

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS
EN LA REGIÓN OCCIDENTAL DE VENEZUELA**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Hermoso R., Obdulis Y.
Para optar al título de
Ingeniero Geofísico

Caracas, 2015

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS
EN LA REGIÓN OCCIDENTAL DE VENEZUELA**

Tutora académico: Prof. Nuris Orihuela

Tutor industrial: Dr. Javier Sánchez R.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Hermoso R., Obdulis Y.
Para optar al título de
Ingeniero Geofísico

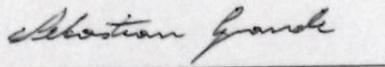
Caracas, 2015

Caracas, junio de 2015.

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 la bachiller Obdulis Ysvett Hermoso Rodríguez, titulado:

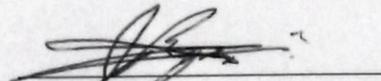
**“ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS EN
LA REGIÓN OCCIDENTAL DE VENEZUELA”**

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



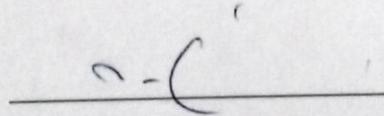
Prof. Sebastián Grande

Jurado



Prof. Janckarlos Reyes

Jurado



Prof. Nuris Orihuela

Tutor Académico

Cristo es mi fortaleza

DEDICATORIA

*A Dios, eres la fuente de fortaleza, tranquilidad y felicidad en mi vida
contigo todo sin ti nada.*

*A mi madre, por ser parte fundamental en esta travesía, por apoyarme
y no dejarme caer en los momentos difíciles.*

Te Amo, lo logre mamá.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi fortaleza, mi refugio en la tormenta, por acompañarme y guiarme en cada uno de mis pasos.

A mi querida UCV, maravillosos años pase en tus aulas, pasillos y jardines. Adquirí mi formación académica en tus brazos, siempre agradecida y orgullosa de formar parte de la casa que vence las sombras.

A mis queridos tutores, Nuris Orihuela y Javier Sánchez, infinitas gracias por su apoyo incondicional y por brindarme la oportunidad de aprender, conocer y vivir experiencias de vida. Para mí fue todo un honor trabajar con ustedes.

A mis padres, por siempre estar allí y apoyarme en todo momento, sin ustedes no hubiese podido lograr esta meta. A mi hermana Ysmar Celeste, eres la luz de mis ojos, gracias por siempre tener una sonrisa para mí, Te amo hermanita. A mi bisabuela Antonia, por abrirme las puertas de su casa, ayudarme, comprenderme y guiarme en el día a día.

A mis queridos amigos (os), Eliana González, Loveida Montilla, Lisfer Flores, Nairé Castro, Elvis Depablos, Alberto Gómez, Jesús Molina, Jesús García, Erick Kusnier, Luis Castro, que desde el inicio me han acompañado en este camino, que siempre han estado allí en mis tristezas y alegrías, mis confidentes, por siempre estar dispuestos ayudarme, no tengo como agradecerles todo lo que han hecho por mí.

A los profesores Mauricio Bermúdez, Mariano Arnáiz y Jesús González, gracias por su tiempo, dedicación y siempre disposición de ayudarme cuando más los necesite.

Gracias a todos los personajes que formaron parte de esta travesía.

Hoy finaliza una etapa e inicia otra, llena de nuevos retos, sueños y aprendizajes.

HERMOSO R., OBDULIS Y.

**ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS EN
LA REGIÓN OCCIDENTAL DE VENEZUELA**

Tutora Académico Dra. Nuris Orihuela

Tutor Industrial Dr. Javier Sánchez

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y
Geofísica. Departamento de Geofísica. Año 2015. 88 pág.**

Palabras claves: *Anomalía de Bouguer, Andes (Los) - Venezuela, Espectro de potencia, Gravimetría, Occidente de Venezuela.*

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue la adquisición y procesamiento de datos gravimétricos terrestres en la región occidental de Venezuela, específicamente en los estados Apure, Barinas, Mérida, Táchira, Trujillo y Zulia. La adquisición de los datos se realizó sobre una ventana ubicada entre los 70° y 73°W, y entre los 7° y 12° N, con un espaciamiento de 3 km aproximadamente entre puntos de medición. Se realizó la medición de un total de 658 estaciones gravimétricas ordinarias y 13 estaciones bases; utilizando gravímetros AUTOGRAV SCINTREX CG5. Durante el desarrollo de esta investigación se integraron datos existentes en la zona con un total de 714 estaciones. Para el procesamiento de la data se utilizaron correcciones de la anomalía de Bouguer de segundo orden y como sistema de referencia el elipsoide GRS80 (Geodetic reference system 1980). Se generaron mapas de anomalía de Bouguer, regional, residual y espectro de potencia. Los resultados obtenidos muestran el adelgazamiento cortical en el NE reflejando valores de -36 a -145.3 mGal, vinculados a una gran variación en la profundidad de Moho, desde 36 km al Norte del estado Zulia hasta más de 50 km en los Andes Venezolanos (Niu et al., 2007; Schmitz, 2011; Saavedra, 2015). Se observó un mínimo absoluto de -145.3 mGal al NO de los Andes Venezolanos con una dirección N45°E que refleja la respuesta gravimétrica asociada al depocentro de la cuenca de Maracaibo y la carga flexural de los Andes de Mérida. A partir del análisis espectral, se estimó que la profundidad del Moho es de 45 km y existe una interfase intracortical de 18 km de profundidad.

CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento de la investigación	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1.Objetivo general	2
1.2.2.Objetivos específicos	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Ubicación del área de estudio.....	3
CAPÍTULO II	4
MARCO GEOLÓGICO.....	4
2.1. Geodinámica del occidente de Venezuela.....	4
2.2. Los Andes de Mérida	5
2.3. Bloque de Maracaibo	9
2.4. Cuenca de Barinas – Apure	10
2.5. Cuenca de Falcón	13
2.6. Napas de Lara.....	16
2.7. Falla de Boconó.....	16
2.8. Sierra de Perijá	16
CAPÍTULO III	19
MARCO TEÓRICO	19
3.1. Métodos Gravimétricos	19

3.2. Ley de Gravitación Universal	19
3.3. Elipsoide y geoide	20
3.4. Unidades de la gravedad.....	21
3.5. Correcciones de los datos gravimétricos	21
3.5.1. Corrección por Latitud.....	22
3.5.2. Corrección por marea.....	22
3.5.3. Corrección por deriva instrumental	23
3.5.4. Corrección de Aire Libre	23
3.5.5. Corrección de Bouguer	24
3.5.6. Corrección Atmosférica	24
3.5.7. Corrección Topográfica	25
3.6. Anomalía de Bouguer.....	25
3.7. Separación regional – residual	26
3.8. Análisis Espectral	26
CAPÍTULO IV	28
METODOLOGÍA	28
4.1. Funcionamiento del Gravímetro AUTOGRAV Scintrex CG-5.....	28
4.2. Funcionamiento del GPS.....	29
4.3. Adquisición de datos gravimétricos	31
4.3.1. Bases gravimétricas	33
4.3.2. Verificación de puntos REGVEN y monumentos de PDVSA	40
4.4. Procesamiento de datos gravimétricos	41
CAPÍTULO V	47

RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	47
5.1 Estadística descriptiva.....	47
5.2. Anomalía de Bouguer.....	50
5.3. Mapa de la componente regional de la anomalía de Bouguer.....	53
5.4. Mapa de la componente residual de la anomalía de Bouguer.....	55
5.5. Análisis espectral de los datos gravimétricos.....	58
CAPÍTULO VI.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
6.1. Conclusiones.....	59
6.2. Recomendaciones.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
APÉNDICES.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio. Mapa topográfico de la región SRTM 90.....	3
Figura 2. Configuración neotectónica de los Andes del Norte y la región del Caribe, indicando los principales sistemas de fallas activas. La deformación continental en Colombia y Venezuela es el resultado del movimiento relativo de las tres principales placas (Nazca, Suramérica y Caribe). G: Guayaquil; Q: Quito; B: Bogotá; C: Caracas; CB: Bloque Chocó; EC: Cordillera Oriental; MB: Bloque Maracaibo; MR: Alto de Malpelo; CR: Alto de Coiba; BR: Alto de Barracuda; TR: Alto de Tiburón; HE: Escarpe de Hess; SMB: Falla de Santa Marta-Bucaramanga; LAN: Arco de las Antillas Menores (Taboada <i>et al.</i> , 2000).....	5
Figura 3. Mapa geológico de los Andes de Mérida en el cual se representan los sistemas de fallas y bloques tectónicos (CATB, Cerro Azul; CB, Caparo; EB, Escalante; ECB, El Carmen; SLCB, Sierra La Culata; SNB, Sierra Nevada; y TB, Trujillo) (Bermúdez <i>et al.</i> , 2010). Los números corresponden a edades de exhumación registradas en los diferentes bloques.....	8
Figura 4. Bloque de Maracaibo y regiones circundantes que muestran las principales fallas (BF-Boconó; SMF-Santa Marta; OF-Oca), sistemas de empuje (NWTS-noroeste; SETS- sureste), cuencas y ríos. Sierra La Culata (SLC) y Sierra Nevada (SN) también son indicadas.....	9
Figura 5. Ubicación de la cuenca Barinas – Apure (modificado de Schlumberger, 1997).....	11
Figura 6. Estructura de la cuenca Barinas-Apure, sección NO-SE (Yoris y Ostos, 1997).	12
Figura 7. Configuración tectónica actual de la cuenca de Falcón. El depocentro de Bonaire está concentrado debido a que la línea de costa regresa por el levantamiento tectónico, y el cinturón de plegamiento de La	

Vela costa afuera yuxtapone costa adentro al anticlino de Falcón (modificado de Gorney <i>et al.</i> , 2007).	14
Figura 8. Situación presente de la cuenca "invertida" de Falcón (modificado de Boesi & Goddard, 1991)	15
Figura 9. Situación Geográfica de La Sierra de Perijá y su mapa geológico (modificado de Garrity <i>et al.</i> , 2004 y Hackley <i>et al.</i> , 2005).	17
Figura 10. Diferencia entre las superficies topográficas.	21
Figura 11. Logaritmo natural del espectro de potencia de la transformada de Fourier de la anomalía de Bouguer, en función del número de onda. La tendencia lineal en las longitudes de onda corta corresponden al comportamiento de la componente regional de la anomalía y la tendencia lineal en las longitudes de onda intermedias y altas corresponden a la componente residual de la anomalía (modificado de Spector y Grant, 1970).	27
Figura 12. AUTOGRAV Scintrex CG - 5.	28
Figura 13. Receptor GNSS R8 model 2 marca Trimble.	29
Figura 14. Navegador GPS marca Trimble Geo-Explorer. Bípode para el receptor móvil.	30
Figura 15. Mapa de estaciones gravimétricas ordinarias, adquiridas durante el desarrollo de esta investigación.	31
Figura 16. Método de circuito cerrado; en donde A es la estación base en la cual se realiza la apertura - cierre del circuito y 1,2, 3 son estaciones gravimétricas ordinarias.	32
Figura 17. Gravímetros utilizados en la adquisición.	33
Figura 18. Estaciones de gravedad absoluta (Drewes, 1991).	34
Figura 19. Base 9000 de segundo orden ubicada en la Plaza Bolívar de Valera, estado Trujillo.	36

Figura 20. Base 0.309 llamado PLuz 2004.	36
Figura 21. Base 9709013 llamada Punta de Piedra.	37
Figura 22. Mapa de estaciones gravimétricas base de la región occidental de Venezuela – Zona 3.	39
Figura 23. Mapa de integración de estaciones gravimétricas ordinarias.	42
Figura 24. Aplicación de un filtro gaussiano. Separación regional – residual.	44
Figura 25. Procesamiento en el software estadístico R i386 3.2.0.	45
Figura 26. a) Espectro de potencia radialmente promediado. b) Archivo “.spc” el cual se abre en un archivo “.txt”	46
Figura 27. Archivo de procesamiento en Excel donde se calculan la profundidad de la fuente.	46
Figura 28. Histograma de frecuencia de la Anomalía de Bouguer.	48
Figura 29. Diagrama de caja y bigotes para los datos de Anomalía de Bouguer.	49
Figura 30. Gráfico Q-Q de los datos de Anomalía de Bouguer.	49
Figura 31. Mapa de la anomalía de Bouguer con líneas negras las fallas cuaternarias basados en Audemard <i>et al.</i> , 2005.	52
Figura 32. Mapa de la componente regional de la anomalía de Bouguer con líneas negras las fallas cuaternarias basados en Audemard <i>et al.</i> , 2005.	54
Figura 33. Mapa de la componente residual de la anomalía de Bouguer con líneas negras las fallas cuaternarias basados en Audemard <i>et al.</i> , 2005.	57
Figura 34. Espectro de Potencia de la anomalía de Bouguer	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de gravedad absoluta (Drewes, 1991).....	35
Tabla 2. Estaciones gravimétricas base de la región occidental de Venezuela – Zona 3.....	37
Tabla 3. Verificación de puntos REGVEN en la zona 3 – proyecto GIAME.....	40
Tabla 4. Procesamiento en Excel.	43
Tabla 5 Estadística descriptiva.....	47

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Resumen de las bases utilizadas en el desarrollo de la investigación.	70
Apéndice 2. Base 0.301.....	71
Apéndice 3. Base 0.302.....	72
Apéndice 4. Base 0.303.....	73
Apéndice 5. Base 0.304.....	74
Apéndice 6. Base 0.305.....	75
Apéndice 7. Base 0.306.....	76
Apéndice 8. Base 0.307.....	77
Apéndice 9. Base 0.308.....	78
Apéndice 10. Base 0.309.....	79
Apéndice 11. Base 0.310.....	80
Apéndice 12. Base 0.311.....	81
Apéndice 13. Base 0.312.....	82
Apéndice 14. Base 0.313.....	83
Apéndice 15. Base 9000.....	84
Apéndice 16. Base 9002.....	85
Apéndice 17. Base 9709013.....	86
Apéndice 18. Base 9711013.....	87
Apéndice 19. Base 9712013.....	88

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento de la investigación

La prospección gravimétrica a escala regional tiene como objetivo el conocimiento de las estructuras geológicas de la zona en que se lleva a cabo el estudio, identificando variaciones en el campo gravitatorio que se deban a contrastes de densidades entre los distintos cuerpos rocosos o variaciones en dichas estructuras.

En los últimos años, se han realizado diversos estudios en los Andes venezolanos, los cuales se basaron principalmente en el procesamiento e interpretación de datos gravimétricos y modelado flexural, tales como Escobar y Rodríguez (1995) y Arnaíz (2009). Este último propone un modelo ligeramente distinto a lo que tradicionalmente se venía proponiendo: una losa de la Placa Suramericana subduciendo debajo del Bloque de Maracaibo. Además, se realizaron diferentes estudios sobre el origen, evolución y configuración actual de los Andes de Mérida (e.g. De Toni y Kellogg, 1993; Funvisis, 1997; Audemard, 1999; Audemard y Audemard, 2002; Duerto, 2006).

