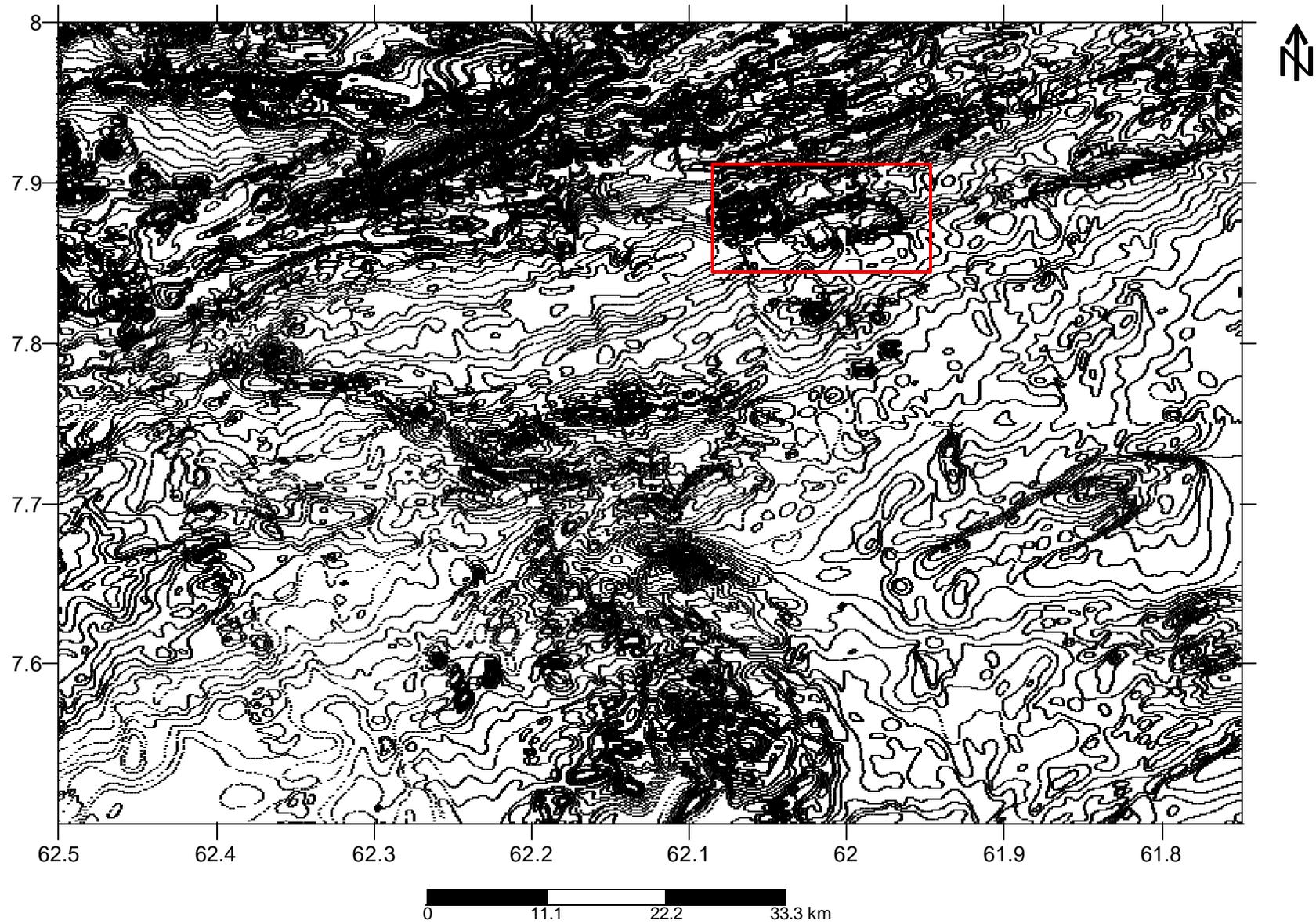


Figura nº 4.26 Mapa de posicionamiento de líneas digitalizadas de la zona de Cupacuy, Edo. Bolívar

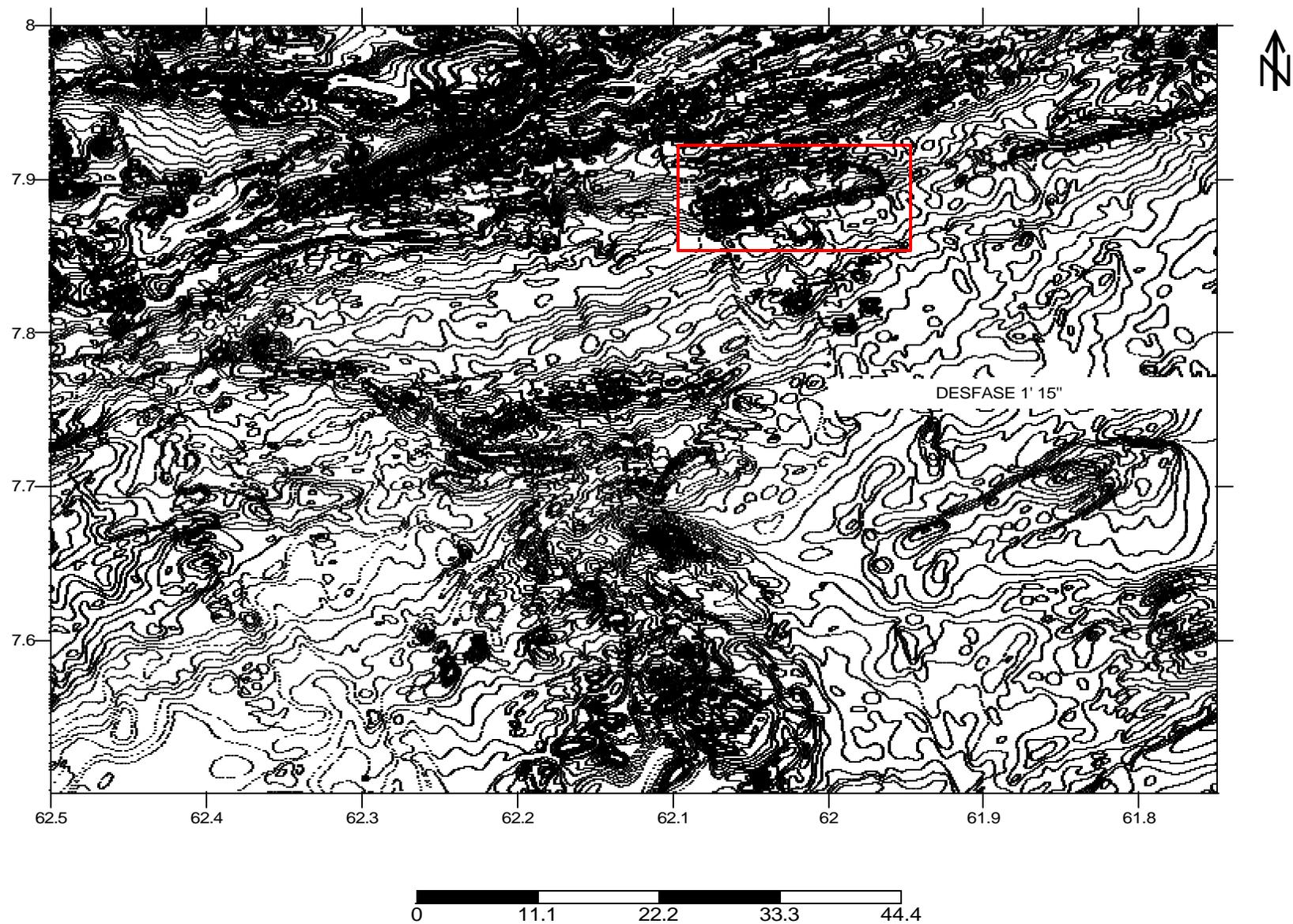


Figura nº 4.27. Mapa corregido de posicionamiento de líneas digitalizadas de la zona de Cupacuy, Edo. Bolívar

## **Análisis de Mapa de IMT**

El mapa de IMT se elaboró aplicando el programa Magmap<sup>TM</sup>® de GEOSOFT (1996), a través del cual se aplicó como técnica de interpolación la mínima curvatura o “krinking” para construir la malla o “grid” que determina la distribución espacial del mapa (Figura 4.28).

En el mapa de IMT se observan que los contornos de IMT tienen una orientación predominante N 74° E; se determinan de igual forma tres sectores característicos que se distribuyen con la dirección mencionada y con extensión proporcional en marco definido por el mapa. Se identifica al NO de la zona de estudio y entre coordenadas 7,75° N - 8,00° N de latitud una sección de valores de IMT que van desde 7220 gammas a 10160 gammas. En esta parte del mapa se localiza una franja con dirección N 74° E que con valores menores de Intensidad Magnética Total se ve inmersa dentro de valores mayores; de acuerdo a la correlación geológica, esta anomalía define un rasgo estructural (Falla de Guri) la cual se identifica con la misma dirección y dentro de las mismas coordenadas antes mencionadas. De igual forma en esta zona se identifican cierres con valores de 6240 gammas a 6800 gammas.

En la parte central del mapa y con orientación N 74° E se identifica una faja de valores intermedios de intensidad magnética del orden de 6900 gammas con distribución uniforme y sin presencia de anomalías significativas.

En la parte Sur del mapa se aprecian los menores valores de IMT en un intervalo de 5400 a 6800 gammas entre coordenadas 61,75° W – 62,50° W de longitud y 7,50° N - 8,00° N de latitud, de igual manera se localizan valores mínimos representado por cierres de 6520 gammas que se concentran en longitudes centrales del mapa y por debajo de 7,60° N de latitud.