Sin embargo, la información que permite tener una idea clara, sobre las características estructurales utilizando métodos sísmicos, está limitada esencialmente a los primeros 8-10 km de profundidad. Debido a la gran complejidad y diversidad de modelos en la zona, nace el proyecto GIAME (Geociencia Integral de los Andes de Mérida), el cual surge con la necesidad de caracterizar las estructuras presentes en el orógeno andino y cuencas petrolíferas de la región (Cuenca de Maracaibo y Cuenca Barinas-Apure), por lo que se plantea realizar diversos estudios geológicos y geofísicos. Dentro de dicho proyecto, un aspecto de particular interés lo representa la gravimetría, la cual permitiría detectar las variaciones verticales y laterales de las densidades presentes en las unidades geológicas en el subsuelo a partir de datos de gravedad terrestre. Este proyecto de trabajo especial de grado se plantea realizar una base de datos gravimétrica terrestre de la región occidental de Venezuela y determinar la

relación de las respuestas gravimétricas con los Andes de Mérida, a partir de análisis cualitativos de los mapas de gravedad absoluta y anomalías de gravedad, para identificar los posibles rasgos geológicos que dominan las fuentes responsables de dichas anomalías.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Adquisición y procesamiento de datos gravimétricos en la región occidental de Venezuela.

1.2.2. Objetivos específicos

- Adquirir datos gravimétricos en la región occidental de Venezuela (Apure, Barinas, Mérida, Táchira, Trujillo y Zulia).
- Calcular la anomalía de Bouguer, a partir de los datos obtenidos en la adquisición de este proyecto.
- Elaborar los mapas de anomalía de Bouguer, regional y residual de la región de interés empleando datos terrestres.
- Interpretar el mapa de anomalía de Bouguer.
- Estimar profundidades de las principales estructuras geológicas mediante el análisis espectral.

1.3. Justificación

El desarrollo de esta investigación constituye un aporte a los métodos potenciales de Venezuela, utilizando una nueva tendencia mundial en el cálculo de anomalía de Bouguer como lo es la aplicación de las ecuaciones de segundo orden, las cuales nos permiten obtener mayor precisión de las anomalías de la gravedad. Por otra parte, se tiene la adquisición y creación de una base de datos gravimétrica actualizada y unificada a lo largo de la región occidental.

Asimismo, este proyecto es de gran importancia económica para el país, debido a que proporciona un aporte significativo a los estudios regionales efectuados por la industria petrolera venezolana. Mediante la interpretación de datos gravimétricos podemos estimar la morfología y profundidad de la fuente que produce las

anomalías, lo que ayuda a obtener una aproximación de la geometría de una cuenca sedimentaria, que junto con la interpretación de datos sísmicos hace posible la definición de la disposición de las estructuras del subsuelo.

1.4. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra localizada en el occidente de Venezuela, entre los 7° y 12° latitud norte y entre 70° y 73° longitud oeste, abarcando los estados Apure, Barinas, Mérida, Táchira, Trujillo y Zulia (Figura 1).

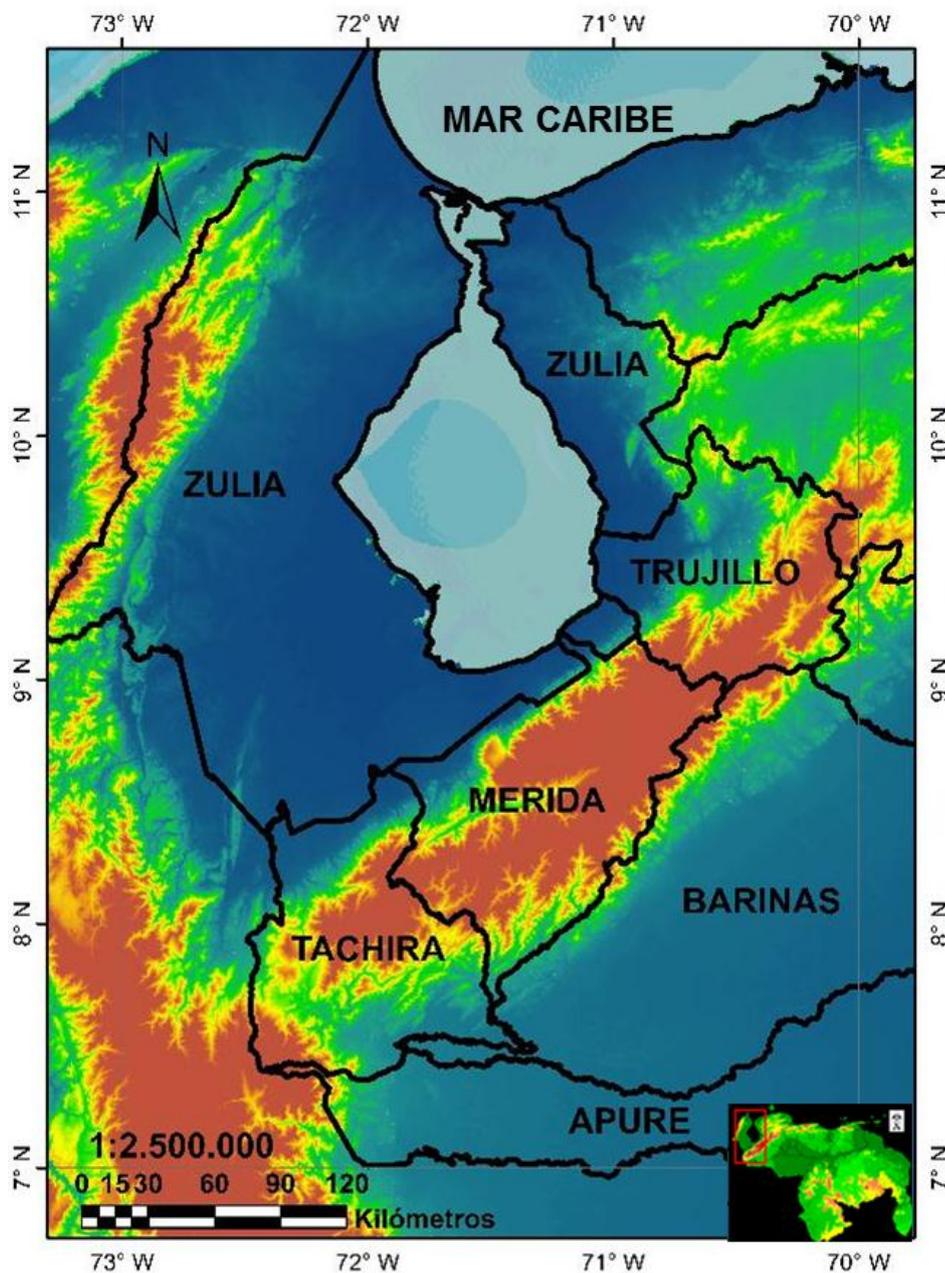


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Mapa topográfico de la región SRTM 90.

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO

2.1. Geodinámica del occidente de Venezuela

El desarrollo de los procesos tectónicos en la región noroccidental de Suramérica han dado origen a la gran complejidad geológica, con elementos estructurales relevantes evidenciados actualmente en el territorio venezolano, como lo son: las fallas de Boconó, Oca Ancón, Icotea, Perijá El Tigre, los Andes de Mérida, el graben de Apure, entre otros. Duerto (1998) hace un breve resumen de esta historia geológica y la divide en seis periodos tectónicos:

1. Apertura jurásica responsable de la formación de grábenes y otras estructuras asociadas a sedimentos continentales.
2. Desarrollo del margen pasivo y subsidencia del Cretácico con el desarrollo de una plataforma carbonática.
3. Colisión de un arco de islas contra el borde occidental de Colombia desde el Cretácico tardío hasta el Paleoceno.
4. Emplazamientos de las napas del Caribe (Napas de Lara) en el occidente de Venezuela del Paleoceno al Eoceno medio con incremento en la tasa de convergencia en Colombia, y la formación de una cuenca *foreland* en Venezuela.
5. Producción de un régimen transpresivo en el Eoceno tardío y el Mioceno medio.
6. Levantamiento de la Serranía de Perijá y de los Andes de Mérida desde el Oligoceno al Plioceno debido a la colisión de los terrenos de Baudo – Chocó contra Colombia. En el Plioceno – Pleistoceno una compresión EO y la posterior erosión de la estructura transversal formada aporta y refuerza el depocentro norandino con más de 30000 pies de sedimentos.

Este breve resumen evidencia el grado de complejidad de la geodinámica del borde norte de Suramérica, que se encuentra en contacto con la Placa Caribe.

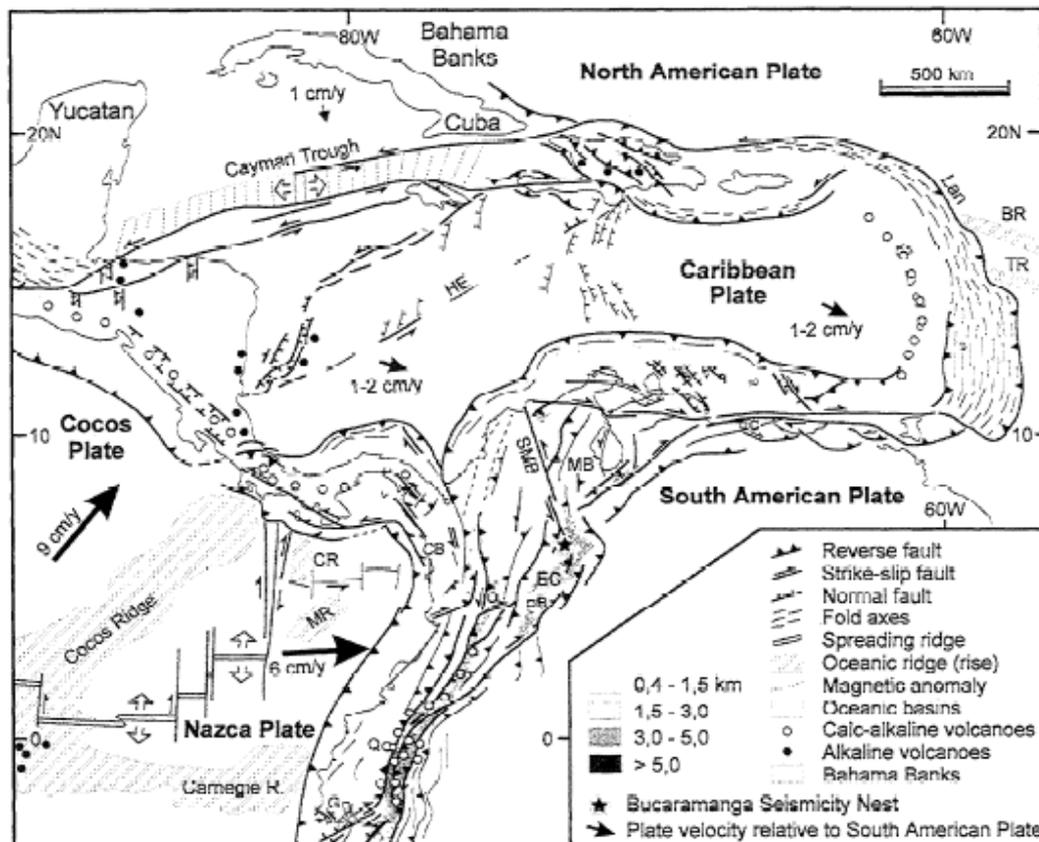


Figura 2. Configuración neotectónica de los Andes del Norte y la región del Caribe, indicando los principales sistemas de fallas activas. La deformación continental en Colombia y Venezuela es el resultado del movimiento relativo de las tres principales placas (Nazca, Suramérica y Caribe). G: Guayaquil; Q: Quito; B: Bogotá; C: Caracas; CB: Bloque Chocó; EC: Cordillera Oriental; MB: Bloque Maracaibo; MR: Alto de Malpelo; CR: Alto de Coiba; BR: Alto de Barracuda; TR: Alto de Tiburón; HE: Escarpe de Hess; SMB: Falla de Santa Marta-Bucaramanga; LAN: Arco de las Antillas Menores (Taboada *et al.*, 2000).

2.2. Los Andes de Mérida

Los Andes de Mérida son un cinturón Mio-Plioceno que se extiende a lo largo de 425 km en sentido SW – NE, y una anchura promedio de 80 km, formando una efectiva divisoria de aguas entre la cuenca hidrográfica del Apure – Orinoco al sur y la del Lago de Maracaibo – Mar Caribe al norte (González de Juana *et al.*, 1980). La orientación SW – NE de la cadena ha sido controlada por la ubicación de un sistema de grábenes Jurásicos que se invirtieron como parte de la deformación del Mio-Plioceno. Según Meier *et al.* (1987) los mecanismos de deformación más importantes se han desarrollado en la corteza superior, bajo un dominio frágil.

Los Andes venezolanos, segmento de Mérida, están separados de la Cordillera Oriental de Colombia por la llamada Depresión del Táchira, la cual está fundamentalmente compuesta por sedimentos plegados y fallados del Cretácico y Terciario. El orógeno tiene un núcleo cristalino de gneis precámbrico y esquistos del Paleozoico al Mesozoico con rocas plutónicas intrusivas, cubierto por sedimentos clásticos del Jurásico y Cretácico, flanqueados por depósitos molasicos al norte y sur de edad Eoceno al Plioceno (Colletta *et al.*, 1997). Su deformación y levantamiento están íntimamente relacionados con los procesos de colisión y sutura entre el arco de Panamá y el margen occidental de Suramérica durante el Neógeno (Pindell y Barret, 1990; Audemard, 1998).

A diferencia de la mayoría de los Andes suramericanos la cadena andina de Mérida no es producto de orógenes relacionada a la subducción de tipo B convencional. Esta se eleva durante el Mioceno Tardío, como consecuencia directa de la interacción entre la placa Caribe y la Suramericana, además de la interacción con la placa de Nazca y la placa Caribe (Audemard y Audemard, 2002) que controla a menor escala la colisión de dos bloques continentales: El Bloque de Maracaibo y la Placa Suramericana. En el Mioceno superior se produce la generación de la cuenca antepaís Barinas-Apure y la separación de ésta de la Cuenca de Maracaibo (Audemard y Audemard, 2002; Audemard, 2003). Schubert (1983) hace mención a las morrenas depositadas durante la última glaciación andina y afirma que un desplazamiento de las mismas en varias decenas de metros es prueba de que el movimiento tectónico prosigue durante el Holoceno.

Colleta *et al.* (1997) describe los Andes de Mérida como un cinturón orogénico transpresional intracratónico, desarrollado en respuesta a la convergencia oblicua entre los dos bloques litosféricos continentales, mencionados anteriormente.

El Complejo Iglesias que aflora en el estado Mérida es un conjunto de rocas ígneas y sedimentarias altamente metamorfizadas de la edad Precámbrico Tardío; este conjunto de rocas se considera el basamento del llamado Terreno o Dominio Mérida.

Los Andes venezolanos se caracterizan por seis grandes sistemas de fallas rumbo-laterales (Figuras 3), que son la falla de Boconó de componente dextral, falla de Caparo y sistema de fallas Central – Sur Andino, y los sistemas rumbo – lateral izquierdo Icoatea, Valera y Carache o sistemas de fallas Burbusay (Bermúdez et al., 2010). La evolución de los Andes de Mérida está controlada por los principales sistemas de fallas antes mencionados, los cuales poseen componentes verticales variables y asimétricos, como resultado del desplazamiento dextral de la placa del Caribe en relación con América del Sur (Bermúdez *et al.*, 2011). Las fallas de mayor tamaño permiten identificar siete bloques tectónicos (Figura 2) limitados por corrimientos de convergencia predominante al sur que colocan las rocas del Jurásico por encima de las del Cretácico Temprano. Estos bloques son: Caparo, Cerro Azul, Escalante, Sierra Nevada, Sierra La Culata, Trujillo y El Carmen (Bermúdez *et al.*, 2010).

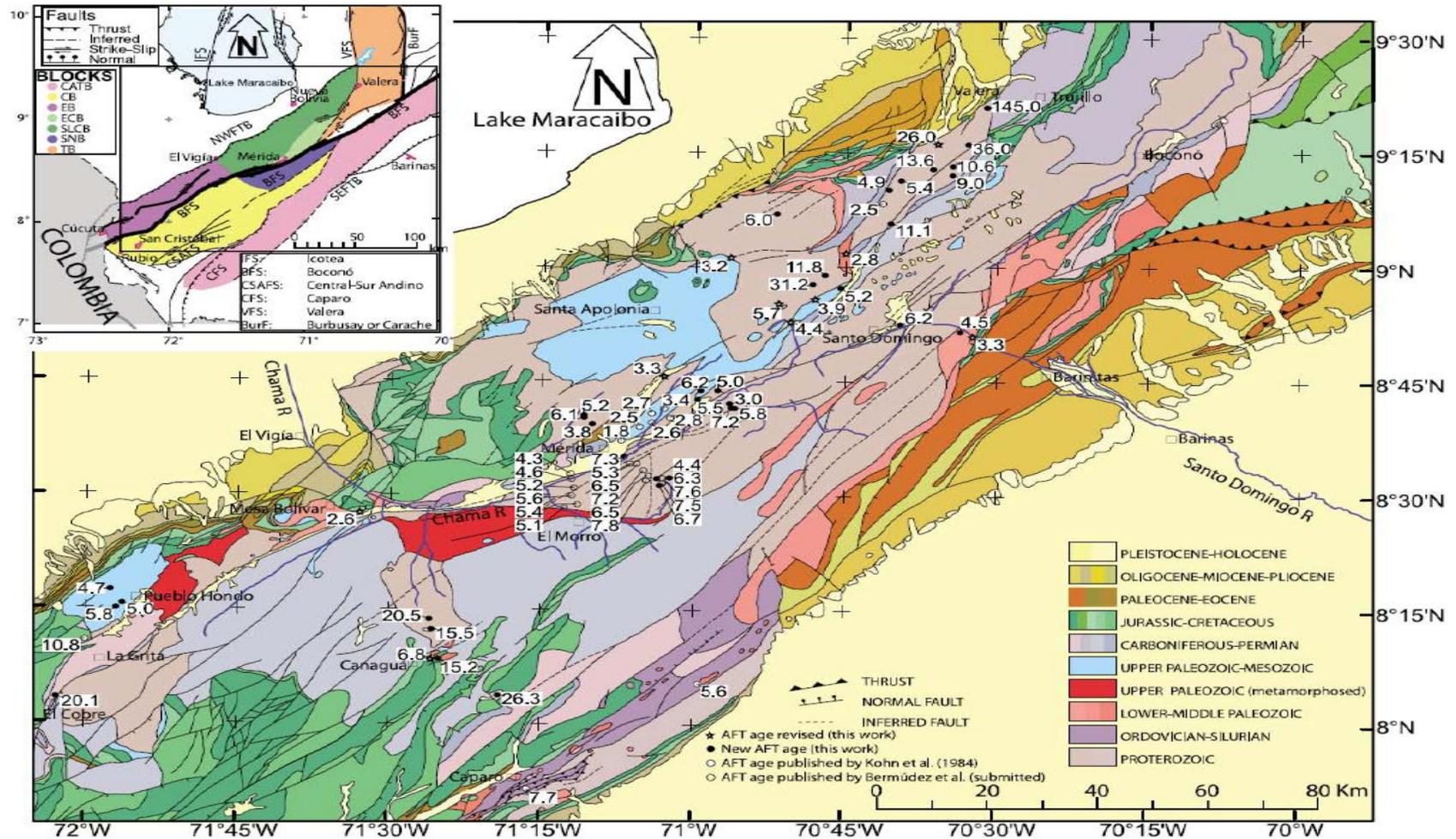


Figura 3. Mapa geológico de los Andes de Mérida en el cual se representan los sistemas de fallas y bloques tectónicos (CATB, Cerro Azul; CB, Caparo; EB, Escalante; ECB, El Carmen; SLCB, Sierra La Culata; SNB, Sierra Nevada; y TB, Trujillo) (Bermúdez *et al.*, 2010). Los números corresponden a edades de exhumación registradas en los diferentes bloques.

2.3. Bloque de Maracaibo

El Bloque de Maracaibo (Figura 4) es una fracción de litosfera continental independiente, de forma aparentemente triangular, que se localiza en el noroccidente del territorio venezolano; se encuentra limitado al este por la falla de Boconó (de movimiento dextral), al oeste por el sistema de fallas de Santa Marta – Bucaramanga (de movimiento sinistral) y al norte por la línea geológica de la falla de Oca Ancón (Mann y Burke, 1984; Taboada, *et al.*, 2000; Audemard, *et al.*, 2005). Su Formación viene asociada con la interacción entre la Placa Caribe, la Suramericana y la de Nazca. Precisan Audemard y Audemard (2002) que la expulsión de este bloque, como la del Bloque de Bonaire, tiene como origen la compresión generada por el Bloque de Panamá contra Suramérica. El Bloque de Maracaibo se destaca por su movimiento en dirección NE. Este bloque está siendo extruido en dirección NNE con respecto a Suramérica; ambos sobrecorren la Placa Caribe al norte de las Antillas Menores donde una subducción a magmática de bajo buzamiento en dirección S se ha estado formando durante los últimos 5 Ma (Audemard, 2000).

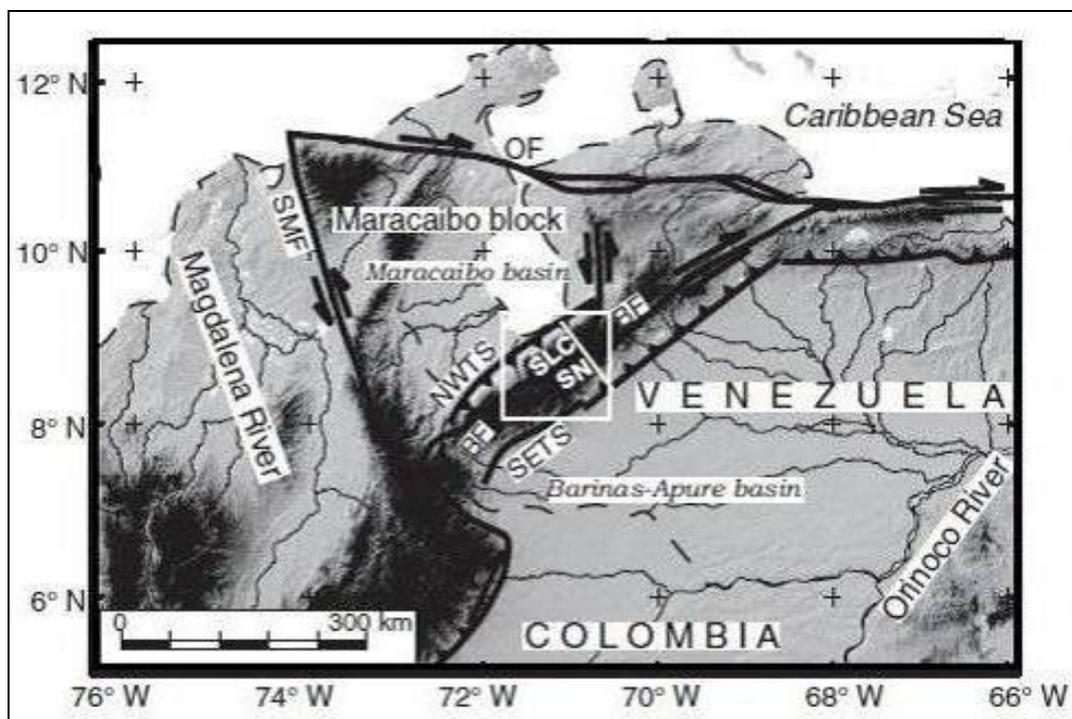


Figura 4. Bloque de Maracaibo y regiones circundantes que muestran las principales fallas (BF-Boconó; SMF-Santa Marta; OF-Oca), sistemas de empuje (NWTS-noroeste; SETS- sureste), cuencas y ríos. Sierra La Culata (SLC) y Sierra Nevada (SN) también son indicadas.

Según Audemard (1991) la separación entre la Cuenca de Maracaibo y la Cuenca Barinas - Apure se inicia en el Mioceno Medio con el cambio de la dirección de la compresión a lo largo del borde norte de la Placa Suramericana, produciéndose la mayor fase de levantamiento de los Andes de Mérida (Bermúdez, 2011).

La excesiva profundidad de la Cuenca de Maracaibo (aproximadamente 30000 pies o 10 km) en comparación con la Cuenca de Barinas-Apure (aproximadamente 15000 pies o 5 km) es evidencia (Audemard y Audemard, 2002; Arnaiz -R y Audemard, 2014) de que el bloque posee un espesor elástico considerablemente menor al de la Placa Suramericana. Adicionalmente se tiene la existencia de una posible distribución asimétrica de la carga que representan Los Andes de Mérida y las diferentes edades (y por lo tanto densidades) de ambas cortezas.

Lessmann (2004) señala que la geología de la Cuenca de Maracaibo se relaciona al movimiento transcurrente de la placa del Caribe contra la placa Sudamericana. A consecuencia de dicho movimiento se produjeron esfuerzos de transpresión al tectonismo andino durante el Terciario Inferior, y desplazamientos tectónicos en la sierra de Perijá durante el Oligoceno- Mioceno y en los Andes de Mérida durante el Plioceno- Pleistoceno. Estos múltiples eventos tectónicos asociados a la formación de esta cuenca foredeep combinados con la fluctuación relativa del nivel del mar y la gran disponibilidad de sedimentos, dieron origen a una gruesa columna de sedimentos que sufrió varios ciclos de maduración termal dando lugar a la formación de numerosos yacimientos petrolíferos.

2.4. Cuenca de Barinas – Apure

La cuenca Barinas-Apure (Figura 5) es la tercera cuenca productora de petróleo más grande de Venezuela. Esta depresión, presenta una extensión de unos 87.000 km² a través de los Estados Apure, Barinas, parte de Portuguesa y Táchira meridional. Se encuentra limitada al norte por la extensión de la Serranía del Interior Central, al este y noreste por el levantamiento de El Baúl, al sur por la cuenca de los Llanos Colombianos y al noroeste por el Sistema Montañoso de los Andes de Mérida.



Figura 5. Ubicación de la cuenca Barinas – Apure (modificado de Schlumberger, 1997).

La prolongación del macizo de Colorado en dirección sureste en el subsuelo, un importante elemento tectónico de la cadena Andina, subdivide la cuenca mayor en dos subcuencas o depresiones: la de Uribante al oeste y la de Barinas al noreste. La cuenca Barinas-Apure contiene un máximo de 5000 metros (16500 pies aproximadamente) de sedimentos cretácicos y post-cretácicos los cuales se encuentran depositados discordantemente sobre un basamento ígneo-metamórfico pre cretácico. Es importante resaltar que lateralmente esta cuenca se correlaciona con la de Maracaibo, ya que el origen de ambas es similar y no es sino hasta el levantamiento de los Andes Venezolanos, durante el Terciario que se separan (González de Juana *et al.*, 1980).

El régimen extensional sufrido por la cuenca Barinas-Apure en el Cretácico Tardío y Eoceno Medio a Tardío es el responsable de la formación del conjunto de fallas normales en toda la cuenca. Sin embargo, existieron eventos compresivos que dejaron evidencias en forma de pliegues, fallas inversas y en consecuencia altos estructurales que afectan mayormente a las secuencias cretácicas. Por otro lado, el flanco norte de la cuenca, mucho más inclinado (Figura 6), se desarrolla principalmente en el piedemonte suroriental de la Cordillera de Los Andes. En él se conocen pliegues mejor conformados, los cuales se encuentran probablemente relacionados con la compresión oblicua

desarrollada por el efecto cizalla a lo largo de la falla de Boconó (Díaz y Herrera, 2007). Entre éstos destacan el anticlinal de Barinitas, que muestra sedimentos eocenos (Formación Pagüey) en su cresta y presenta declive hacia el noreste, y el anticlinal de Quebrada Seca, en el cual afloran rocas del Terciario con declive al suroeste que desaparece por debajo del Cuaternario. Su extremo noreste está cortado por la falla de La Soledad (González de Juana *et al.*, 1980).

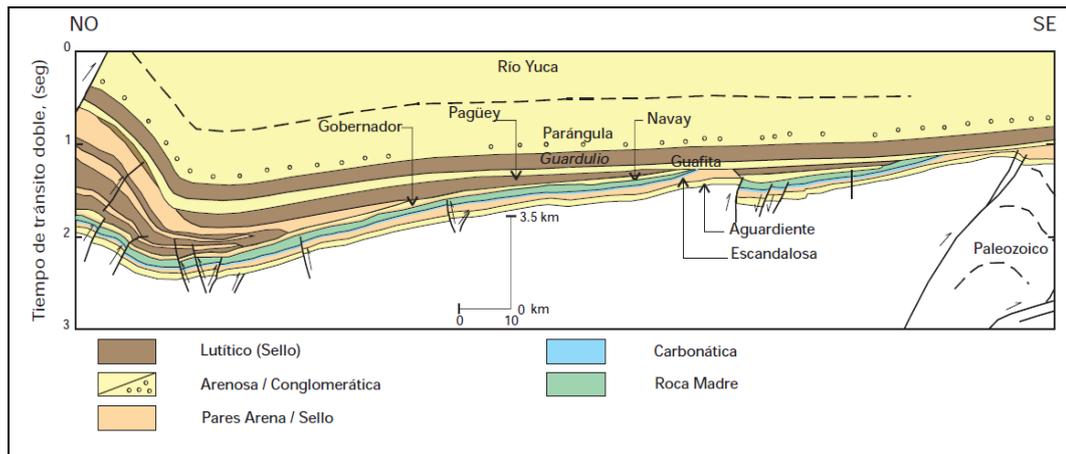


Figura 6. Estructura de la cuenca Barinas-Apure, sección NO-SE (Yoris y Ostos, 1997).

En la parte central del área, se reconoce un alto del basamento identificado como reflejo del Arco de Mérida por diversos autores, este alto todavía se observa en el tope del Cretácico y más atenuado, en forma de declive suave hacia el N – NE, sobre curvas estructurales en el tope del Eoceno.

Colleta *et al.*, 1997 describe un corrimiento frontal que se encuentra actualmente bajo los depósitos Neógenos (Formaciones Parángula y Río Yuca), donde se observa la presencia de una importante superficie erosiva de edad Oligoceno. Durante el Paleógeno (Formación Pagüey), se hace más gruesa hacia el norte y su adelgazamiento progresivo hacia el sur resulta de la conjunción de procesos distintos: (1) la secuencia flexural durante el Eoceno Medio, que constituyó inicialmente un engrosamiento de cuña sedimentaria hacia el norte; (2) durante las deformaciones compresionales del Caribe, que produjo un engrosamiento tectónico moderado; y (3) la exhumación de rocas durante el Oligoceno y la remoción por erosión en la parte superior de la secuencia hacia el sureste durante el Eoceno Medio (Colleta, *et al.*, 1997).