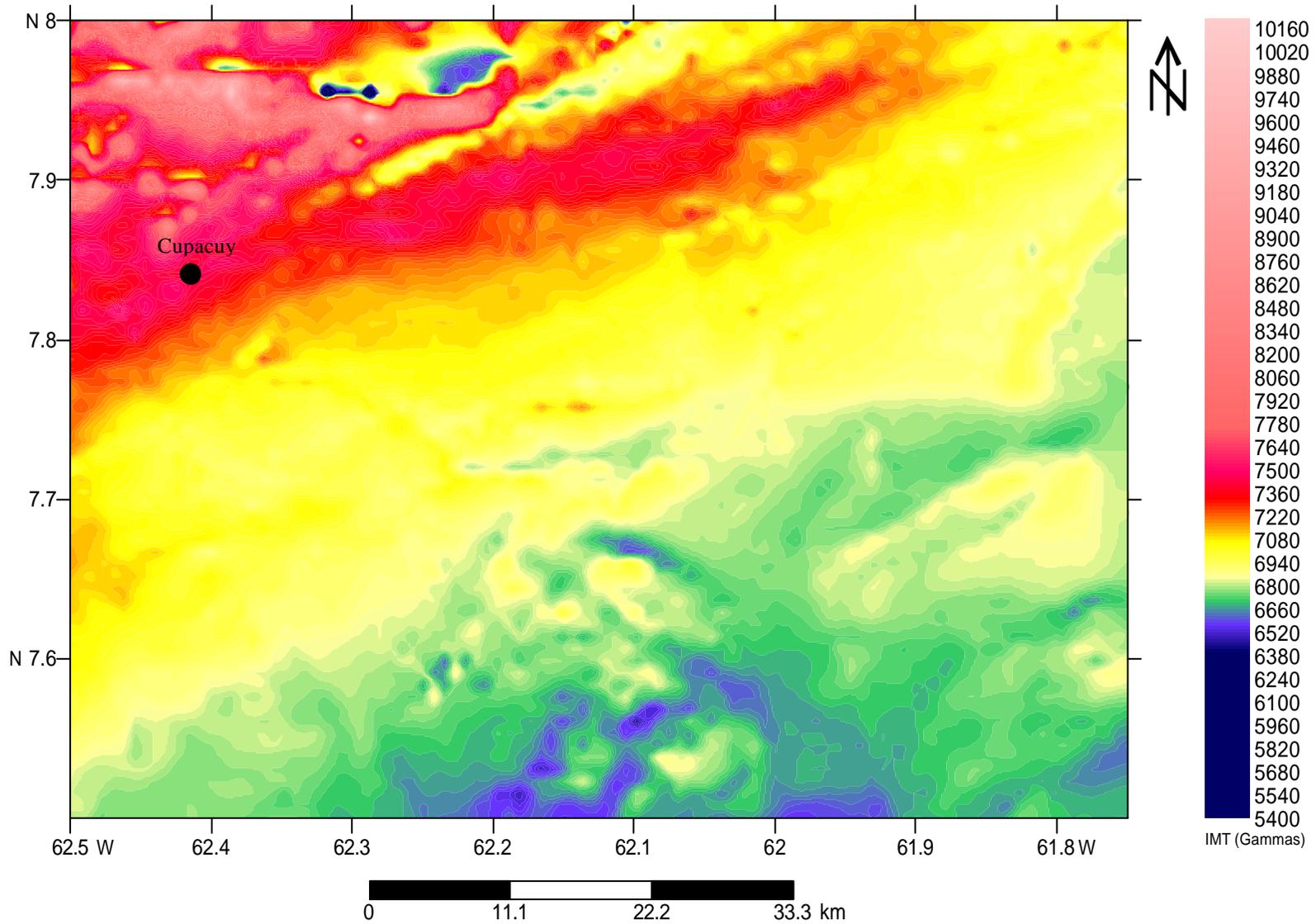


Figura n° 4.28 Mapa de Intensidad Magnética Total de la zona de Cupacuy, Edo Bolívar

## Separación Regional-Residual

La técnica usada para la separación regional-residual fue la de superficies polinómicas. Con aplicación del Programa Surfer 8<sup>®</sup>, Golden Software Inc. (2002) se generaron los mapas de anomalías magnéticas regionales y residuales hasta 5° grado y se determinó por medio de mínimos cuadrados que el polinomio que mejor ajusta con la distribución regional residual de magnetización es el de grado 3.

Tabla n° 4.9 Datos de la Bondad de Ajuste Separación Regional-Residual de IMT

POLINOMIO	R <sup>2</sup>
1	36,00981
2	52,73621
3	52,86021
4	53,55762
5	52,65704

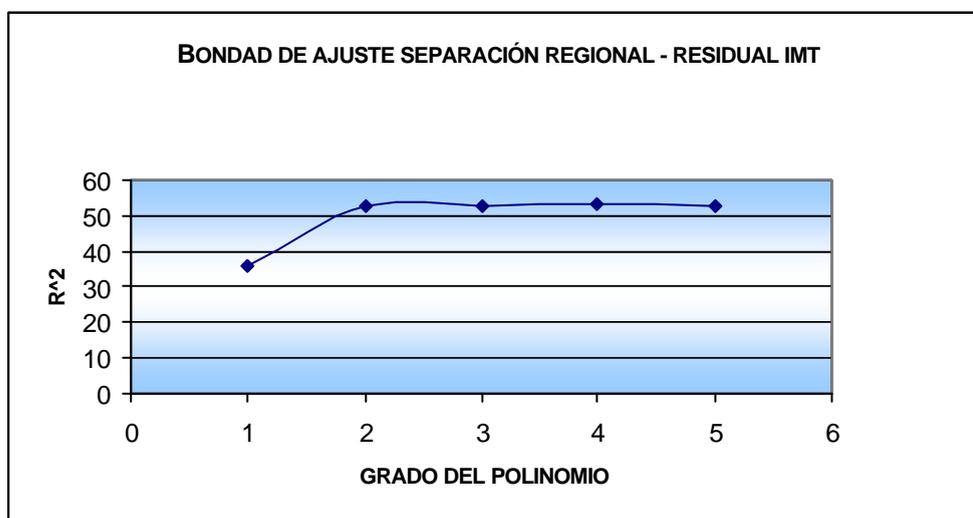


Figura n° 4.29. Bondad de ajuste separación Regional –Residual del mapa de IMT

### **Análisis del mapa regional-residual de IMT de 3° grado**

El mapa regional de 3° grado de IMT (Figura n° 4.30) define 2 tendencias de respuesta magnética asociada a la distribución geológica; se determinan valores máximos de intensidad magnética al NO de la zona de estudio con valores de 7100 a 8000 gammas y curvas de contorno con dirección predominante N 70° E. En la zona intermedia y baja se observa una distribución elipsoidal de curvas entre valores 6700 a 7000 gammas; la diferencia de estas 2 tendencias permite inferir el contraste de 2 unidades geológicas en profundidad con características magnéticas distintas.

Al observar el mapa residual de IMT de 3° grado se establecen valores máximos de anomalías de 0 a 400 gammas entre coordenadas 62,10° W - 62,50° W de longitud y 7,90° N - 8,00° N de latitud que se manifiestan con cierres de contorno distribuidos con alto gradiente. Asimismo es significativo definir la presencia de valores mínimos cercanos a los cierres máximos que en conjunto conforman cuplas magnéticas con polaridad opuesta que se distribuyen entre coordenadas 62,20° W - 62,50° W de longitud y 7,90° N - 8,00° N de latitud y orientación aproximada de sus ejes N 80° E.

Adicionalmente se observa la distribución de curvas y cierres con valores intermedios de -40 a 80 gammas con dirección aproximada N 75° E y gradientes de 90  $\gamma$ /km que se distribuyen en gran extensión sobre la zona demarcada de estudio sin incluir la zona de mayores respuestas ubicadas al NO como se mencionó anteriormente.

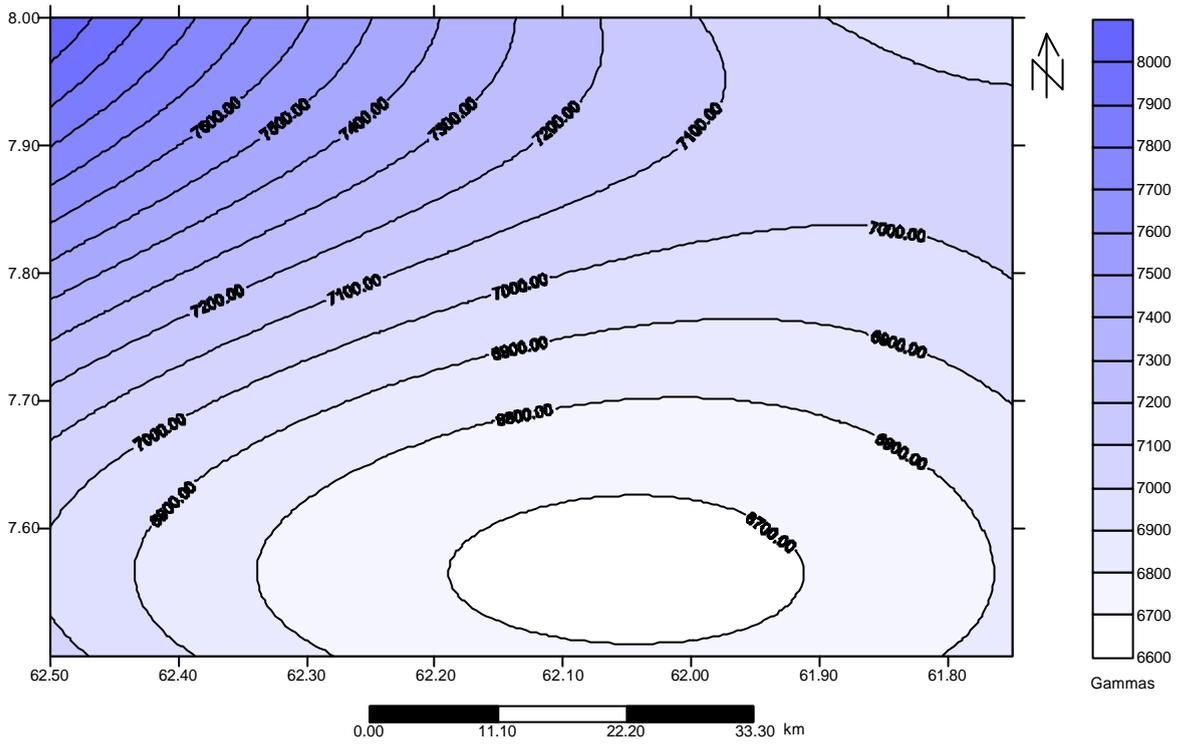


Figura n° 4.30. Mapa de Anomalia Regional de IMT de 3° Grado de la zona de Cupacuy.