2.5. Cuenca de Falcón

La cuenca terciaria de Falcón está ubicada en el noroccidente venezolano, donde afloran esencialmente secuencias que cubren desde el Eoceno Superior hasta el Cuaternario. Dicha cuenca se ubica en su parte oriental y central sobre el alóctono Caribe sobrecorrido durante la fase de compresión de edad Paleoceno-Eoceno Temprano, como consecuencia de un colapso post orogénico asociado a la desaceleración de la placa Caribe, resultado de la colisión oblicua en el margen meridional de la misma. La zona más occidental está en contacto con la plataforma carbonática de Maracaibo y el neoaútóctono falconiano es esencialmente de edad Oligoceno – Mioceno (Audemard, 1993).

Las primeras teorías sobre la formación de la cuenca se basan en un modelo pull-apart, formada en un sistema de fallas transcurrente dextral durante el Oligoceno tardío – Eoceno entre la Falla Oca al sur y el cinturón de deformación del sur del Caribe al norte, donde la extensión sobre la amplia zona resultó en zonas de relativa estabilidad y subsidencia (Muessig, 1984). Los modelos más recientes propuestos por Audemard (1993,1995), Audemard & Giraldo (1997), Porras (2000), Gorney *et al.* (2007) explican que las cuencas de Falcón, Bonaire y Granada eran una cuenca retro – arco continua durante el Cretácico Tardío asociada al Gran Arco del Caribe. Por otra parte, los cuerpos intrusivos ígneos que afloran a lo largo del eje de la cuenca han sido relacionados con un adelgazamiento de la litósfera en esta área de la Cuenca de Falcón (Bezada *et al.*, 2007).

La apertura de la cuenca de Falcón se inició con la transgresión marina del Oligoceno (Wheeler, 1963). La apertura inicial este – oeste produjo una depresión donde se sedimentaron depósitos marinos en la parte central de Falcón, mientras en los flancos se acumularon depósitos arrecifales y de plataforma (Macellari, 1995).

La inversión de la cuenca de Falcón ocurrió en el Mioceno Medio (Audemard, 2001) y ha sido atribuido a tres mecanismos: 1) los esfuerzos producidos por el emplazamiento de los Andes (James, 2000); 2) la combinación de la convergencia Norteamérica y Sudamérica desde el final del Eoceno medio y la compleja

deformación oblicua entre las placas Caribe y Sudamérica, resultando en transpresión (Audemard, 1993 y 2001; Audemard et al., 2005); y 3) la deformación relacionada a la subducción somera de la placa Caribe (Kellogg, 1984; Audemard, 1993; van der Hilst & Mann, 1994; Taboada et al., 2000; Duerto *et al.*, 2006).

Como la inversión de Falcón progresó desde el suroeste al noreste durante el Mioceno temprano-medio, el este de la cuenca de Falcón y el resto costa afuera del noroeste de Venezuela permaneció como un depocentro activo. Las características en el presente reflejan la progresión hacia el este de la inversión de Falcón (Audemard, 2001).

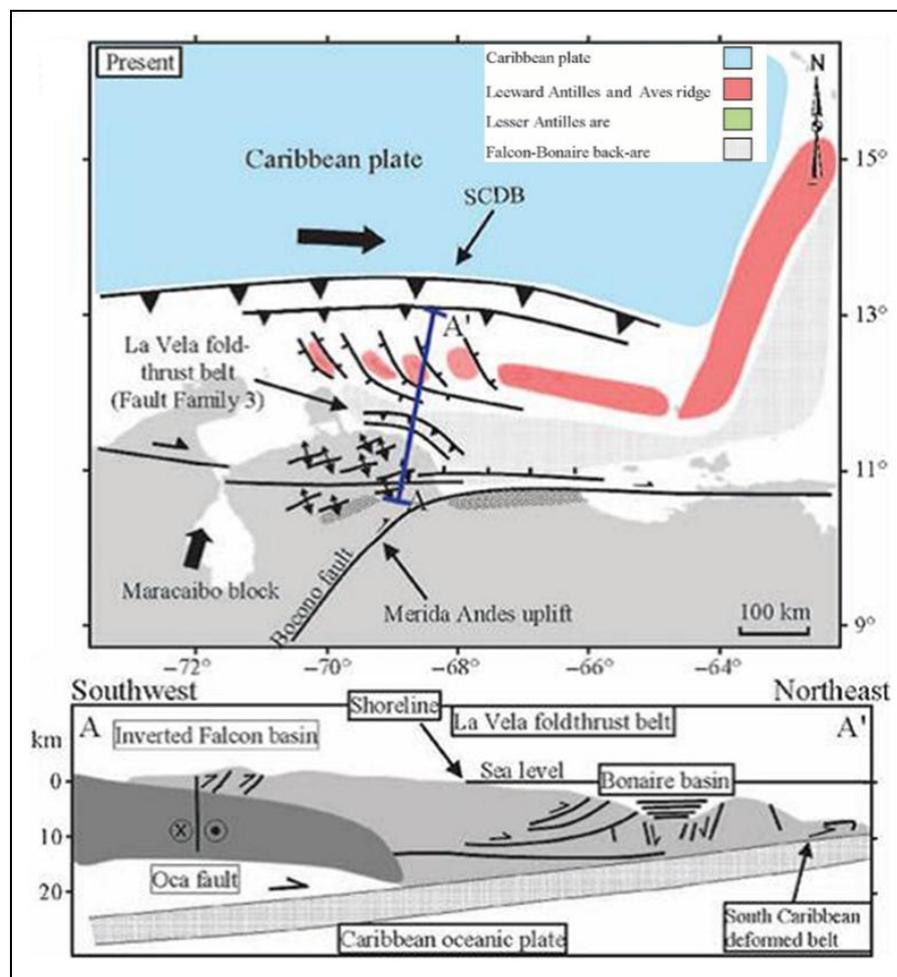


Figura 7. Configuración tectónica actual de la cuenca de Falcón. El depocentro de Bonaire está concentrado debido a que la línea de costa regresa por el levantamiento tectónico, y el cinturón de plegamiento de La Vela costa afuera yuxtapone costa adentro al anticlino de Falcón (modificado de Gorney *et al.*, 2007).

El último evento estructural propuesto por Baquero *et al.* (2009), es la generación de nuevas fallas debido a la acción de la placa Caribe, durante el Mioceno Tardío al Reciente, que cortan a las preexistentes y que coinciden con el levantamiento de los Andes, el cual genera un nuevo nivel de despegue propagado desde el sur. Este nivel de despegue se une al de las fallas en el norte de la región formando una zona triangular. Boesi & Goddard (1991) por su parte señalan que en este período se generan fallas de componente transcurrente con una orientación aproximada este-oeste como el sistema de fallas Oca - Ancón; también sugieren que existe actividad tectónica durante el Plioceno y el Pleistoceno, responsable de levantamiento del sistema montañoso reciente y de la formación de terrazas aluviales. En la Figura 8 se visualiza la situación presente de la cuenca de Falcón de manera simplificada

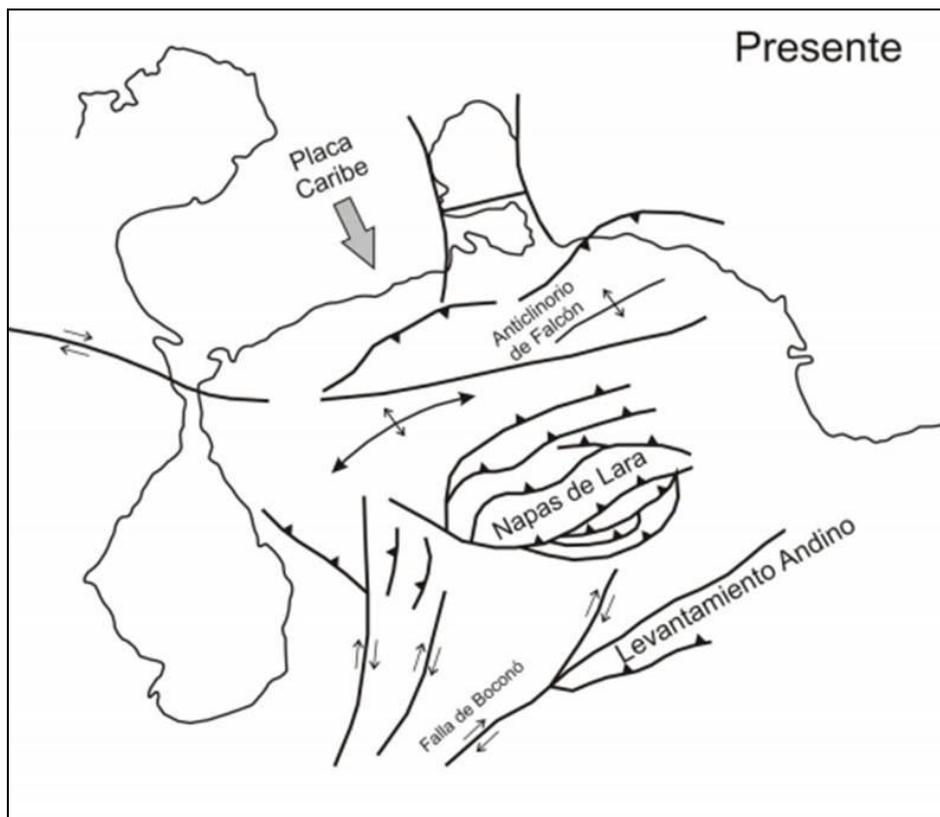


Figura 8. Situación presente de la cuenca "invertida" de Falcón (modificado de Boesi & Goddard, 1991)

2.6. Napas de Lara

Las Napas de Lara son un elemento estructural importante en el norte de Venezuela, desde el Paleógeno han controlado la sedimentación y la deformación de la región (Lugo y Mann, 1995; Audemard y Audemard, 2002). Urbani (2012) con base a observaciones litológicas establece que la mayor parte del material incluido en la Formación Matatere proviene de unidades originalmente formadas en el margen continental pasivo suramericano, y en menor proporción hay material procedente del arco volcánico caribeño y sus terrenos frontales.

2.7. Falla de Boconó

La zona de fallas de Boconó se extiende a lo largo de los Andes Venezolanos, donde su traza se expresa morfológicamente como escarpes o valles alineados, y divide casi simétricamente el orógeno Andino. Debido a su extensión aproximadamente de 500 km y su actividad sísmica, la zona de falla de Boconó ha sido interpretada por muchos autores como límite de placa (falla transformante). Esta falla se ha reactivado a través del tiempo como estructuras corticales extensivas paleozoicas y mesozoicas, ha controlado la sedimentación paleocena-eocena de las cuencas de Maracaibo y Barinas, actuando como zona de fallas de tijera, o más recientemente como una zona de fallas transcurrente - dextral (Schubert, 1981; Stephan, 1982; Soulas, 1985).

Schubert (1982) consideran que la Falla de Boconó representó el límite de placas entre Suramérica y el Caribe, por lo tanto la Cadena Andina sería entonces el resultado de la compresión entre ambas placas y estaría integrada por dos medias cadenas, separadas por el sistema de Boconó (Soulas, 1985). Los Andes de Venezuela constituyen una megaestructura en flor a lo largo de la falla de Boconó (Stephan, 1982).

2.8. Sierra de Perijá

Aproximadamente en el paralelo 9°N, la Cordillera Oriental de Colombia cambia su rumbo de N20°O a N25°E, dirección que se conserva en la Sierra de Perijá, desde su comienzo en Venezuela hasta las planicies de la Guajira, por una distancia aproximada de 250 km. La cresta de la Sierra de Perijá marca la frontera

entre Colombia y Venezuela, la extensión de la sub provincia fisiográfica, dentro de Venezuela, es de unos 7500 km².

La Sierra de Perijá (Figura 9) es la prolongación norte de la Cordillera del este de Colombia con su mayor elevación de 3650 m; su cresta se considera el límite territorial entre Venezuela y Colombia. La topografía del este de la serranía se caracteriza por un frente monoclinal buzante en dirección ESE debajo de los aluviones horizontalmente estratificados y las rocas neógenas de la cuenca de Maracaibo; sus más altas elevaciones se caracterizan por la presencia de rocas paleozoicas del basamento deformado, rocas Jurásicas y rocas del Cretácico al Holoceno (Audemard y Audemard, 2002).

Miller (1960), basándose en un estudio foto interpretativo postula que las estructuras compresivas (fallas y pliegues) tienen un rumbo promedio de N35°E, siendo estas dominadas por los fuertes alineamientos formados por la falla de Perijá y El Tigre.

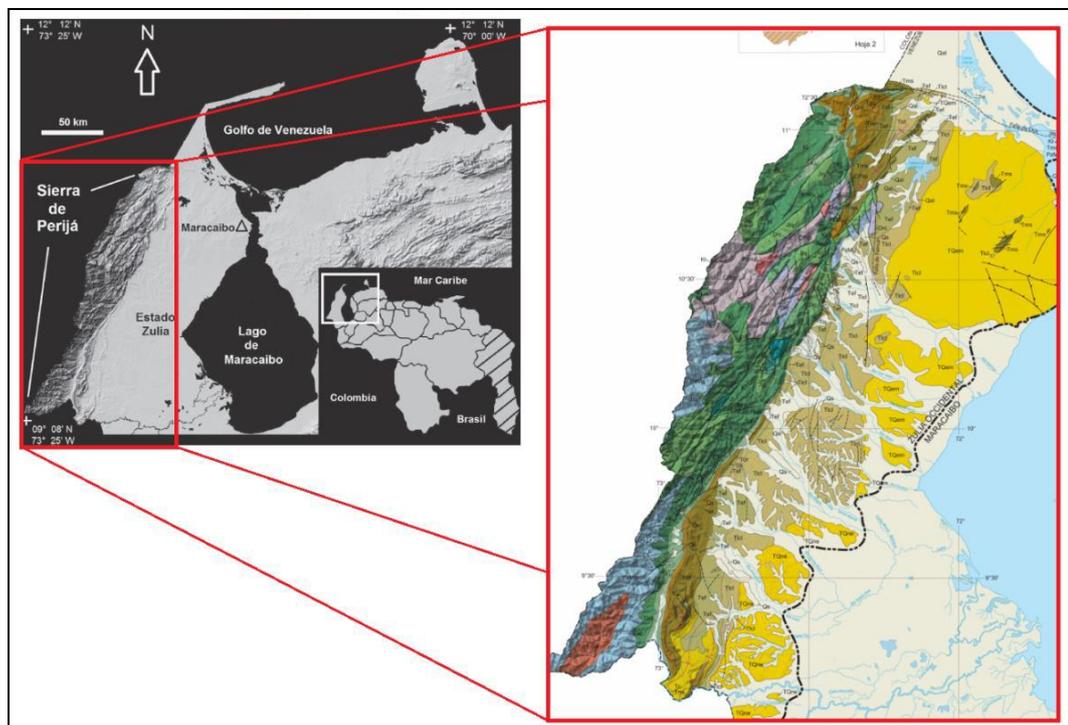


Figura 9. Situación Geográfica de La Sierra de Perijá y su mapa geológico (modificado de Garrity *et al.*, 2004 y Hackley *et al.*, 2005).

El levantamiento de la Sierra de Perijá está comúnmente asociado al levantamiento de los Andes de Mérida y la Sierra de Santa Marta en Colombia; inicia durante el Mioceno Superior como consecuencia de las primeras etapas de la colisión del Arco de Panamá contra el continente suramericano, la cual continúa en el Plioceno – Cuaternario. Audemard y Audemard (2002); la subducción continental al sureste del Bloque de Maracaibo produce un acortamiento cortical en el mismo, el cual se refleja con un crecimiento vertical de esta cadena, así como en el crecimiento de los Andes de Mérida y en la sierra de Santa Marta. Duerto (2006) sugiere que el levantamiento de la Serranía de Perijá viene asociado a la reactivación positiva de un sistema de fallas jurásicas durante el Cenozoico.

Litológicamente según Bellizzia y Pimentel (1995) el basamento de la Sierra de Perijá está constituido por gneises biotítico – cloríticos, anfibolitas y cuarcitas, llamado Asociación Perijá. Sobre este basamento se encuentra una espesa secuencia lutitas carbonáceas y silíceas, areniscas, limolitas, conglomerados y calizas carbonáceas; en la parte superior del grupo, se encuentran capas rojas con niveles fosilíferos; esta secuencia ha sido asignada al Grupo Cachirí.

Para Bellizzia y Pimentel (1995) en la Sierra de Perijá se conocen únicamente dos eventos magmáticos: el primero del Devónico (350 Ma) conocido como el evento Antray; y una segunda fase de plutonismo granítico, acompañada de un vulcanismo fisural de composición básica y félsica que corresponde al evento que produce la depositación de la Formación La Quinta (180 Ma).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Métodos Gravimétricos

El método gravimétrico tiene como finalidad medir las variaciones laterales y verticales de la atracción gravitatoria del suelo, las cuales se encuentran relacionados a cambios de densidades (Dobrin, 1980). Es por esa razón que este método permite estudiar estructuras geológicas en el subsuelo y su composición, además de la estructura interna de la corteza terrestre, debido a los contrastes de densidades. Por otra parte, permite describir la estructura del basamento cristalino donde se encuentran depositadas rocas sedimentarias, debido a que la respuesta gravimétrica de estas últimas es relativamente pequeña ante la respuesta de las rocas del basamento.

3.2. Ley de Gravitación Universal

La fuerza de la gravitación se expresa por la ley de Newton. La fuerza entre dos partículas de masas m_1 y m_2 es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los centros de masa:

$$F = \gamma * \frac{m_1 * m_2}{r^2} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde $\gamma = 6.673 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ es la Constante de Gravitación Universal y r es la distancia entre dos masas.

La aceleración a resultante de una masa m_1 , está dada por:

$$\frac{F}{m_1} = a = \frac{\gamma * m_2}{r^2} \quad \text{en m/s}^2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

La masa m (kg) de un cuerpo está relacionado por su volumen V por una constante d , donde d es la densidad del objeto en kg/m^3 .

$$m = dV \quad (\text{Ecuación 3})$$

Debido a que la Tierra no es un cuerpo de densidad uniforme, la aceleración gravitacional que ejerce sobre otros cuerpos está dada vectorialmente por

$$\vec{a} = \gamma \int \frac{d \cdot \vec{r}}{r^3} dv \quad (\text{Ecuación 4})$$

Por lo tanto, la atracción gravitatoria de un cuerpo de densidad no homogénea variará de un punto a otro, en respuesta a la distribución de la densidad en el cuerpo. Por esta razón, las mediciones de la variación de la atracción gravitacional de la Tierra pueden proporcionar información valiosa sobre la geología del subsuelo. Esta es la base para la teoría y práctica de las mediciones gravimétricas. (H.O. Seigel, 1995).

3.3. Elipsoide y geoide

En la geofísica, la gravedad se utiliza para conocer las variaciones de densidad del interior de la Tierra. En geodesia, la gravedad ayuda a definir la figura de la Tierra, el geoide. Por tanto, representa una diferencia en la manera de corregir los datos observados y entender los resultados de las anomalías. (Li y Götze, 2001).

A nivel mundial las aplicaciones geodésicas globales requieren tres superficies diferentes para ser definidas claramente. Ellas son (Figura 10): la superficie topográfica muy irregular de la Tierra, una superficie de referencia geométrica o matemática que supone la Tierra formada por capas homogéneas concéntricas y sometida a las fuerzas de la gravedad que tienden a hacerla esférica y a la fuerza centrífuga que tiende a ensancharla en el ecuador, donde ésta es máxima (siendo nula en los polos) llamada elipsoide, y el geoide, que es la superficie de potencial gravitatorio que coincide con el nivel medio del mar. (Li y Götze, 2001).

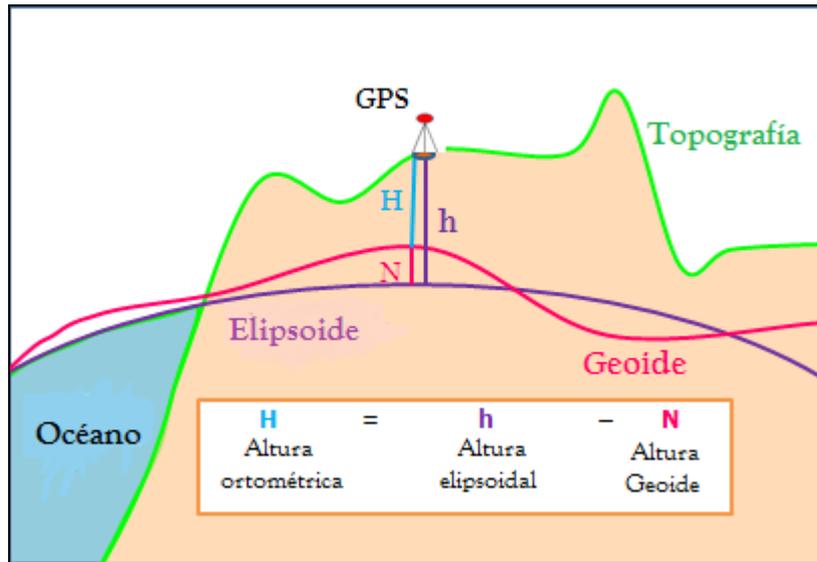


Figura 10. Diferencia entre las superficies topográficas.

3.4. Unidades de la gravedad

La unidad de aceleración de la gravedad, 1 cm/s^2 , es llamado Gal. (Telford, 1995). Se le dio este nombre en honor a Galileo Galilei, quien fue el primero en medir la aceleración de la gravedad. La aceleración gravitacional de la Tierra varía entre 976 y 983 Gal.

Las pequeñas variaciones registradas en la gravedad se dan como resultado de las diferentes densidades presentes en las estructuras del subsuelo. En gravimetría las mediciones son generalmente expresadas en miligales.

$$1 \text{ mGal} = 0.001 \text{ Gal}$$

$$1 \text{ cm/s}^2 = 1 \text{ Gal}$$

$$1 \text{ m/s}^2 = 0.01 \text{ Gal}$$

$$1 \text{ g.u.} = 0.1 \text{ Gal}$$

3.5. Correcciones de los datos gravimétricos

Datos de gravedad en bruto se ven afectados por una amplia variedad de fuentes de diferentes amplitudes, períodos y longitudes de onda que generalmente enmascaran variaciones de la gravedad de interés geológico o geofísico. Como resultado, las observaciones de campo se procesan para minimizar estos efectos

extraños. Estos procesos de conversión se conocen como reducciones o correcciones de los datos de gravedad, para conseguir la mayor exactitud. (Hinze, Aiken *et al.* 2005; H.O. Seigel, 1995).

3.5.1. Corrección por Latitud

Tanto la rotación de la Tierra y su protuberancia ecuatorial producen un aumento de la gravedad con la latitud. La aceleración centrífuga debido a la rotación de la Tierra es máxima en el ecuador y cero en los polos; se opone a la aceleración de la gravedad, mientras que el achatamiento polar aumenta la gravedad en los polos marcando el geode más cerca del centro de masa de la Tierra (Telford *et al.* 1990). De esta manera la aceleración de la gravedad varía en unos 978 Gal en el ecuador a 983.2 Gal en los polos.

La gravedad teórica que representa la masa, forma, y rotación de la Tierra es la descrita por la aceleración gravitacional en la superficie del elipsoide terrestre que se ajusta mejor. El último elipsoide recomendado por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica es el Geodetic Reference System 1980 (GRS80) (Moritz, 1980). Para la gravedad teórica *g_{teo}* sobre este elipsoide en la latitud (sur o norte) φ , es

$$g_{teo} = \frac{ge(1 + k \sin^2 \varphi)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

donde *g_{teo}* (GRS80) es la gravedad en la latitud φ

ge 978032.67715 mGal, es el valor de la gravedad en el ecuador ($\varphi=0$)

k 0.001931851353 deriva constante

e 0.0066943800229 excentricidad

Con esta fórmula se calcula el valor teórico de la gravedad en cualquier latitud.

3.5.2. Corrección por marea

Se trata de corregir un efecto producido por la atracción gravitatoria de la Luna y del Sol sobre el agua y la Tierra. Causando deformaciones que generan cambios periódicos en la magnitud de la gravedad, dependiendo de la latitud, la hora, el

mes o la época del año. Un ciclo de mareas terrestres representa un cambio en gravedad de aproximadamente 0.3 mGal. (Dobrin, 1980; H. O. Seigel, 1995).

El gravímetro Scintrex Autograv CG-5, realiza la corrección por mareas terrestres estándar utilizando la latitud, longitud y la diferencia entre la hora UTC. Basado en la fórmula de Longman 1959. (Scintrex, 2012)

3.5.3. Corrección por deriva instrumental

La deriva instrumental es la variación de los valores de gravedad en función del tiempo, la cual se debe a la fatiga del resorte o desgaste mecánico – operacional del instrumento, lo que provoca un comportamiento no perfectamente elástico y la eventual influencia de la temperatura ambiente en su respuesta. Para corregir la deriva instrumental se emplea la siguiente fórmula:

$$Deriva (mGal) = \frac{t' * \Delta Lecturas}{T} \quad (Ecuación 6)$$

donde t' es el tiempo transcurrido en minutos para cada estación

$\Delta Lecturas$ es la lectura final (base) menos la lectura inicial (base)

T es el tiempo transcurrido en minutos del circuito

De lo anterior se obtiene que la lectura corregida por deriva de cada estación viene dada por:

$$Lectura corregida por deriva (mGal) = Lectura Estación + Deriva \quad (Ecuación 7)$$

Luego de realizar esta corrección se observa como la lectura (inicial y final) tomadas en la estación base a diferentes horas son iguales.

3.5.4. Corrección de Aire Libre

La corrección de aire libre se realiza para corregir cambios de elevación entre las estaciones para reducir las lecturas a un solo nivel de referencia (Götze 2001). Se calcula mediante la relación que se muestra a continuación:

$$Ch = -(0.3087691 - 0.0004398 \sin^2 \varphi)h + 7.2125 \times 10^{-8} h^2 \quad (Ecuación 8)$$

donde φ es la latitud de la estación

h es la altura elipsoidal de la estación en metros

La corrección tendrá signo positivo si la estación se encuentra por encima del nivel de referencia tomado para compensar la disminución de la gravedad debido al mayor distanciamiento del centro de la Tierra y tendrá signo negativo en caso contrario.

3.5.5. Corrección de Bouguer

La corrección de Bouguer representa la atracción gravitatoria de la capa de la tierra entre la estación y el datum vertical, en otras palabras entre el elipsoide y la estación (Hinze, Aiken *et al.* 2005). Para tener en cuenta el efecto de la curvatura de la Tierra, la ecuación de una losa horizontal se sustituye por la fórmula para un casquete esférico de forma cerrada con un radio de 166.7 km (LaFehr, 1991b), esta viene dada por (Ecuación 9):

$$C_b = 2 \pi G \sigma (\mu h - \lambda R) \quad (\text{Ecuación 9})$$

donde μ y λ son coeficientes dimensionales definidos por LaFehr, R es el radio de la Tierra ($R_0 + h$) en la estación donde R_0 es el radio medio de la tierra, h es la altura sobre el elipsoide, G es la Constante de Gravitación Universal y σ es la densidad del material que constituye el casquete esférico.

Si la estación medida se encuentra por encima del nivel de referencia se resta C_b , ya que esto elimina el efecto atractivo que tiene dicho estrato sobre la estación; en caso contrario se debe sumar para contrarrestar el déficit del efecto atractivo que tiene la estación por la carencia de dicha lámina sobre la misma. El signo de esta corrección es opuesto al de la corrección de aire libre.

3.5.6. Corrección Atmosférica

La masa de la atmósfera terrestre está incluida en la masa de la Tierra sólida cuando se determina la gravedad teórica elipsoidal a partir de la Fórmula Internacional de Gravedad (Moritz 1980). Sin embargo, la masa de la atmósfera sobre una estación gravimétrica no afecta la gravedad medida en una estación,

asumiendo que la atmósfera se compone de capas esféricas homogéneas. El efecto de la gravedad de un modelo de masa atmosférica sobre una estación (ver Ecuación 10) se puede calcular a la precisión de 0,01 mGal hasta una altura de 10 000 m con la ecuación (Wenzel, 1985)

$$C_{atm} = 0.874 - 9.9 \times 10^{-5} h + 3.56 \times 10^{-9} h^2 \quad (\text{Ecuación 10})$$

donde se da el efecto atmosférico en mGal y h es la altura de la estación en metros. El efecto atmosférico aumenta la anomalía gravimétrica aproximadamente 0.86 mGal a una altura de 100 m y 0.77 mGal a 1000 m (Hinze, Aiken et al. 2005)

3.5.7. Corrección Topográfica

La corrección topográfica toma en cuenta la atracción de las masas situadas por encima y por debajo del nivel h de la estación. Esta corrección siempre se suma a la gravedad observada ya que las masas que se encuentran por encima de la estación ejercen una atracción que se opone a la gravedad (Dobrin, 1980).

El uso eficiente y eficaz de estas correcciones requiere modelos de elevación digitales integrales y potencia de cálculo de programas especializados para realizar este tipo de corrección.

3.6. Anomalía de Bouguer

La anomalía de Bouguer representa el residuo que queda después de un proceso de filtración de todas las posibles componentes del modelo de la Tierra. Por tanto, será el resultado de heterogeneidades en la densidad debido a la geología local.

$$AB = g_{obs} - g_{teo} + Ch - Cb + C_{topo} + C_{atm} \quad (\text{Ecuación 12})$$

donde g_{obs} es la gravedad observada

g_{teo} (GRS80) es la gravedad teórica

C_{atm} es la corrección atmosférica

Cb es la corrección de Bouguer

Ch es la corrección de aire libre

C_{topo} es la corrección topografía

3.7. Separación regional – residual

En todo estudio gravimétrico es necesario realizar la separación regional – residual al mapa de Anomalía de Bouguer, ya que éstos manifiestan un efecto combinado de dos fuentes: una regional y otra de carácter local o residual. Las anomalías regionales se caracterizan por ser de gran amplitud y representan la configuración estructural de la corteza terrestre. Por otro lado, las distorsiones locales de menor amplitud y extensión, están asociadas a estructuras o eventos del subsuelo relativamente muy cercanos a la superficie y que son conocidas como anomalías residuales (Rodríguez, 1974).

3.8. Análisis Espectral

Spector (1968) y Spector y Grant (1970) desarrollaron un método de determinación de la profundidad espectral 2-D. Su modelo asume que existe una distribución no correlacionada de fuentes en un número de intervalos de profundidad en la columna geológica. El más importante de estos precursores es el análisis de Fourier o expansión de la serie armónica de una serie de tiempo dado de datos. De acuerdo con el teorema de Fourier, cualquier función $f(t)$ que satisface ciertas restricciones puede ser expresada como una suma de número infinito de términos sinusoidales. En el caso general, $f(t)$ puede representar cualquier función como el desplazamiento, velocidad de las partículas, aceleración, temperatura, precipitación, velocidad del viento, la intensidad del campo geomagnético, etc. Para estudiar las características del campo residual, los datos se transforman primero desde el espacio al dominio de frecuencia y luego se analizan sus características de frecuencia (Mangset 2011).