Norte del Edo. Bolívar

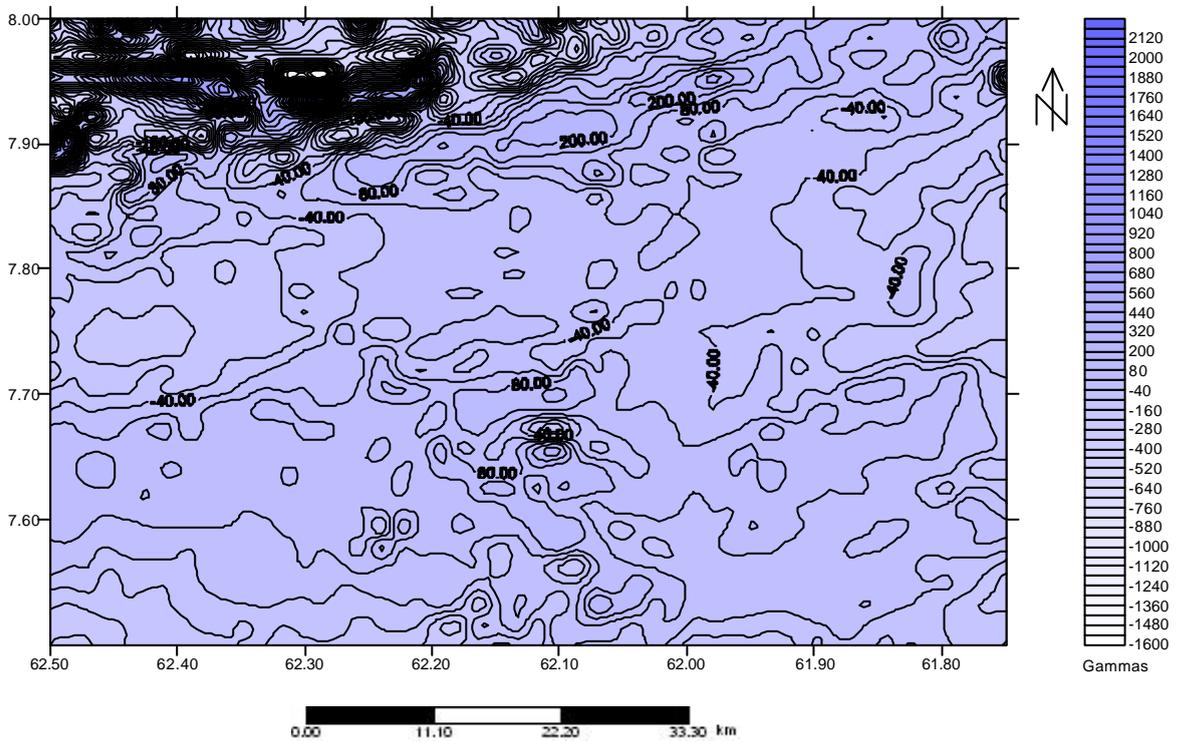


Figura n° 4.31. Mapa de Anomalia Residual de IMT de 3° Grado de la zona de Cupacuy.

Norte del Edo. Bolívar

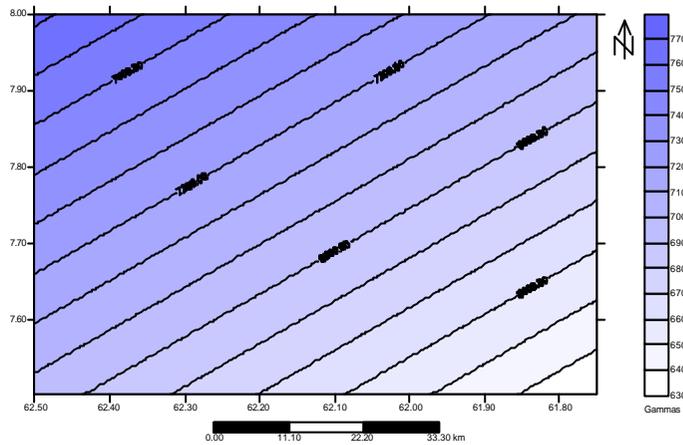


Figura n° 4.32 Mapa de Anomalía Regional de IMT de 1° Grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

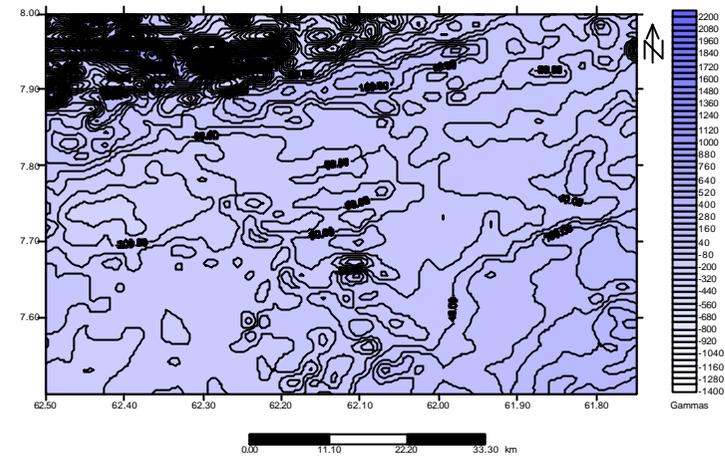


Figura n° 4.33 Mapa de Anomalía Residual de IMT de 1° grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

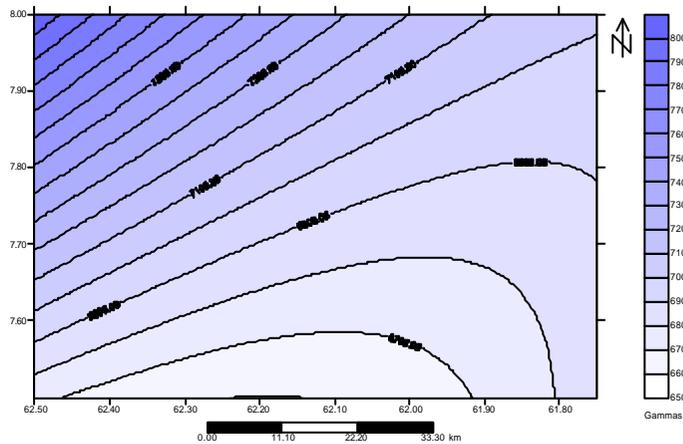


Figura n° 4.34 Mapa de Anomalía Regional de IMT de 1° Grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

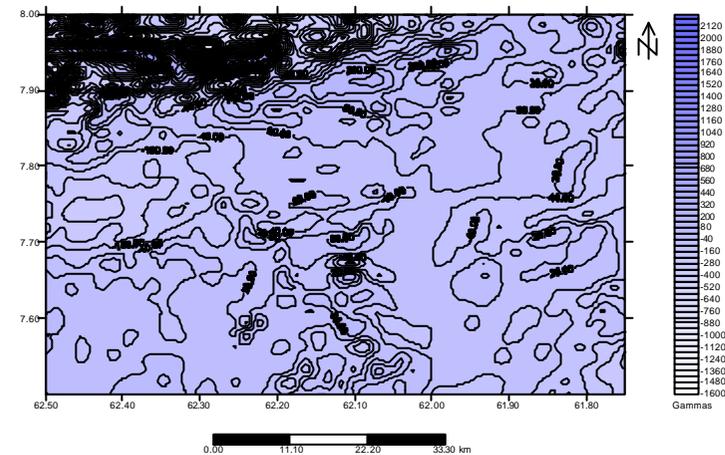


Figura n° 4.35 Mapa de Anomalía Residual de IMT de 1° grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

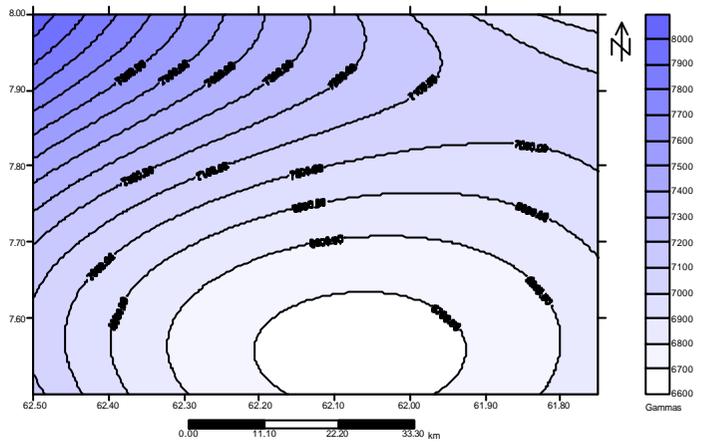


Figura n° 4.36 Mapa de Anomalía Regional de IMT de 4° Grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

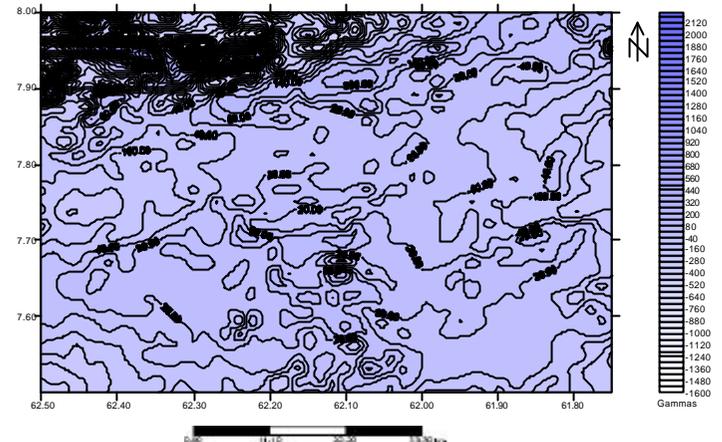


Figura n° 4.37 Mapa de Anomalía Residual de IMT de 4° grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

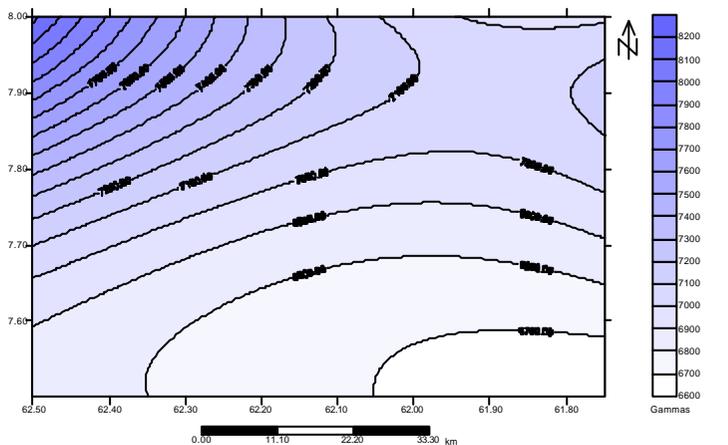


Figura n° 4.38 Mapa de Anomalía Regional de IMT de 5° Grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar.