El logaritmo neperiano de un espectro de potencia, en función del número de onda se representa por la secuencia de tres pendientes, donde la pendiente de cada línea permite estimar la profundidad del centro de masa de cada fuente (Figura 11). La pendiente más alta se asocia con la profundidad de las masas que generan la anomalía regional, la segunda con la profundidad de las fuentes residuales y la tercera con las fuentes más superficiales. Realizando un ajuste lineal por mínimos cuadrados en cada tramo, se obtiene la pendiente de la curva y con esto se estima el valor de la profundidad en cada caso (Spector y Grant, 1970).

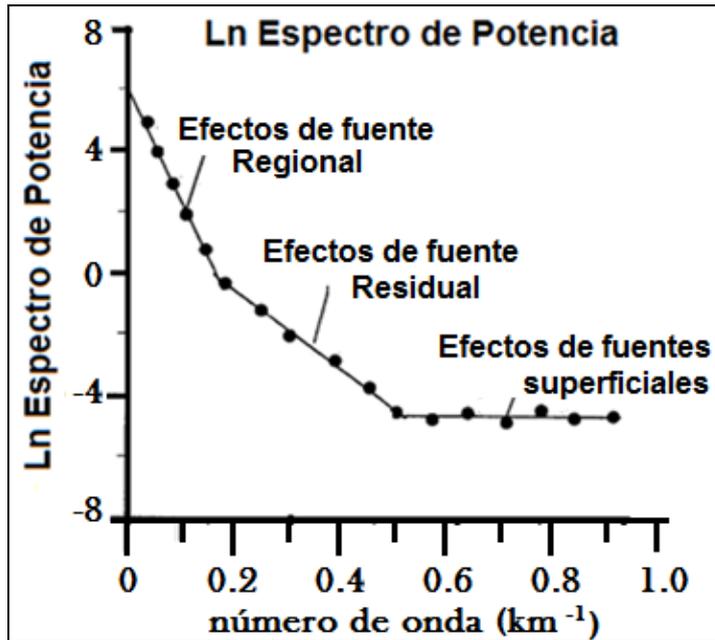


Figura 11. Logaritmo natural del espectro de potencia de la transformada de Fourier de la anomalía de Bouguer, en función del número de onda. La tendencia lineal en las longitudes de onda corta corresponden al comportamiento de la componente regional de la anomalía y la tendencia lineal en las longitudes de onda intermedias y altas corresponden a la componente residual de la anomalía (modificado de Spector y Grant, 1970).

La unidad de frecuencia es en ciclos por kilómetro, la relación correspondiente puede ser expresada como (Ecuación 13):

$$z = - \frac{m}{4\pi} \quad (\text{Ecuación 13})$$

donde **m** es la pendiente de la línea recta mejor ajustada.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Funcionamiento del Gravímetro AUTOGRAV Scintrex CG-5

El AutoGrav (Figura 12) es un medidor de gravedad automatizado basado en un microprocesador que tiene un rango de medición de más de 8000 mGals y una resolución de lectura de 0,001 mGal. Esto le permite al equipo ser utilizado tanto en investigaciones de campo detallado como a escala regional. Dado que el sensor está hecho de cuarzo fundido no magnético, la AutoGrav no se ve afectada por las variaciones de campo magnético (SCINTREX Limited, 2012).

Los errores en las lecturas de gravedad en una estación dada no sólo son afectados por factores instrumentales (ruido electrónico, efectos de inclinación, errores en la lectura, errores en la nivelación del instrumento, voltaje inestable, cambio de propiedades elásticas y errores en la función de calibración) sino también por otros de naturaleza ambiental (mareas terrestres, temperatura y presión atmosférica, sismicidad, estabilidad y ruido del sitio, viento). Estos errores son de magnitud variable en el tiempo y deben ser corregidos para asegurar la repetibilidad de las mediciones.



Figura 12. AUTOGRAV Scintrex CG - 5.

El instrumento obtiene una lectura promediando de forma continua una serie de una muestra por segundo. Las lecturas individuales se muestran directamente en mGals. Los datos se almacenan en la memoria y se puede enviar a una impresora, módem, grabadora o PC (SCINTREX Limited, 2012).

El equipo incluye un software para calcular las correcciones por mareas terrestres, las cuales son aplicadas directamente a los datos medidos. Las correcciones calculadas a partir del software del equipo, permiten compensar los efectos de gravedad de la luna y el Sol, hasta en $\pm 3 \mu\text{Gal}$.

4.2. Funcionamiento del GPS

El método usado para la adquisición de los datos en las estaciones base fue el estático, el cual consiste en estacionar un equipo receptor GNSS R8 model 2 marca Trimble (Figura 13) en un punto que se le quiere conocer sus coordenadas, durante un largo periodo de tiempo (mayor a 20 minutos).



Figura 13. Receptor GNSS R8 model 2 marca Trimble.

Es necesario destacar que los datos para las estaciones bases fueron procesados con la técnica de posicionamiento PPP (Precise Point Positioning, por sus siglas en inglés), permitiendo de esta forma obtener posiciones muy precisas en un marco dinámico y de referencia mundial como el ITRF (International Terrestrial Frame, por sus siglas en ingles). Los datos se organizaron en un formato universal denominado RINEX, (por sus siglas en inglés "Receiver Independent Exchange"). Este es un fichero de texto orientado a almacenar de manera estandarizada medidas proporcionadas por receptores de sistemas de navegación por satélite, como GPS, GLONASS, EGNOS, WAAS o Galileo.

Por otra parte, la adquisición de los datos en las estaciones móviles fue el estático rápido, el cual consiste en estacionar un equipo receptor GNSS referencia (estación base) en un punto con coordenadas conocidas y a partir de éste se calculan las coordenadas de uno o varios puntos mediante un post-procesamiento de datos. Sobre estos puntos se instalan equipos móviles durante periodos de observación menores a 15 minutos (Figura 14). Es necesario resaltar que el tiempo de observación debe ser simultáneo, tanto para la base como los móviles, a fin de reducir las ambigüedades producidas por las longitudes de las líneas bases generadas entre los puntos.



Figura 14. Navegador GPS marca Trimble Geo-Explorer. Bípode para el receptor móvil.

4.3. Adquisición de datos gravimétricos

Un levantamiento gravimétrico tiene como objetivo determinar las diferencias de gravedad con respecto a una estación base que ya tiene un valor de gravedad absoluta. Se realizó un levantamiento gravimétrico en los estados Apure, Barinas, Mérida, Táchira, Trujillo y Zulia. Durante 5 campañas de 21 días cada una, siendo un total de aproximadamente tres meses y medio en el periodo 2013 - 2014, completándose un total de 658 estaciones gravimétricas ordinarias (Figura 15) adquiridas con una distancia de separación de 3 a 4 km con líneas bases menores a los 20 kilómetros, por lo que el tiempo de adquisición de las coordenadas en las estaciones gravimétricas ordinarias fue de 10 a 15 minutos continuos dependiendo de la distancia entre la base receptora GNSS y el receptor móvil (menores a 10 km. 10 min. Mayores a 10 km. de 15 a 20 min.) con un intervalo de captura de datos: 1 segundo, máscara de elevación: de 0 a 15 grados (dependiendo de las obstrucciones presentes alrededor) y una cantidad mínima de 4 satélites.

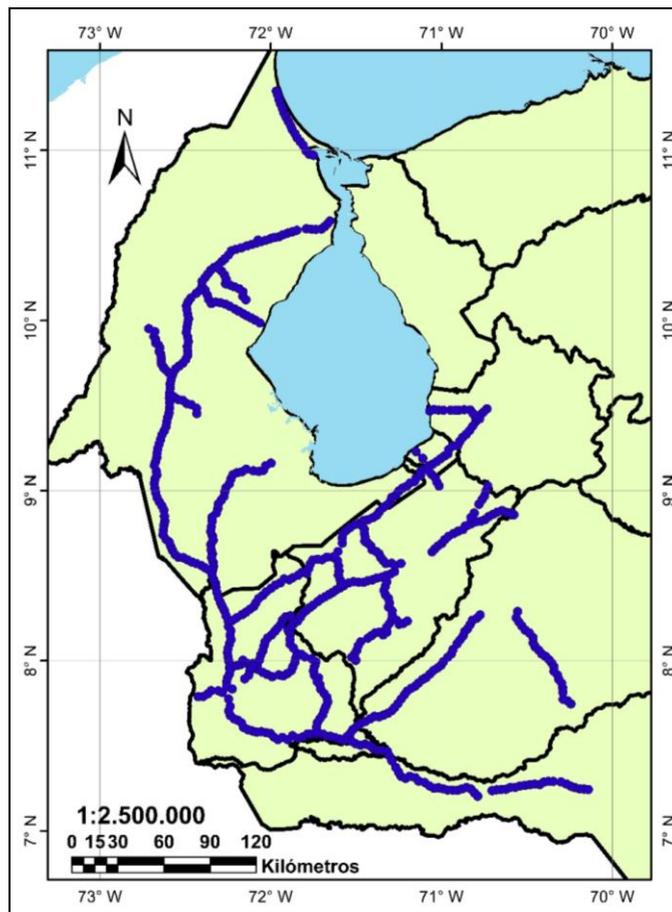


Figura 15. Mapa de estaciones gravimétricas ordinarias, adquiridas durante el desarrollo de esta investigación.

La adquisición de los datos se realizó con base en el método de *circuito cerrado*, el cual consiste en referir las lecturas de un grupo de estaciones a una sola estación base. El proceso se puede visualizar en la Figura 16: se efectúa una lectura en la estación base A y se prosigue con la medición de las estaciones (1, 2 y 3), previamente establecidas, que conforman el circuito y finalmente se retorna a la estación base para realizar el cierre de las mediciones (ANH, 2009).



Figura 16. Método de circuito cerrado; en donde A es la estación base en la cual se realiza la apertura - cierre del circuito y 1,2, 3 son estaciones gravimétricas ordinarias.

Los instrumentos utilizados para las mediciones fueron 4 gravímetros (Figura 17) marca Scintrex CG-5 AUTOGRAV pertenecientes 1 gravímetro UCV (serial 130941109), 1 gravímetro PDVSA-INTEVEP (serial 051200159) y 2 gravímetros PDVSA-SERVICIOS (seriales 080640411 y 080640412). También se usaron receptores GPS marca Trimble R8 model 2 (seriales 9602 (Base) / 9593(Móvil)) propiedad de PDVSA - Intevep, donde se manejaron coordenadas UTM, con un *datum* en WGS84 (World Geodetic System).

El gravímetro realiza sesenta lecturas durante un minuto, lo que equivale a un ciclo en el cual determina la media y desviación estándar, así como el tiempo en el que se hizo la medición. En este proyecto se programó el gravímetro para que realizara tres ciclos en las estaciones ordinarias y cinco ciclos en las estaciones base. Adicionalmente, fueron descartadas y remedidas las lecturas que no cumplieren con los parámetros óptimos de calidad, como lo son: tilts comprendidos dentro de un rango de ± 10 arcos segundos y desviación estándar $< 0,100$ mGal.

En cada estación se realizó la corrección topográfica local hasta 50 m, teniendo en cuenta dos direcciones (N-S) de 0 a 2 m, cuatro direcciones (N-S-E-O) de 2 a 16 m y seis direcciones (N-S-E-O-NE-SO) de 16 a 50 m.



Figura 17. Gravímetros utilizados en la adquisición.

4.3.1. Bases gravimétricas

Las primeras mediciones de precisión en Venezuela se llevaron a cabo en 1970 en el marco de la Red de Normalización de la Gravedad Latinoamericana. Las estaciones fueron establecidas y medidas en 51 puntos, utilizando tres gravímetros Lacoste & Romberg y tomando 309 observaciones puntuales.

Una nueva red de estaciones gravimétricas base (RGNV 82) se estableció en 1982. Se instalaron 26 estaciones la mayoría de ellos idénticos a RGNV 70.

Las estaciones gravimétricas absolutas en Venezuela fueron levantadas en el Programa de Gravedad Absoluta en Sur América, por el Institut für Erdmessung (IFE), University of Hannover, Germany, este programa se desarrolló en tres campañas de mediciones de gravedad absoluta en los años 1988 y 1991. Las mediciones se concentraron en Venezuela en el año 1988.

En principio, se estableció una estación base IAGBN (International Absolute Gravity Basestation Network) ubicada en Sta. Elena Uairen, estado Bolívar. Con el propósito de monitorear los cambios de gravedad con el tiempo. Posteriormente el 13 de septiembre de 1988 se inicia el levantamiento de cinco estaciones en Caracas, Maracaibo, Mérida, Ciudad Bolívar y Puerto Ayacucho (Figura 18). Utilizando un gravímetro absoluto JILAG – 3 (Drewes, 1991).

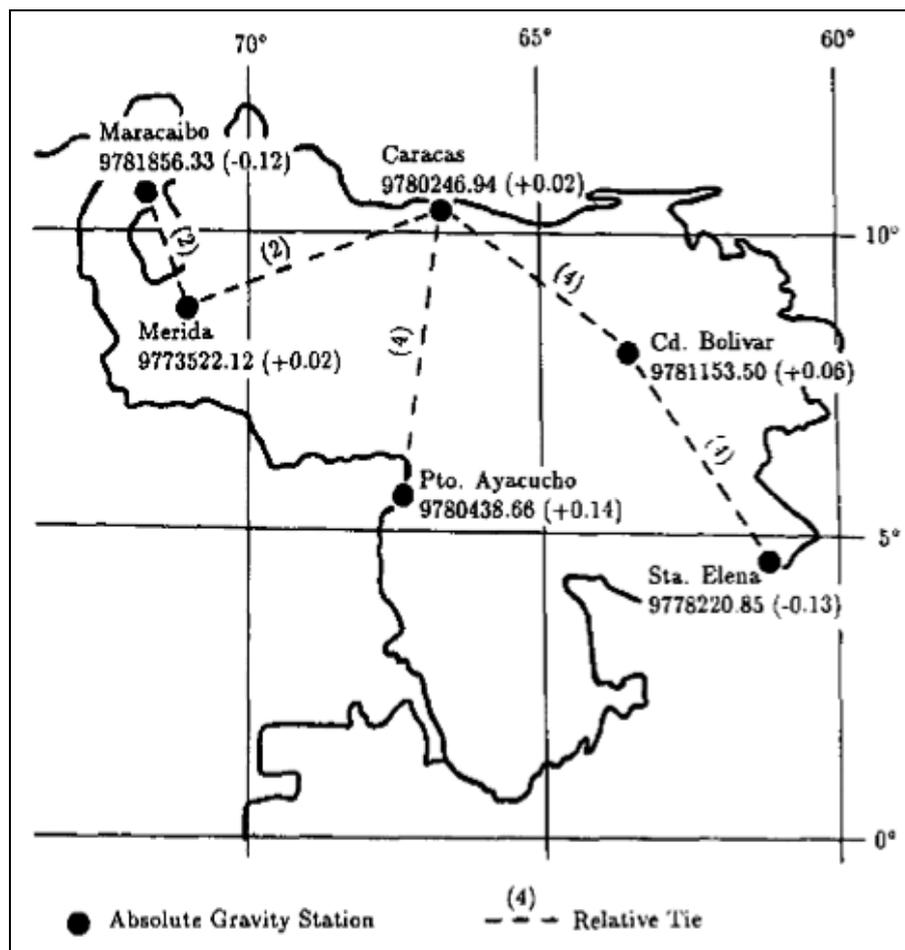


Figura 18. Estaciones de gravedad absoluta (Drewes, 1991).