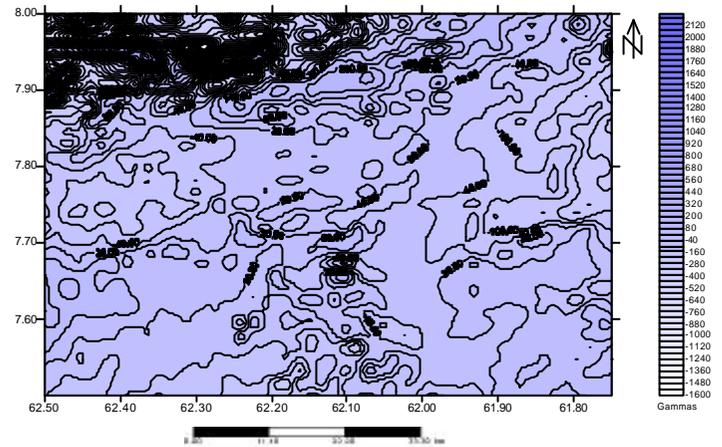
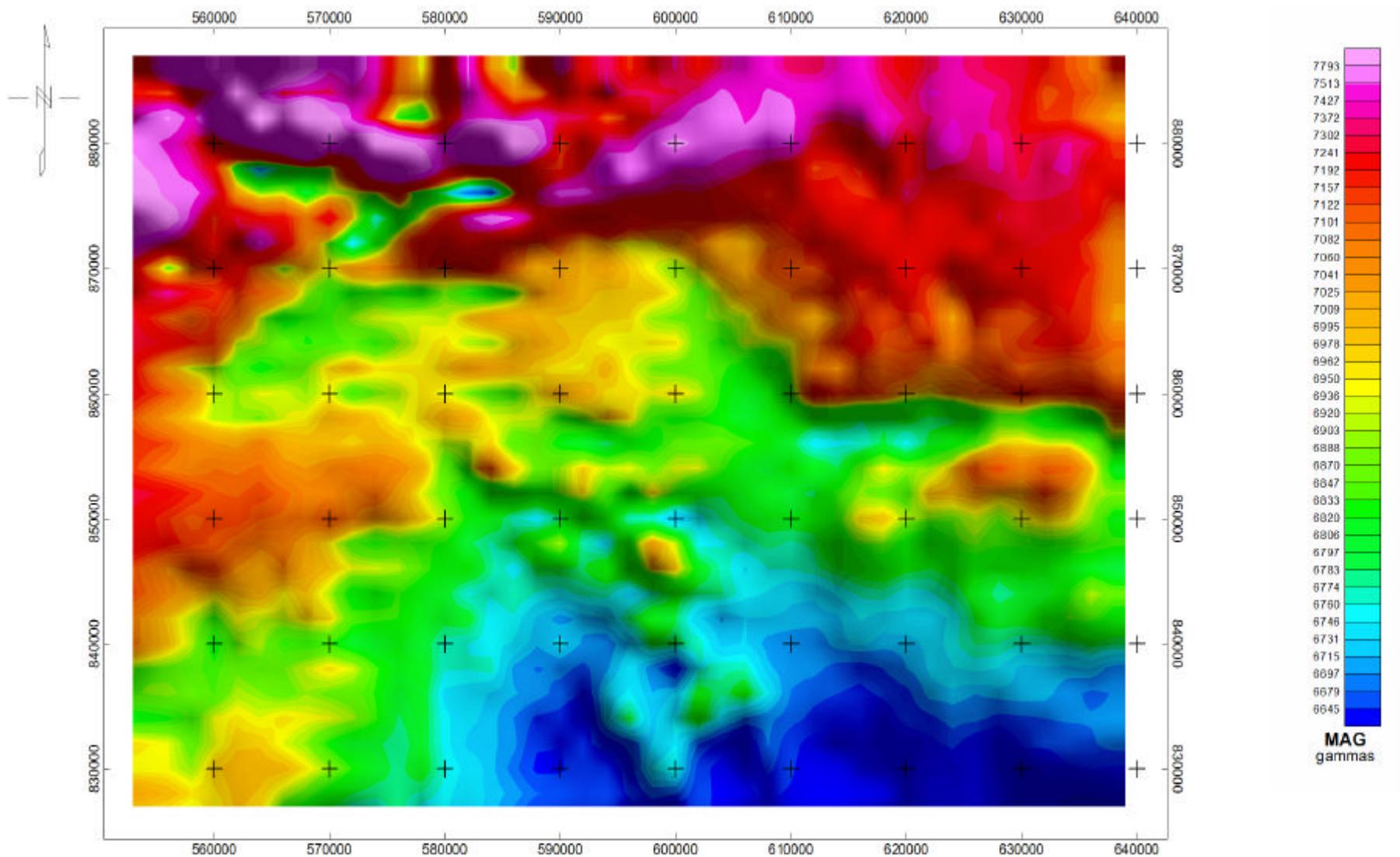


Figura n° 4.39 Mapa de Anomalía Residual de IMT de 5° grado de la zona de Cupacuy, Norte del Edo. Bolívar

### **Análisis del mapa de Reducción al polo**

El mapa de Reducción al Polo (Figura 4.40), permite diferenciar las heterogeneidades de las estructuras en subsuelo; al NO del mapa se identifican los valores mayores de RTP de IMT entre coordenadas UTM 870000 y 885000 de latitud y 555000 – 615000 de longitud con dirección de contornos N 70° E y valores del orden de 7800 gammas.

En la parte SE de la zona de estudio se identifican valores mínimos de RTP, lo cual evidencia la tendencia NW-SE del Complejo de Supamo. En la zona de estudio se diferencia una marcada tendencia a presentar los mayores valores de respuesta magnética al norte, y la menores hacia el sur, lo cual representa el cambio de respuesta magnética que genera la NO la Provincia de Imataca y al Centro-Sur las rocas del Complejo de Supamo.



Reduccion al Polo IMT  
CUPACUY

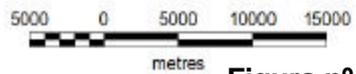


Figura nº 4.40 Mapa de Reducción al Polo de la Zona de Cupacuy, Edo. Bolívar

### **4.1.3 RESULTADOS DEL RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO**

El reconocimiento geológico en el Estado Bolívar comprende una fase en el proceso de desarrollo del presente estudio que permitió determinar en forma directa los parámetros litológicos y geométricos que caracterizan dicha región. Se observó la distribución litológica general que describen las provincias petrotectónicas presentes en el Estado Bolívar con el fin de establecer los elementos de correlación con las respuestas de los métodos indirectos de prospección. Aunado a ello se recolectaron muestras de rocas características de los afloramientos observados con el fin de realizar análisis de laboratorio para definir las características físicas intrínsecas al tipo de roca.

Los análisis realizados en los Laboratorios de Facultad de Ingeniería y en la Facultad de Ciencias de la U.C.V. se describen a continuación:

#### **Cálculo de densidad**

Equipos de Laboratorio de Química. Escuela de Química. Facultad de Ingeniería:

- Horno de Secado
- Balanza semi-analítica OHAUS. Modelo S200. Cap. Máx. 202x0.01 g.
- Cilindro graduado 250 ml.
- Bureta 50 ml.
- Papel Filtro
- Vidrios de reloj

La determinación de la densidad se inició con la preparación de 13 muestras de roca que se cortaron en forma cúbica con un lado aproximado de 2 cm. Se colocó cada una de ellas en un vidrio de reloj y posteriormente se llevaron a una estufa durante 10 horas a 100° C con la finalidad de eliminar el agua que pudiera presentar el interior de la muestra.

Transcurrido el tiempo de secado las muestras se pesaron en la balanza digital, con el fin de determinar la masa y diferenciar la contribución tanto del vidrio de reloj como de la muestra.

Se realizó la calibración del cilindro con el uso de la bureta, a fin de obtener la curva de calibración y determinar el factor de corrección asociado al uso de los instrumentos y a la apreciación del investigador.

El fluido usado para la estimación de la masa fue agua destilada, la cual se agregó en el cilindro hasta una medida de volumen inicial. Seguidamente se introdujo la muestra de roca al cilindro, generando un desplazamiento del volumen de agua destilada. La magnitud de fluido desplazado se considera como el volumen de la muestra que se está midiendo.

Es importante destacar que cada una de las muestras tiene propiedades intrínsecas y que el fluido usado en la medición es absorbido de acuerdo a la porosidad y permeabilidad de la muestra de roca. De acuerdo a esta condición a cada una de las muestras se les permitió saturarse en fluido, y una vez extraídas del cilindro, el cambio del volumen inicial del agua representa la cantidad absorbida, como el agua es el fluido de densidad unitaria, es posible conocer la masa de fluido contenida en la muestra y así se determina la masa y volumen de cada muestra.

### **Cálculo de Susceptibilidad Magnética**

Equipos de Laboratorio de Magnetismo. Escuela de Física. Facultad de Ciencias:

- Susceptómetro diseñado y construido en el laboratorio por Msc. José Jorge de la Universidad Central de Venezuela.
- 13 viales cilíndricos de vidrio modelo dram

Para medir la susceptibilidad magnética de las muestras de roca se procedió a determinar la masa e identificar 13 viales de vidrio modelo dram donde

se agregaría el contenido de las muestras. Posteriormente se seleccionaron 13 muestras de rocas, las cuales se pulverizaron y se agregaron a los recipientes.

Seguidamente se realizó el ajuste inicial de susceptómetro: se ajustó la sensibilidad en 10 mV, la constante de tiempo en 1 s, la señal de entrada en modo A-B, el canal uno en X, el canal 2 en Y y la fase en cero grados.

La fuente de corriente alterna Oxford se colocó en modo de encendido y se ajustó en 4-4.4 mA, la frecuencia se ajustó 1 KHz, y se procedió a balancear el puente para llevar la componente real e imaginaria a valor cero. Luego se balanceó el puente con cada canal del offset del look-in y se seleccionó el modo Automático.

La muestra se introdujo en la bobina de la parte derecha del susceptómetro y se midió la señal del canal uno o X. Posteriormente se retira la muestra y se calibró el nuevamente el puente a cero, la muestra se vuelve a introducir y se repite el procedimiento 5 veces. Para estimar la susceptibilidad se promedió las medidas obtenidas y se aplica la ecuación:

$$X = K \frac{? E}{VE_0} \quad (\text{Ecuación n}^\circ 4.1)$$

Donde:

X: Susceptibilidad magnética por unidad de volumen en unidades del sistema cgs.

K:  $3.5 \times 10^2 \text{ cm}^3$ .

? E: Parte real voltaje (eje X).

V: Volumen muestra en  $\text{cm}^3$ .

$E_0$  : Voltaje de alimentación.

## **Descripción Petrográfica**

Para analizar las muestras petrográficamente, se realizaron 13 secciones finas en el Laboratorio de Geología de la Escuela de Geología Minas y Geofísica de la U.C.V. Las secciones fueron posteriormente analizadas por los Ingenieros Geólogos Sebastián Grande y Ricardo Alezones, quienes por medio del microscopio describieron el contenido mineral de las secciones finas suministradas. Del mismo modo aportaron información general descriptiva de las muestras, con el fin de identificar el tipo de roca y asociar sus características con la litología de la zona de estudio y las respuestas físicas obtenidas.

Con los datos recolectados de los estudios de laboratorio se elaboró una tabla descriptiva de las muestras analizadas (Tabla n° 4.10), en la que se resume la información referente al tipo de roca, la descripción petrográfica, la unidad litológica a la cual pertenece y los valores de densidad y susceptibilidad magnética calculados.

Tabla 4.10. Resultados de los análisis de laboratorio de las muestras de roca.

Fotografía de la Muestra	Identificación de la muestra	Provincia	Unidad	Metamorfismo	Descripción petrográfica	Susceptibilidad Magnética Calculada	Densidad calculada
	Cuarcita Magnetítica	Imataca	Complejo de Imataca	Alto grado	Anfiboles, piroxenos, abundante cuarzo, magnetita	0.002505625	3.43 g/cm <sup>3</sup>
	Anfibolita	Imataca	Complejo de Imataca	Facies Anfibolita	Feldespato, cuarzo, escaso epidoto, óxido de hierro y minerales opacos	5.69068E-05	3.03 g/cm <sup>3</sup>
	Roca Granítica Charnockita Félsica	Imataca	Complejo de Imataca	Alto grado	Feldespato, biotita, plagioclasa, microclino, cuarzo. Contiene hipersteno	0.000408695	2.74 g/cm <sup>3</sup>
	Gneis Plagiclástico	Pastora	Complejo Supamo	Grado medio	Plagiclasa, presencia de anfíbol (horblenda), epidoto y esfenas	3.4489E-05	2.75 g/cm <sup>3</sup>

Tabla 4.10. Resultados de los análisis de laboratorio de las muestras de roca.

Fotografía de la Muestra	Identificación de la muestra	Provincia	Unidad	Metamorfismo	Descripción petrográfica	Susceptibilidad Magnética Calculada	Densidad calculada
	Anfibolita epidótica	Pastora	Grupo Carichapo	Facies epidótica bajo-medio grado	Anfibol verde-azul, plagioclasa, epidoto, escaso cuarzo.	3.10401E-05	2.90 g/cm <sup>3</sup>
	Meta Trondjhemita	Pastora	Complejo de Supamo	Bajo Grado	Cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita y apatito.	0.001032945	2.65 g/cm <sup>3</sup>
	Granodiorita	Pastora	Complejo de Supamo	Bajo Grado	Feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa, biotita, clorita, presencia de esfena	0.000112089	2.80 g/cm <sup>3</sup>
	Anfibolita	Pastora	Fm. Caballape	Grado medio	Cuarzo, Plagioclasa, hornblenda, apatito, epidoto.	0.000231076	2.90 g/cm <sup>3</sup>

Tabla 4.10. Resultados de los análisis de laboratorio de las muestras de roca

Fotografía de la Muestra	Identificación de la muestra	Provincia	Unidad	Metamorfismo	Descripción petrográfica	Susceptibilidad Magnética Calculada	Densidad calculada
	Anfibolita	Pastora	Grupo Carichapo	Facies de esquistos verdes Bajo grado	Actinolita, epidoto, presencia de minerales opacos	6.38046E-05	2.90 g/cm <sup>3</sup>
	Anfibolita	Pastora	Grupo Carichapo	Facies de los esquistos verdes Bajo grado	Actinolita, cuarzo, plagioclasa y epidoto.	3.62134E-05	3.01 g/cm <sup>3</sup>
	Meta trondjemita	Pastora	Complejo de Supamo	Facies de los esquistos verdes a la anfibolita Grado medio	Cuarzo, microclino, plagioclasa, biotita y escasa hornblenda	0.000106916	2.65 g/cm <sup>3</sup>
	Metalava Andesítica	Pastora	Fm. El Callao	Facies de los esquistos verdes Bajo grado	Actinolita, plagioclasa y esqueletos de piroxeno alterado a esfena	4.48357E-05	3.09 g/cm <sup>3</sup>
	Metatoba	Pastora	Fm. El Callao	Bajo Grado	Cuarzo, feldespato, biotita (un poco alterada) y epidoto en poca cantidad.	2.41423E-05	2.70 g/cm <sup>3</sup>

#### **4.1.4 RESULTADOS DEL MODELAJE GRAVIMÉTRICO Y MAGNÉTICO**

El modelaje gravimétrico- magnético se realizó a través de la aplicación del programa GM-SYS® versión 3.70.09g (1994), el cual considera parámetros geológicos, gravimétricos y magnéticos como información base para elaborar modelos que describan la forma, profundidad, magnetización y densidad de las rocas presentes en el subsuelo a partir de un modelo matemático.

Para realizar los modelos magnéticos se calcularon los valores del Campo Magnético Total, declinación e inclinación magnética a partir de IGRF para la fecha de la adquisición, la cual se realizó de enero a abril de 1959. El valor de Campo Magnético Total se calculó en 36.436 gammas, la Inclinación Magnética en 37,007 gammas y la declinación se determinó en -7,92 gammas.

Con base en los mapas geológicos, gravimétricos y de intensidad magnética total se construyeron 3 perfiles (Figura n° 4.41) que se describen a continuación:

##### **Perfil A-A'**

La orientación del perfil A-A' es S-N y comprende una sección lineal ubicada en la longitud 62° 21' W, y entre latitudes 7° 30' N y 8°00' N.

El modelo (Figura n° 4.42) correspondiente al perfil A-A' permite proponer que la profundidad de la discontinuidad de Mohorovic se ubica a 37 km aproximadamente. Se plantea que el contacto superior de la discontinuidad es la Provincia de Imataca o rocas ígneas equivalentes en términos de densidad y susceptibilidad magnética, las cuales profundizan hacia el sur del área de estudio; esta característica geométrica define la disminución del espesor de la unidad de 37 km a 5 km hacia el sur.

En superficie se distingue la falla de Guri como la estructura que delimita la Provincia de Imataca de la Provincia de Pastora, aunado a ello la respuesta magnética expresada en el mapa de IMT determina que la Provincia de Imataca

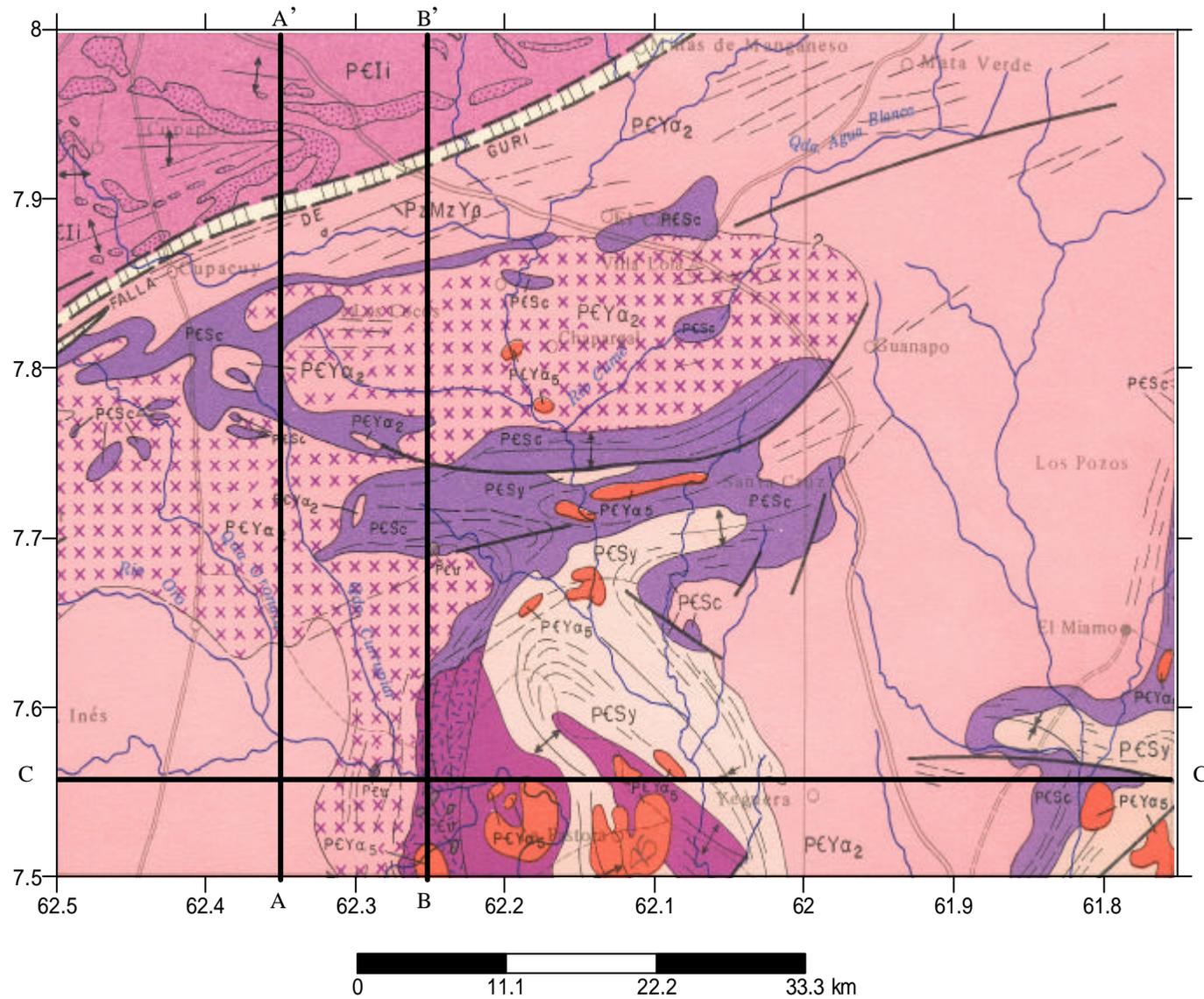


Figura n° 4.41. Marco geológico con perfiles de la zona de estudio

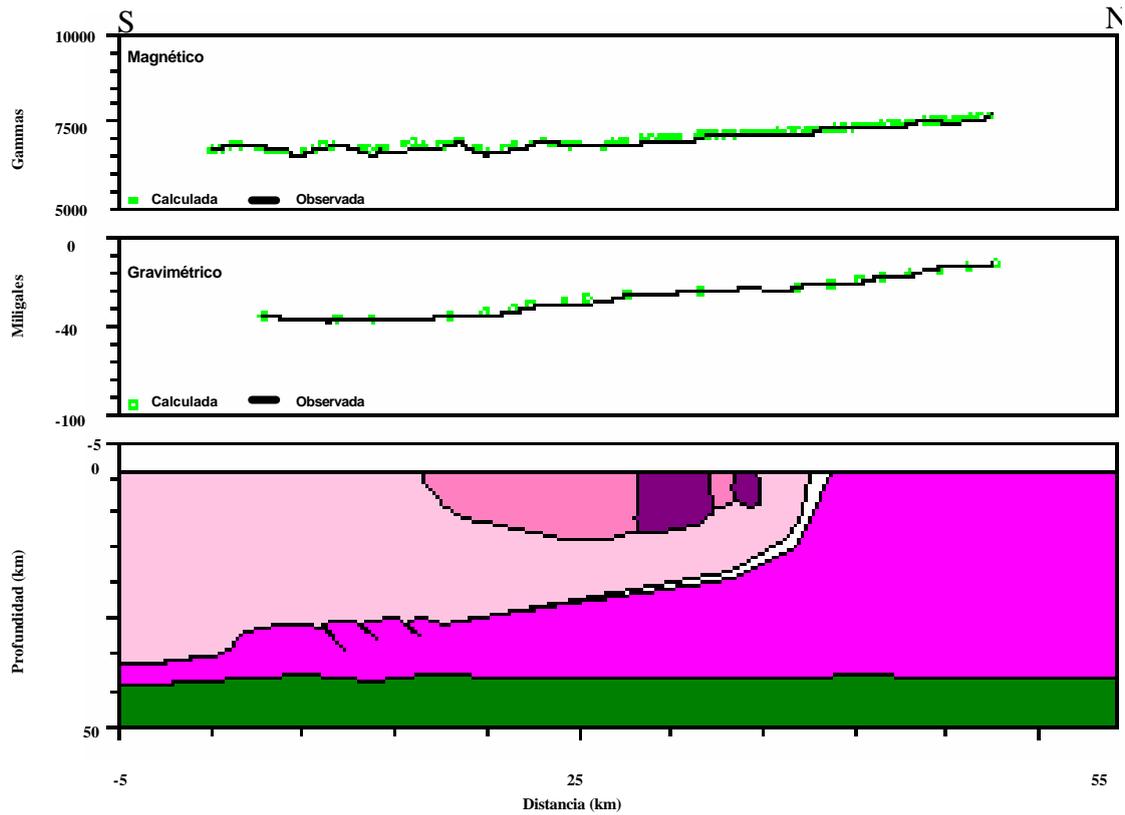


aflora al norte y luego profundiza hacia el sur donde se interpreta o modela como un complejo de rocas ígneas de densidad y susceptibilidad magnética equivalente que se extiende infrayacente a la Provincia de Pastora disminuyendo su respuesta magnética con la profundidad.