A partir del levantamiento de las estaciones gravimétricas absolutas, se realizó la vinculación con RGNV 82, usando tres gravímetros Lacoste & Romberg (Drewes, 1991).

En el marco del desarrollo del proyecto GIAME se utilizaron los valores de gravedad de la Tabla 1, para obtener la gravedad absoluta de las bases levantadas y utilizadas en esta investigación.

Tabla 1. Estaciones de gravedad absoluta (Drewes, 1991).

No.	Notes	Station	Name	Gravity	RMSE
1	□	962467	Ccs-Cagigal	9780246.95	±0.07
2	⊞	970070	Ccs-Maiquetia	9782309.10	±0.10
3	⊞	975070	Ccs-Sta. Inés	9780510.43	±0.08
4	⊞	970082	Caracas (Ccs)	9780612.93	±0.07
5		970182	Pto. Fijo	9782507.46	±0.14
6	⊞	970282	Maracaibo	9781601.95	±0.09
7		970382	Carupano	9782090.78	±0.12
8		970482	Barcelona	9781357.22	±0.09
9		970582	Barquisimeto	9780247.08	±0.10
10		970682	Sta. Barbara	9780451.94	±0.11
11		970782	Tucupita	9781132.94	±0.09
12	●	970882	Mérida	9777363.09	±0.26
13		970982	V. de Pascua	9781460.63	±0.09
14		971082	Calabozo	9781501.63	±0.09
15		971182	San Tomé	9780510.85	±0.10
16	⊞	971282	Cd. Bolivar	9781367.41	±0.07
17		971382	San Antonio	9779278.06	±0.16
18		971482	San Fernando	9781234.33	±0.08
19		971582	Caicara	9781114.66	±0.08
20		971682	Elorza	9780666.60	±0.09
21		971782	Vergarena	9780045.37	±0.11
22		971882	El Dorado	9780433.16	±0.10
23	⊞	971982	Pto. Ayacucho	9780458.99	±0.07
24		972082	Uriman	9779348.84	±0.16
25		972182	Manapare	9780209.15	±0.11
26	●	972282	Sta. Elena	9778227.97	±0.22
27		972382	San Fernando	9780184.82	±0.11
28		972482	Ocamo	9779736.12	±0.14
29		972582	San Carlos	9780076.46	±0.12

Notes: □ = absolute gravity station, ⊞ = local base tied to absolute gravity station, ● = destroyed station, not identical with but replaced by absolute gravity station.

Durante la adquisición se levantaron 12 estaciones gravimétricas base a partir de 3 estaciones de segundo orden, la primera (Figura 19) ubicada en la Plaza Bolívar de Valera, estado Trujillo cuya gravedad absoluta es 977972.851 mGal la cual se encuentra vinculada a la estación del Aeropuerto de Valera, estado Trujillo.

Cada una de las bases utilizadas en esta investigación fue levantada en el marco del proyecto GIAME. De esta manera se garantiza la uniformidad en los parámetros de adquisición y calidad de las medidas obtenidas.



Figura 19. Base 9000 de segundo orden ubicada en la Plaza Bolívar de Valera, estado Trujillo.

La segunda ubicada en frente de la sede de Autodesarrollo, Universidad del Zulia, estado Zulia con una gravedad absoluta correspondiente a 978185.604 mGal. Este punto llamado PLuz (Figura 20) fue levantado en el 2004 siendo una excéntrica del vértice de Maracaibo de primer orden situado en la Facultad de Ingeniería - Universidad del Zulia, Azotea del Edificio de Profesores - Laboratorio de Geodesia Física y Satelital. El punto de orden A fue demolido debido a remodelaciones en el edificio.



Figura 20. Base 0.309 llamado PLuz 2004.

La tercera (Figura 21) ubicada vía Guasualito a unos 12 kilómetros aproximadamente de Pedraza, estado Táchira, sobre un puente al lado derecho de la carretera con una gravedad absoluta correspondiente a 978001.321 mGal el cual se encuentra vinculado a la estación de primer orden de Santa Inés, Caracas.

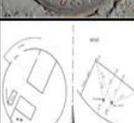


Figura 21. Base 9709013 llamada Punta de Piedra.

Adicionalmente, se utilizaron 5 bases adquiridas previamente dentro del proyecto GIAME por Zona 1 (9712013, 9711013, 9709013) y Zona 2 (9000, 9002) y una base proporcionada por la Universidad del Zulia (0.309). Siendo un total de 18 estaciones bases (Tabla 2) utilizadas en el desarrollo de esta investigación. Para facilitar la ubicación de estas bases a futuro, se realizaron fichas detalladas de cada una. (Ver Apéndices).

Tabla 2. Estaciones gravimétricas base de la región occidental de Venezuela – Zona 3.

Estación	Nombre	Longitud (g°.g)	Latitud (g°.g)	Altura (m)	Gravedad (mGal)	Año y Estado	Descripción	FOTOS
0,301	Mucuchies R.	-70,9203	8,7478	2941,43	977471,750	2007 Mérida	Plaza San Rafael de Mucuchies	
0,302	Mun. S. Cristóbal	-72,2091	7,7869	987,27	977830,257	2001 Táchira	El vértice se encuentra ubicado en el sector Nor-Este de la redoma Los Agustinos, aproximadamente a 15 m al norte del busto de Rómulo Gallegos.	
0,303	USB	-71,7752	8,0287	1486,29	977761,680	2000 Táchira	Ubicado dentro del Cementerio nuevo de Pregonero	
0,304	Canaguá	-71,4600	8,1257	1470,19	977763,288	2000 Mérida	Plaza Bolívar de Canaguá, jardín frente a la prefectura	
0,305	BM 317 - A	-71,2412	8,5465	1147,35	977801,132	1968 Mérida	Plaza Justo Briceño, Av. Bolívar San Pío X. Frente al Colegio San Pío X	

Estación	Nombre	Longitud (g°.g)	Latitud (g°.g)	Altura (m)	Gravedad (mGal)	Año y Estado	Descripción	FOTOS
0,306	Dalia	-72,3141	8,2671	65,338	978003,068	1970 Táchira	De la Fría vía Machiques se recorren aprox. 5 km hasta la Alcabala de Tres Islas, se cruza a la izquierda por 6,6 km hasta la Finca La Dalia. El vértice se encuentra después de la V aquera	 
0,307	Mucujepe N° 8R	-71,5853	8,6640	124,433	977980,635	2012 Mérida	Cerca de la Asociación CMI Taxi Mucujepe	 
0,308	INT 005	-70,9129	9,3418	22,901	978013,090	Zuñia	Zona La Recría. Red de PDVSA	 
0,309	Pluz	-71,6238	10,6737	16,502	978185,604	2004 Zuñia	Se encuentra ubicado en frente de la sede de Autodesarrollo, LUZ	 
0,310	Comparador C1	-71,6243	10,6755	13,98	978186,018	Zuñia	Salida Cecilio Acosta LUZ	 
0,311	RMEC9A	-71,7282	10,9590	1,49	978201,995	1967 Zuñia	Ubicado entre la avenida 3 y calle 21. Plaz a El Calvario. El Moján	 
0,312	Machiques pp	-72,4921	10,0723	80,77	978129,850	Zuñia	Se encuentra ubicado en la intersección de la entrada hacia Machiques	 
0,313	CIDA	-70,8790	8,7863	3600	977350,658	Mérida	Se encuentra ubicado en el sótano del domo Schmidt del Observatorio CIDA	 
9711013	Regven Guasualito	-70,6141	7,2475	119,559	978069,490	1995 Apure	Desde la entrada de Guasualito, (cruce las vías Elorza-Guasualito-El Amparo), se recorren 15,2 Km por la vía a Elorza hasta llegar al sitio denominado San Pablo de los Cocos, al pasar la Escuela, al lado derecho de la vía se encuentra el vértice	 
9712013	BM T1 1960	-70,5698	8,3538	180,26	978028,982	1960 Barinas	Se encuentra ubicado en la Plaza Bolívar de Ciudad Bolívar	 
9709013	BM AT 99	-71,5478	7,5331	174,04	978001,305	1962 Táchira	Se encuentra ubicado sobre un puente del lado derecho vía Guasualito	 

Estación	Nombre	Longitud (g°.g)	Latitud (g°.g)	Altura (m)	Gravedad (mGal)	Año y Estado	Descripción	FOTOS
9000	Valera	-70,6080	9,3149	544	977972,851	Trujillo	Plaza Bolívar de Valera	 
9002	Pan 12-b	-70,7662	9,4380	113,083	978017,348	2011 Trujillo	En la población de Sabana de Mendoza subiendo por la Av. Bolívar, hasta llegar a la Plaza Bolívar, inmediatamente al pasar la misma cruzar a la izquierda en la calle Padilla, luego se recorren unos 650m, hasta encontrar del lado derecho de la entrada al Hospital José Vasallo Cortez; entrando por este hay una plazoleta y al inicio esta el vértice	  

En la Figura 22 se muestra la distribución de las estaciones base, que tienen como principal objetivo el levantamiento y unificación de la red gravimétrica en la región occidental de Venezuela.

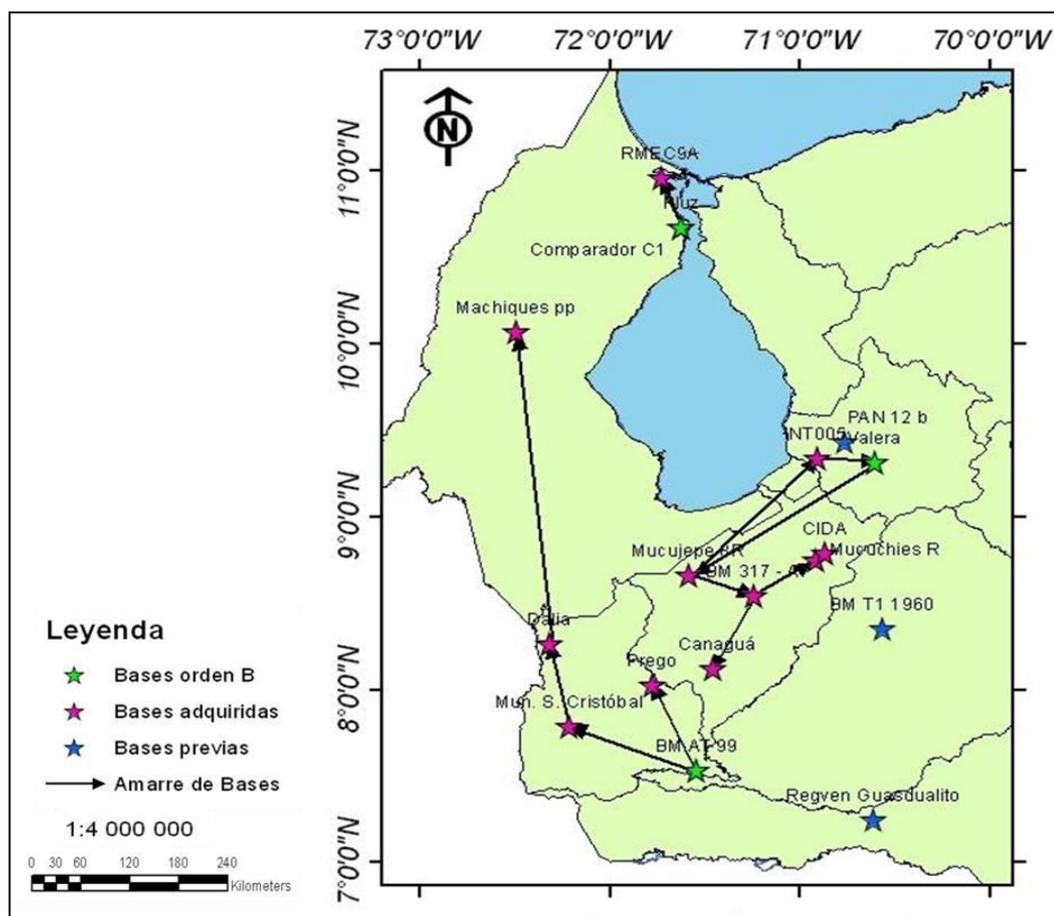


Figura 22. Mapa de estaciones gravimétricas base de la región occidental de Venezuela – Zona 3.

4.3.2. Verificación de puntos REGVEN y monumentos de PDVSA

Durante el levantamiento de estaciones gravimétricas ordinarias se realizó la verificación de 8 puntos REGVEN y 2 monumentos de PDVSA (Tabla 3), así como también, 18 bases levantadas en puntos materializados que se muestran en la Tabla 2.

El conjunto de puntos REGVEN y monumentos de PDVSA, son puntos materializados sobre la superficie terrestre, cuyas posiciones temporales están definidas y orientadas en un sistema de coordenadas. Su importancia está dada por la necesidad de tener y ubicar puntos o vértices cuya posición sea conocida con mucha exactitud por quienes desarrollen investigaciones que ameriten de información geodésica básica.

Tabla 3. Verificación de puntos REGVEN en la zona 3 – proyecto GIAME.

Estación	Nombre	Longitud (g°.g)	Latitud (g°.g)	h_GRS80 (m)	Gravedad (mGal)	Año y Estado	Descripción	FOTOS
3009	San Rafael	-70,8746	8,7699	3113,594	977446,172	2007 Mérida	Plaza San Rafael de Mucuchies. Regven Municipal	
3040	Regven San Antonio	-70,4640	8,1358	126,928	978043,047	1995 Barinas	De Ciudad Bolívar (calle 8 con Av. 7) via Mijaguas se recorren 28 Km Hasta el sitio de San Antonio, donde se encuentra una entrada engranzada al lado izquierdo que conduce al fundo Las Delicias. El vértice se encuentra ubicado a la izquierda del portón. Orden B	
3055	Regven Sucre	-70,9089	8,0989	208,841	978014,938	2012 Barinas	Frente a la junta parroquial Nicolas Pulido Chameta. Regven Municipal. Orden C	
3072	Regven Suripá	-71,2554	7,7466	236,925	978010,573	1995 Apure	Se encuentra en la cima de una colina del lado izquierdo via Pedraza	
3082	Regven Zamora	-71,4933	7,6167	179,460	978011,971	2012 Apure	Ubicado en la Plaza Zamora. Regven Municipal. Orden C	
3092	Regven Chururú	-72,0023	7,5725	278,343	977938,950	1998 Táchira	Se encuentra en el cruce, al N-W de la policía y al S-W del puente que está sobre el Rio Chururu. Desde el puente al punto hay 200 m. El punto es una placa de 7 cm empotrada en la carretera. Orden C	
3214	Regven Mer - 7	-71,5156	8,4641	508,240	977921,038	Mérida	Ubicado en el desvío hacia Chiguará cerca de la Acabala	
3378	Alpuf	-72,1633	10,1414	15,235	978130,967	Zulia	Red de PDVSA Geo Serven Bloque DZO Estación Alpuf	

Estación	Nombre	Longitud (g°.g)	Latitud (g°.g)	h_GRS80 (m)	Gravedad (mGal)	Año y Estado	Descripción	FOTOS
3507	Nº 13 Oleoducto LVT / GFT - EMS	-70,5103	7,2675	114,536	978072,449	2002 Apure	Red de PDVSA GNB Destafrent Nº17 - (Puesto Totumito)	
3623	Nº A281 BIS R	-70,8279	8,8416	4039,007	977263,382	1968 Mérida	Pico el Águila - Al Lado del Monumento Orden C. BM	

4.4. Procesamiento de datos gravimétricos

De manera esquemática, se puede representar la metodología de procesamiento de datos gravimétricos empleada en este estudio:

Datos crudos

Datos crudos descargados, mediante el programa STUCTIL a través de la conexión establecida con un cable RS-232C desde la PC al puerto COM1 en el gravímetro. De esta manera se obtienen tres tipos de archivo:

- 1) ***.sgd** es un archivo de formato de datos geofísicos de la Scintrex. Es un archivo binario.
- 2) ***.smp** contiene datos crudos sin procesar registrados a 6Hz desde la gravedad, Tilt Y, Tilt X y sensores de gravedad.
- 3) ***.txt** la versión de texto de los datos descargados. Pueden ser vistos en Microsoft NOTEPAD.EXE o aplicación wordpad.exe.