La falla de Gurí se propone como una falla lístrica que separa Imataca del Complejo de Supamo removilizado, el cual se extiende hacia el sur con incremento de su espesor. En este Complejo se distingue un área trondjemítica que se localiza desde superficie hasta profundidades de 10 km. El Grupo Carichapo se ubica suprayacente al Complejo de Supamo removilizado y tiene contacto lateral con áreas trondjemíticas del Complejo de Supamo.

La respuesta magnética y gravimétrica del modelo muestra un incremento hacia la parte norte de la zona de estudio, los valores de IMT y de Anomalía de Bouguer refleja el efecto de la Provincia de Imataca, la cual posee rocas con asociaciones minerales de hierro de mayor densidad.

El modelo planteado en el modelo A-A' apoya el planteamiento realizado por Dickinson (1971) el cual propone que la asociación petrotectónica de la Provincia de Imataca se puede explicar por el proceso de subcorrimento y formación de montañas en la zona de fosa, en la cual dos placas en la zona de geosutura (falla de Guri) colisionaron y se produjo la incorporación de rocas plásticas y móviles de Pastora sobre las rocas de Imataca. El subcorrimento fue muy lento y permitió el desarrollo de rocas metamórficas de gradientes intermedios.



- GRUPO CARICHAPO (2,66 gr/cm<sup>3</sup>)
- COMPLEJO DE SUPAMO (ÁREA TRONDJHEMITICA) O EQUIVALENTE (2,72 gr/cm<sup>3</sup>)
- COMPLEJO DE SUPAMO REMOVILIZADO O EQUIVALENTE (2,70 gr/cm<sup>3</sup>)
- COMPLEJO DE IMATACA O EQUIVALENTE (2,74 gr/cm<sup>3</sup>)
- MANTO SUPERIOR (3,3 gr/cm<sup>3</sup>)

Figura 4.42. Modelo Gravimétrico-Magnético del Perfil A-A'

## **Perfil B-B'**

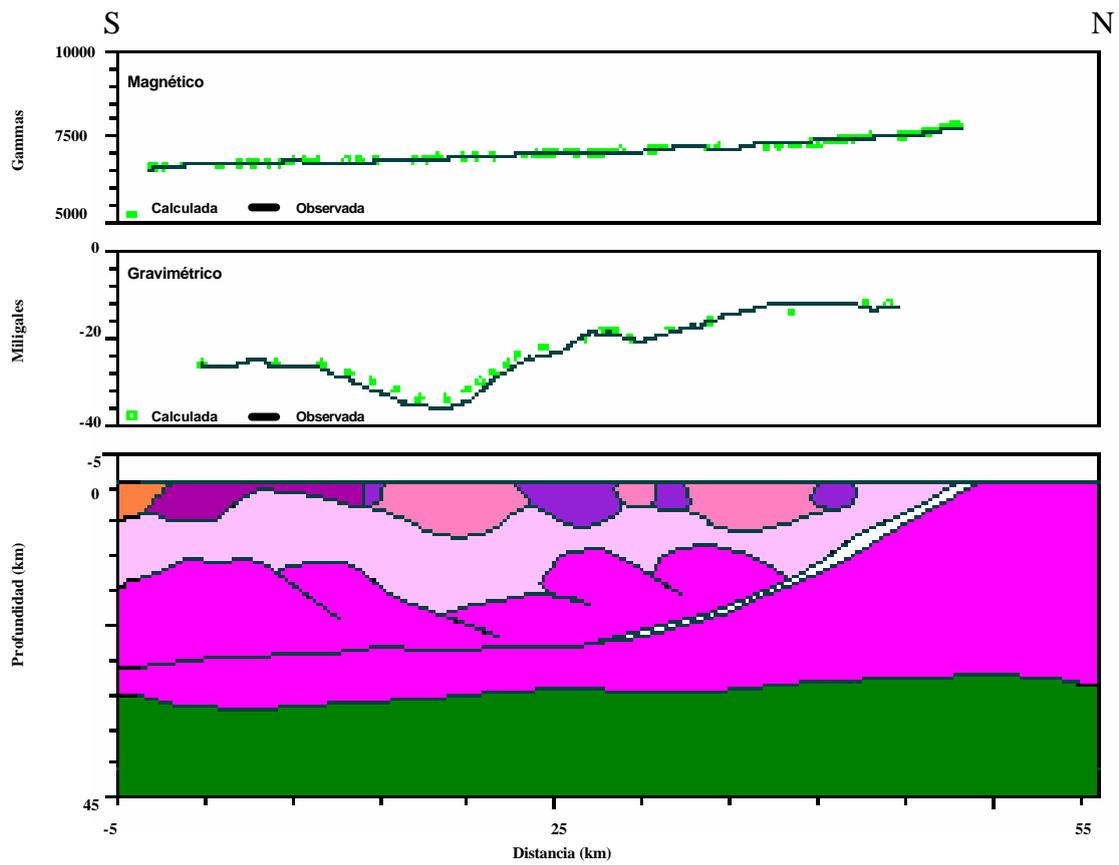
La orientación del perfil B-B' es también S-N y linealmente se extiende en la coordenada de longitud  $62^{\circ} 15' W$ , y latitudes entre  $7^{\circ} 30' N$  y  $8^{\circ} 00' N$ .

El modelo del perfil B-B' (Figura n° 4.43) propone el efecto de corrimiento de la Provincia de Imataca provocado por la falla de Gurí, la cual en superficie separa las Provincias de Imataca y de Pastora, en profundidad tiende a ser horizontal (falla lítrica) y conforma la superficie sobre la cual se desplaza el material de Imataca.

El Complejo de Supamo removilizado se distribuye hacia el sur sobre la Provincia de Imataca o rocas ígneas equivalentes en términos de densidad y susceptibilidad magnética, mientras que al norte se extiende con mayor ángulo hasta superficie. Se distingue el área trondjhemítica de Supamo con contacto lateral del Grupo Carichapo, Formación El Callao y los Granitos Parguazences.

La respuesta magnética asciende gradualmente de sur a norte con valores comprendidos entre 6500 a 8000 gammas; las mayores respuestas se localizan donde la Provincia de Imataca está en superficie y los menores se localizan hacia el sur donde la unidad aumenta su profundidad.

La respuesta gravimétrica muestra que los valores mayores de anomalía se localizan hacia el norte y que estructuralmente hay contrastes significativos de densidad entre 10 y 30 km de extensión lineal en dirección norte.



- FORMACIÓN EL CALLAO (2,80 gr/cm<sup>3</sup>)**
- GRANITO PARGUAZENCE (2,81 gr/cm<sup>3</sup>)**
- GRUPO CARICHAPO (2,66 gr/cm<sup>3</sup>)**
- COMPLEJO DE SUPAMO (ÁREA TRONDJHEMÍTICA) O EQUIVALENTE (2,72 gr/cm<sup>3</sup>)**
- COMPLEJO DE SUPAMO REMOVILIZADO O EQUIVALENTE (2,70 gr/cm<sup>3</sup>)**
- COMPLEJO DE IMATACA O EQUIVALENTE (2,74 gr/cm<sup>3</sup>)**
- MANTO SUPERIOR (3,3 gr/cm<sup>3</sup>)**

Figura 4.43. Modelo Gravimétrico-Magnético del Perfil B-B'

## **Perfil C-C'**

El perfil C-C' tiene una orientación este-oeste, una extensión aproximada de 83,25 km, y una ubicación geográfica definida entre coordenadas de longitud 62° 00' W – 61° 45' W y 7° 33' N de latitud (Figura 4.44).

La observación del perfil permite establecer la ubicación de la discontinuidad de Mohorovic a 37 km de profundidad; sobre Moho y en orden ascendente se localiza la Provincia de Imataca o rocas ígneas equivalentes en términos de densidad y susceptibilidad magnética, el Complejo de Supamo removilizado, el Grupo Carichapo y la Formación Yuruari.

A partir de la información magnética y gravimétrica se propone que la Provincia de Imataca buza con ángulo bajo (11° aproximadamente) en dirección sur, también se determinó que la falla de Guri divide en superficie a las Provincias de Pastora e Imataca, pero a una profundidad de 10 km aproximadamente se identifica material de la Provincia de Imataca que descendió sobre el plano de falla y que se ha apilado creando estructuras de corrimiento. Con base en lo anterior en el perfil C-C' se determina una componente de buzamiento de la Provincia de Imataca hacia el oeste con profundidades que en esta zona de estudio no fluctúa significativamente.

Los valores de Intensidad Magnética Total se muestran continuos con una tendencia al descenso entre un intervalo de 7500 a 8500 gammas, mientras que los valores gravimétricos fluctúan entre valores de -42 a -30 miligales.

El material supracortical representado por las unidades del Grupo Carichapo sin diferenciar y el Complejo de Supamo diferenciado permiten estimar profundidades del área trondjhemítica de Supamo hasta de 15 km en la zona de estudio, con material metamórfico de bajo grado que contiene una secuencia ultramáfica basal, una secuencia intermedia félsica y finalmente una secuencia sedimentaria.

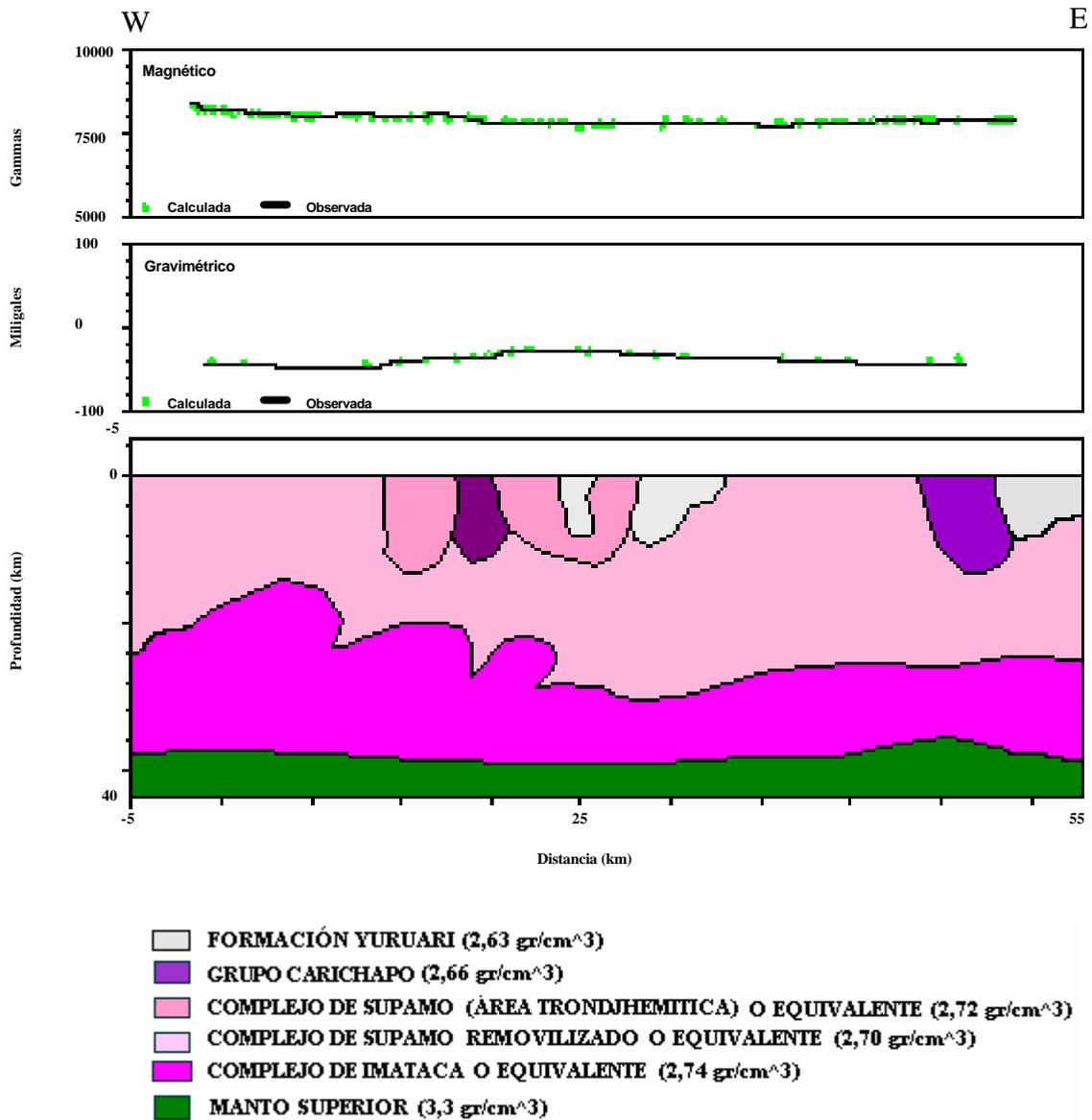


Figura 4.44. Modelo Gravimétrico-Magnético del Perfil C-C'

## CONCLUSIONES

- Se determina que el mapa de anomalía de Bouguer describe una distribución de curvas de contorno con dirección predominante N 80° E que definen los cambios litológicos en la zona de estudio. Los valores máximos de anomalía de Bouguer se localizan al NO en latitudes mayores a 7,85° N donde se identifica la Provincia de Imataca, la cual se caracteriza según la geología descrita por valores de densidad de roca de 2.74g/cm<sup>3</sup>; de igual forma las líneas de contorno delimitan con su trazo las diferentes unidades de la Provincia de Pastora. Se define un conjunto de cierres de Anomalía de Bouguer con valores intermedios de -30 a -18 mgal que describen las unidades supracorticales del Complejo de Supamo.
- La validación estadística de los datos de Intensidad Magnética Total de la zona de Cupacuy permite establecer que la distribución de frecuencia de los datos muestra una curva normal, varianza baja y curtosis positiva; parámetros que conducen a definir que la mayoría de los valores agrupados de IMT están por debajo de la media aritmética. Geoestadísticamente se determinó que en cuanto a la distribución espacial de los datos, el volumen mayor se localiza al NO de la zona de estudio, motivado a que hay mayores gradientes y mayor frecuencia de curvas en dicha sección. Igualmente se determinó que el eje mayor de la elipse de anisotropía muestra un azimut de N 79° E que muestra la dirección de mayor continuidad de propiedades magnéticas.
- El mapa de Intensidad Magnética total muestra una tendencia aproximada de N 80° E, con una distribución de contornos que evidencia el contraste de magnetización entre las Provincias de Pastora e Imataca. Los mayores valores de anomalías magnéticas están en el intervalo 7220 gammas a 10160 gammas y se localizan dentro de coordenadas 7,75° N - 8,00° N de latitud y sobre 61,95° W de longitud. Se propone con base en lo anterior que las máximas respuestas corresponden a la Provincia de Imataca la cual contiene rocas con asociación de minerales de hierro que generan valores de IMT mayor.

- El mapa residual de 3° grado de IMT permite establecer valores máximos de anomalías de 0 a 400 gammas entre coordenadas 62,50° W – 62,10° W de longitud y 7,90° N - 8,00° N de latitud; aunado a ello se determinan en esta sección geográfica cierres mínimos que en conjunto con los máximos conforman cuplas magnéticas con dirección N 80° E, lo cual representa la orientación de mayor continuidad de propiedades magnéticas de la estructura.

- A través de la observación del mapa geológico se determinó que la Provincia de Imataca se delimita superficialmente de la Provincia de Pastora por la falla de Guri, sin embargo al estudiar la extensión de anomalías magnéticas de mayor magnitud, se propone que la Provincia de Imataca o rocas equivalentes en términos de densidad y susceptibilidad magnética se extiende unos 15,3 km aproximadamente en dirección SE por debajo de la Provincia de Pastora.

Aunado a lo anterior se propone que la falla de Gurí a 10 km de profundidad e inferiormente al contacto entre las Provincias de Imataca y Pastora muestra el descenso de material de alto grado conformado por charnokitas, anfibolitas, mármoles y formaciones de hierro que conforman corrimientos con dirección NO-SE.

- Las rocas afectadas por el metamorfismo de bajo grado incluidos en la Provincia de Pastora describen una asociación volcano-sedimentaria metamorfizada a la facies de esquistos verdes que generan respuestas magnéticas y gravimétricas intermedias del Complejo de Supamo y la Formación Yuruari entre valores de IMT de 5400 gammas a 6900 gammas y valores gravimétricos de -46 a -24 miligales..

- Los modelos gravimétricos y magnéticos propuestos permiten establecer que la discontinuidad de Moho se localiza a 37 km de profundidad y sirve de base a la Provincia de Imataca o rocas ígneas equivalentes en términos de susceptibilidad magnética y densidad, la cual aumenta en profundidad al SE de la

zona de estudio generando en esa dirección respuestas menores de anomalía de Bouguer y de Intensidad Magnética Total.

Es importante mencionar que con base en los modelos propuestos se apoya el planteamiento realizado por Dickinson (1971) el cual propone que la asociación petrotectónica de la Provincia de Imataca se puede explicar por el proceso de subcorrimento y formación de montañas en la zona de fosa, en la cual dos placas en la zona de geosutura (falla de Guri) colisionaron y se produjo la incorporación de rocas plásticas y móviles de Pastora sobre las rocas de Imataca. El subcorrimento fue muy lento y permitió el desarrollo de rocas metamórficas de gradientes geotérmicos intermedios.

- El presente trabajo forma parte del “Estudio Geofísico Integrado del Escudo de Guayana, Norte del Estado Bolívar”, proyecto conjunto U.C.V - INGEOMIN, en el cual se desarrollaron 6 Trabajos Especiales de Grado en la región norte del Estado Bolívar; los estudios proponen nuevos modelos tectónicos del subsuelo en términos de las últimas tendencias en materia de interpretación integrada de datos geológicos y geofísicos. El mapa de Intensidad Magnética Total realizado a partir de los trabajos especiales de grado se muestra según Figura nº 4.45.

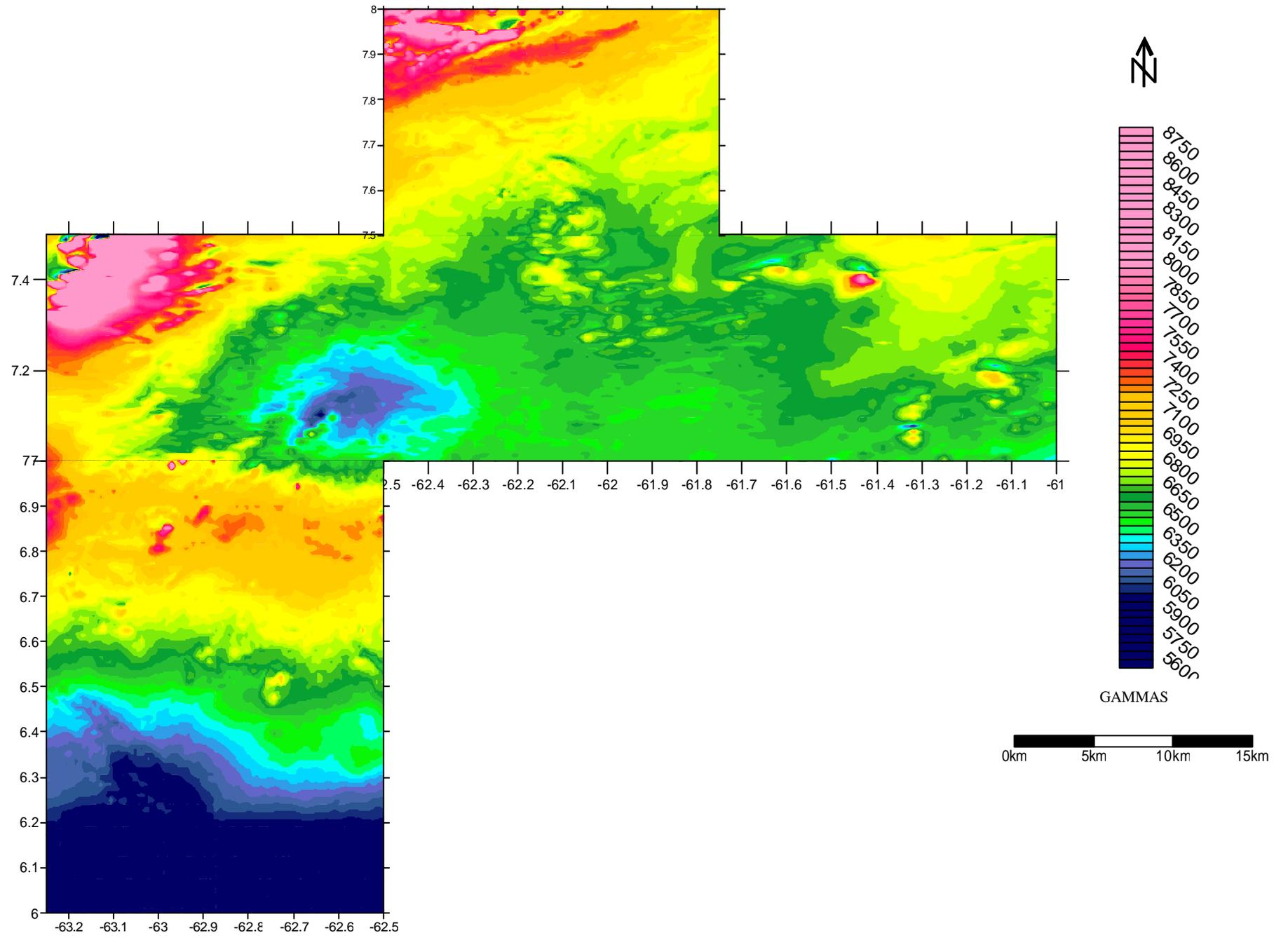


Figura nº 4.45 Mapa general del estudio integrado de IMT, Norte del Estado Bolívar

## RECOMENDACIONES

Con base en análisis de datos suministrados por INGEOMIN, se recomienda:

- La revisión de las coordenadas geográficas de los mapas aeromagnéticos del Estado Bolívar, con el fin de corregir los errores generados por el proceso de adquisición o construcción de los mapas.
- Realizar estudios geológicos de detalle sobre la zona enmarcada entre las coordenadas  $62,15^{\circ}$  W -  $62,50^{\circ}$  W de longitud y  $7,85^{\circ}$  N -  $8,00^{\circ}$  N de latitud, sección que muestra mayores respuestas magnéticas posiblemente asociadas a contenido de mineral de hierro.
- Se recomienda realizar inversión de los datos potenciales usando información geológica u otra disponible.

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS

AUBOUIN, J. (1965). *Geosynclines Developments in Geotectonics*. Elsevier Publications Co., 335 p.

AUTODESK Inc. (2000) AutoCAD<sup>®</sup>. {Programa}

BATEMAN, P. Y DODGE, F. (1970). Variations of major chemical constituents across the central Sierra Nevada Batholith. *Geology Society, Am. Bull.*, 81: 409-420.

BHATTACHARYYA, B. (1966). Computer Modeling in Gravity and Magnetic Interpretation, *Geophysics*, 43 (5): 912-929.

BENAÍM, N. (1972). Geología de la región de Botanamo, Estado Bolívar. *Boletín Geológico, Memoria IV Congreso Geológico Venezolano*, noviembre 1969, Caracas, Publicaciones Española. III (5):1291-1314.

BLAKELY, R. (1996). *Potencial Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press, 441 p.

CHASE, R (1965). El Complejo de Imataca, la anfibolita de Panamo y la trondjemita de Guri: Rocas precámbricas del Cuadrilátero de Las Adjuntas-Panamo, Estado Bolívar, *Boletín Geológico Venezolano*, Venezuela.

DICKINSON, W. (1970). Relations of andesites, granites and derivated sandstones to arc-trench tectonics. *Geophysics*, 8: 813.

DICKINSON, W. (1970). Plate tectonics models of sinclines. *En Earth and planet Science. Lett*, 10: 165-174.

DICKINSON, W. (1971). Plate tectonics in geologic history. *En Nature*, 174,107.

DOUGAN, T. (1972). Origen y metamorfismo de los gneises de Imataca y Los Indios, rocas precámbricas de la región de Los Indios-El Pilar, Estado Bolívar, Venezuela. *Boletín Geológico, Memoria IV Congreso Geológico Venezolano*, noviembre 1969, Caracas: Publicaciones Española. III (5): 1337-1548.

DOUGAN, T. (1976). Origin of trondjemitic biotite-quartz-oligoclase gneisses from the Venezuelan Guayana Shield. *Precambrian Research*, 3: 317-342.

DOUGAN, T. (1977). The Imataca Complex near "Cerro Bolívar", Venezuela. A calcalkaline Archean protolith. *Precambrian Research*, IV (3): 237-268.

ELKINS, T. (1950). The Second Derivate Method of Gravity Interpretation. *Society of Exploration Geophysicist*, 4:29-50.

ERASMO, A. (2002). Análisis geoestadístico y espectral de datos aeromagnéticos de la zona centro-occidental del Estado Amazonas. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Inédito, 110 p.

- ESPEJO, A (1972). Técnica para la elaboración de mapas isopléticos. Aplicación a un modelo geológico. Boletín Geológico, Memoria IV Congreso Geológico Venezolano, noviembre 1969, Caracas: Publicaciones Española. III (5): 2201-2211.
- ESPEJO, A. (1974). Geología de la región El Manteco – Guri, Estado Bolívar, Venezuela. Boletín Geológico, Memoria IX Conferencia Geologica Inter-Guayanas, Ciudad Guayana, Venezuela, Mayo 1972, Caracas: Publicaciones Española, 6: 207-248.
- GEOSOFT Inc. (1996). Manual del usuario de MAGMAP™, 54 p.
- GEOSOFT Inc. (1996). MAGMAP™. {Programa}
- GOLDEN Software Inc. (2002). Surfer 8® {Programa}
- GRIDSTAT PRO Inc. (1999). GRIDSTAT PRO®. {Programa}
- HURLEY, M; PINSON, W; FAIRBAIRN, H (1968). Some Orogenic episodes in South America by K-Ar and whole rock Rb-Sr dating.. J. Earth Science, Canada, 5:633-638.
- HURLEY, P; MELCHER, G; PINSON, H Y FAIRBAIRN, H. (1976). Some orogenic episodes in South America by K-Ar and whole rock Rb-Sr dating. J. Earth Science, Canada, 5: 633-638.
- KALLIOKOSKI, J. (1965) Geología de la parte norte-central del Escudo de Guayana, Venezuela. Boletín Geológico, Caracas, 7 (13): 29-104.
- KISTLER, R 1971. Sierra Nevada plutonic cycle. Part 1: Origin of composite granitic batholiths. Geology Society Am. Bull., 82: 853-868.
- KOROL, B. (1965) Estratigrafía de la Serie Pastora en la región Guasipati-El Dorado. Boletín Geológico, Presentado en Congreso Colegio de Ingenieros de Venezuela 1961, Caracas, 7 (13):3-17.
- MCCANDLESS, G.L.(1965). Reconocimiento geológico de la región noroccidental del Estado Bolívar. Boletín Geológico, Caracas, 7 (13):19-28.
- MENDOZA, V. (1973) Evolución tectónica del Escudo de Guayana (Resumen). XI Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas, Noviembre 1973, Resúmenes: 75.
- MENDOZA, V. (1974) Geología del área del río Suapure. Boletín Geológico, IX Memoria Conferencia geológica interguayanas, Ciudad Guayana, Mayo 1972, Caracas, Publicaciones Españolas, 6:326-338.
- MENDOZA, V. (1974) Geology of the Suapure river area, NW Guiana Shield, Venezuela., University of New York in Binghamton, U.S.A., Tesis Doctoral, Inédito, 230 pp.

MENDOZA, V. (1975). Estudios geoquímicos del no tectonizado Granito rapakivi del Parguaza, noroeste Guayana Venezolana. X Conferencia Geológica Interguayanas, Belem.

MENENDEZ, A (1968) Revisión de la estratigrafía de la Provincia de Pastora según el estudio de la región de Guasipati, Guayana venezolana. Boletín Geológico, Caracas, (19): 309-338.

MENENDEZ, A. (1972) Geología de la región de Guasipati, Guayana venezolana. Boletín Geológico Venezolano, Memoria IV Congreso Geológico Venezolano, Noviembre 1969, Caracas, Publicaciones Españolas, 5: 2001-2046.

MENENDEZ, A. (1974). Petrología y tectónica de la región de El Callao y su relación con la mineralización del oro (Resumen). Boletín Geológico Venezolano, Memoria IX Conferencia Geológica interguayanas, Ciudad Guayana, Venezuela, Mayo 1972, Caracas, Publicaciones Españolas, 6: 606.

MENENDEZ, A., (1994). Cinturones verdes del Escudo de Guayana en Venezuela. Revisión estratigráfica. Simposio Internacional Oro Venezuela, Caracas, p. 123-139.

MICROSOFT (2003). Excel<sup>®</sup> Office<sup>®</sup> .{Programa}

MITCHELL, A y READING, H. (1969). Continental Margins, geosinclines and ocean floor spreading. J. Geology, 77: 629-646.

MONTGOMERY , C; HURLEY, P; FAIRBAIRN, H y GAUDETTE, H. (1977) Equilibrated domains and combined Rb-Sr and U-Pb systematics in the history of granulite. 21<sup>st</sup> Progress Report for 1974-1976, Mass Institute Technology Geochronology Lab., RM 54-1122, Masachussetes, U.S.A.

MONTGOMERY D. y GEORGE C., (1996). Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería. 2<sup>a</sup> Edición. México: McGraw-Hill. 956 p.

NETLETON, L. (1976). Gravity and Magnetics in Oil prospecting. United States American: McGraw-Hill. 464 p.

NEVADO, N. (2002). Interpretación Geofísica Integrada en el Delta del Orinoco, Venezuela, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Tesis de Maestría. Inédito. 120 p.

PARASNIS, D. (1970). Principios de Geofísica Aplicada. Madrid: Editorial Paraninfo, 208 p.

REID, A.R. (1974). Stratigraphy of the type area of the Roraima Group, Venezuela. Boletín Geológico, Memoria IX Conferencia Geológica Interguayanas, Ciudad Guayana, Venezuela, Mayo 1972, Caracas, Publicaciones Españolas, 6: 343-353.

RÍOS, J. (1972). Geología de la Región de Caicara, Estado Bolívar. Boletín Geológico, Memoria IV Congreso Venezolano, Noviembre 1969, Caracas, Publicaciones Españolas, III 5: 1759 – 1782.

SERWAY, R., (1997) Física. 4ª Edición. México: McGraw-Hill. Tomo II.

SPECTOR, A.; P. HOOD, A. y W. AHMED (1981). Applications of aeromagnetic data to mineral-resources exploration – Baluchistan, Pakistan. Society of Exploration Geophysics, William Hinze editor, p. 132-143.

SPIEGUEL, M. (1970). Teoría de Problemas de Estadística. México: Serie de Schaum-McGraw-Hill. 357 p.

SPSS, Inc. (1999) SPSS® 10.0 for Windows. {Programa}.

TEPEDINO, V. (1985). Geología de la región del Bajo Caura, Estado Bolívar, Boletín Geológico, Publicaciones Españolas, 10: 151-162.

TEPEDINO, V. (1985). Geología de la región del medio y Alto Caura. Estado Bolívar, Boletín Geológico, Publicaciones Españolas, 10: 140-150.