GNSS Solutions

Se utiliza para calcular las alturas ortométricas y transformar de coordenadas geográficas a coordenadas UTM.

Integración de datos

Se integraron datos del Perfil Central, Perfil Andes Sur, Zona 2 de Gravimetría pertenecientes al proyecto GIAME procesados por Dianeidy Gil (UCV), Kathryn Pérez (UCV) y Tupure Carora procesados por el Dr. Javier Sánchez Rojas (FUNVISIS). Con la finalidad de obtener mayor detalle y resolución en los resultados. Los datos restantes se procesaron bajo la misma metodología de los datos previos durante el desarrollo de este proyecto. Siendo un total de 714 datos gravimétricos terrestres (Figura 23).

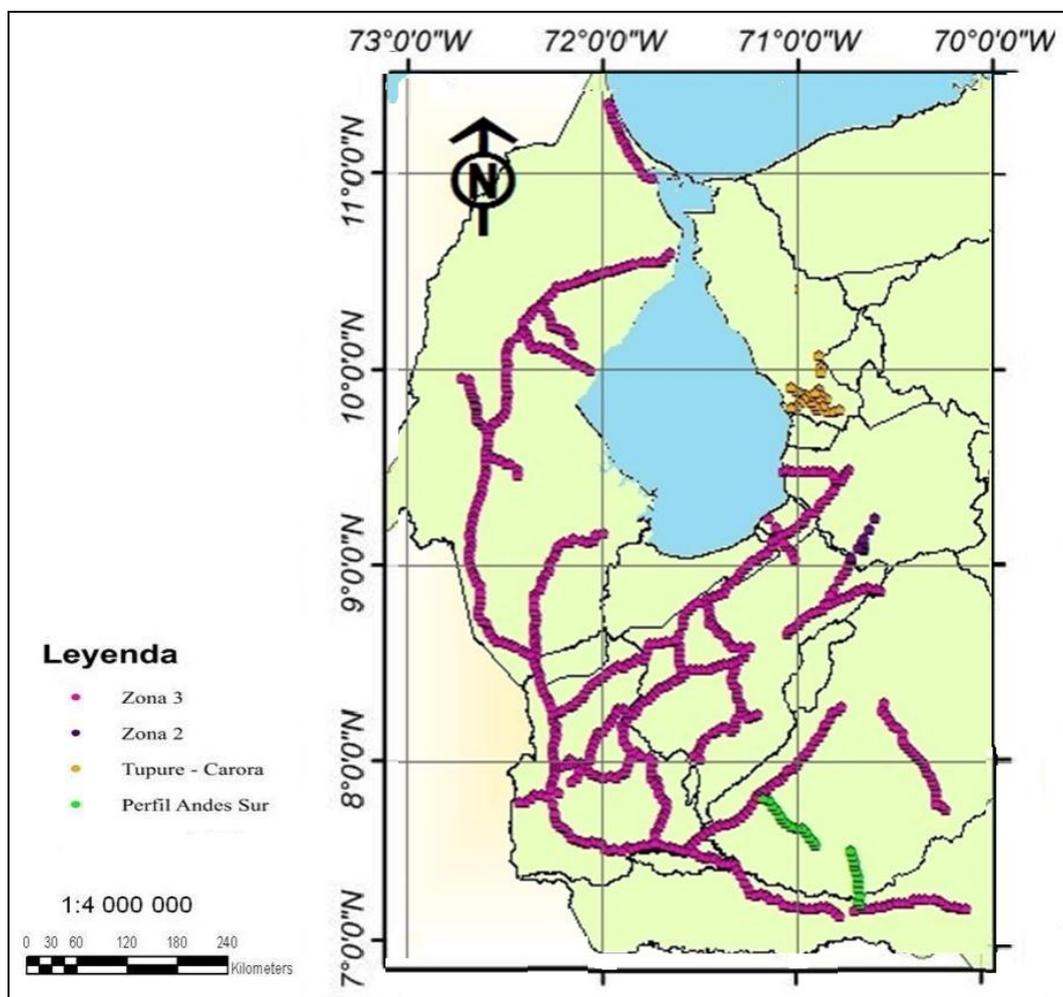


Figura 23. Mapa de integración de estaciones gravimétricas ordinarias.

MapInfo

Sistema de información geográfica (SIG) se usará para georeferenciar las estaciones de medición y mapas generados con datos de campo.

Corrección por deriva

Se calcula la variación por minuto de la gravedad entre los tiempos de apertura y cierre de los circuitos de medición.

Tabla 4. Procesamiento en Excel.

Fecha	Estación	Altura	Gravedad (mGal)	SD	Tiempo (hh:mm:ss)	Tiempo Transcurrido (mm)	Deriva (mg)	Lectura corregida por Deriva (mg)	Dif. g	Gravedad Abs (mGal)	Gravedad Abs Prom (mGal)
04/09/2013	0.305	1147.350	3395.876	0.015	06:59:55	0	0.0000	3395.8760	0.0000	977801.132	977801.1320
			3395.892	0.011	07:02:00	3	-0.0020	3395.8900	0.0140	977801.146	
			3395.891	0.012	07:03:06	4	-0.0027	3395.8883	0.0123	977801.144	
04/09/2013	3238	750.186	3472.149	0.019	08:40:31	101	-0.0679	3472.0811	76.2051	977877.337	977877.3380
			3472.154	0.017	08:42:36	103	-0.0692	3472.0848	76.2088	977877.341	
			3472.150	0.011	08:43:42	104	-0.0699	3472.0801	76.2041	977877.336	
04/09/2013	3239	980.194	3428.094	0.01	09:00:44	121	-0.0813	3428.0127	32.1367	977833.269	977833.2702
			3428.097	0.014	09:02:49	123	-0.0827	3428.0143	32.1383	977833.270	
			3428.099	0.029	09:03:55	124	-0.0833	3428.0157	32.1397	977833.272	
04/09/2013	3240	797.484	3456.155	0.037	09:18:15	139	-0.0934	3456.0616	60.1856	977861.318	977861.3121
			3456.149	0.034	09:20:20	141	-0.0948	3456.0542	60.1782	977861.310	
			3456.148	0.042	09:21:26	142	-0.0954	3456.0526	60.1766	977861.309	
04/09/2013	3241	695.239	3474.676	0.021	09:38:50	159	-0.1069	3474.5691	78.6931	977879.825	977879.8301
			3474.681	0.022	09:40:55	161	-0.1082	3474.5728	78.6968	977879.829	
			3474.690	0.037	09:42:01	163	-0.1096	3474.5804	78.7044	977879.836	
04/09/2013	3242	483.449	3515.047	0.028	09:57:04	178	-0.1196	3514.9274	119.0514	977920.183	977920.1792
			3515.045	0.031	09:59:09	180	-0.1210	3514.9240	119.0480	977920.180	
			3515.040	0.052	10:00:15	181	-0.1216	3514.9184	119.0424	977920.174	
04/09/2013	3243	243.551	3558.258	0.06	10:19:07	200	-0.1344	3558.1236	162.2476	977963.380	977963.3711
			3558.243	0.025	10:21:12	202	-0.1358	3558.1072	162.2312	977963.363	
			3558.251	0.032	10:22:18	203	-0.1364	3558.1146	162.2386	977963.371	
04/09/2013	3244	166.048	3568.649	0.386	11:10:59	251	-0.1687	3568.4803	172.6043	977973.736	977973.7447
			3568.668	0.273	11:13:04	254	-0.1707	3568.4973	172.6213	977973.753	
			3568.660	0.027	11:14:10	255	-0.1714	3568.4886	172.6126	977973.745	
04/09/2013	0.305	1147.350	3396.141	0.049	13:05:29	366	-0.2460	3395.8950	0.0190	977801.151	977801.1320
			3396.125	0.036	13:07:34	368	-0.2473	3395.8777	0.0017	977801.134	
			3396.124	0.016	13:08:40	369	-0.2480	3395.8760	0.0000	977801.132	

Gravedad teórica

Se calculó mediante la ecuación 5.

Corrección de aire libre

Se estableció como punto de referencia el nivel medio del mar.

Se calculó mediante la ecuación 8.

Corrección de Bouguer

Densidad promedio utilizada es 2.67 gr/cm³.

Se calculó mediante la ecuación 9.

Corrección atmosférica

Se calculó mediante la ecuación 10.

Corrección topográfica

La corrección topográfica se realizó mediante el programa DbGrav, Beta Versión 2.1, July 2007, Sabine Schmidt, Can Kiel. Basado en el re muestreo de SRTM90.

Anomalía de Bouguer

Se calculó mediante la ecuación 12.

Separación regional - residual

Se generaron mapas a través del programa Oasis Montaj GEOSOFT, el cual es un software de mapeo y procesamiento de datos.

Los datos se filtraron por medio de un filtro gaussiano paso bajo con una longitud de onda de corte 0.01 rad/km. (Figura 24). Con el fin de realizar la separación de las componente regional y residual de la anomalía.

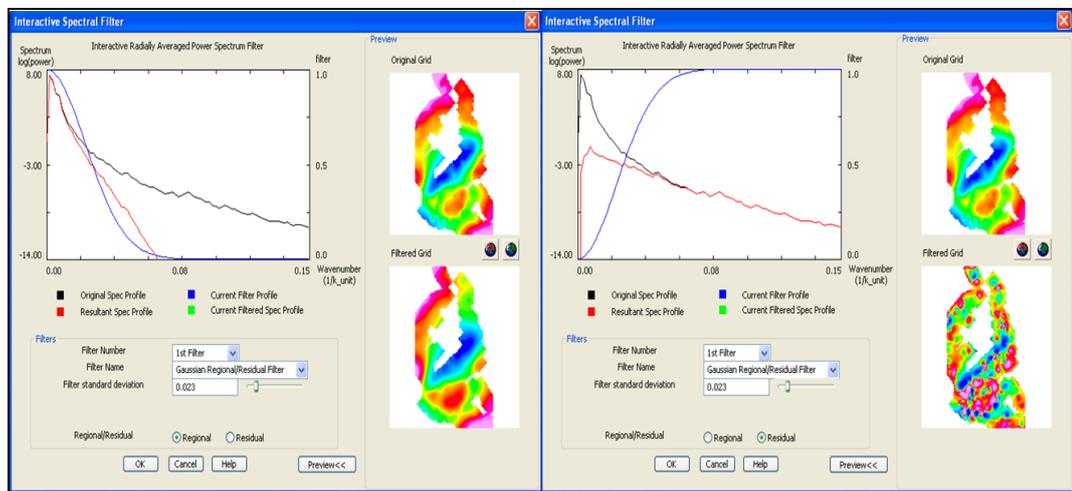


Figura 24. Aplicación de un filtro gaussiano. Separación regional – residual.

Análisis estadístico

Se realizó usando el software estadístico R i386 3.2.0 (Figura 25) para garantizar la calidad y confiabilidad de los datos gravimétricos.

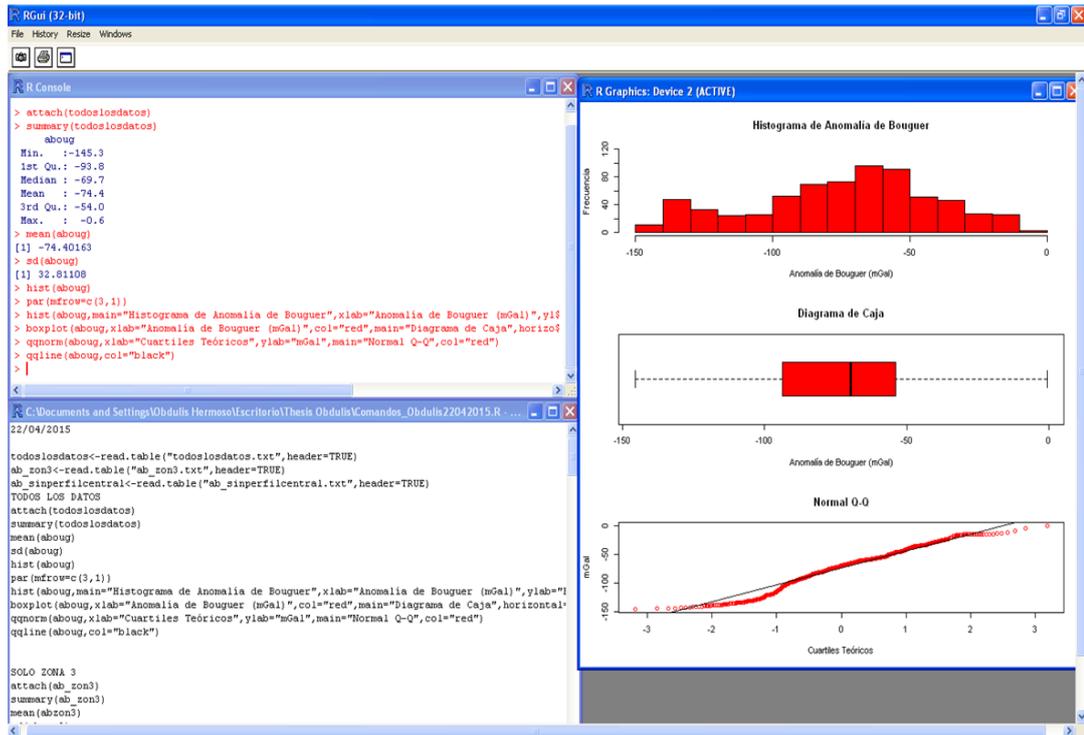


Figura 25. Procesamiento en el software estadístico R i386 3.2.0.

Espectro de potencia

El espectro de potencia se obtuvo con el programa Oasis Montaj GEOSOFT, a partir del mapa de anomalía de Bouguer. El software genera un gráfico de espectro de potencia radialmente promediado (Figura 26.a) y un archivo “.spc” el cual se abrirá en un archivo “.txt” (Figura 26.b). Se exporta a un archivo Excel donde se grafica el logaritmo de potencia vs número de onda (\ln_P vs. CYC/K_{unit}). Se visualiza los cambios de pendiente en el gráfico, se insertan líneas de tendencia y se obtienen las pendientes de las mismas. Se divide cada una de las pendientes entre $4*\pi$ para calcular las profundidades de las fuentes (Figura 27).

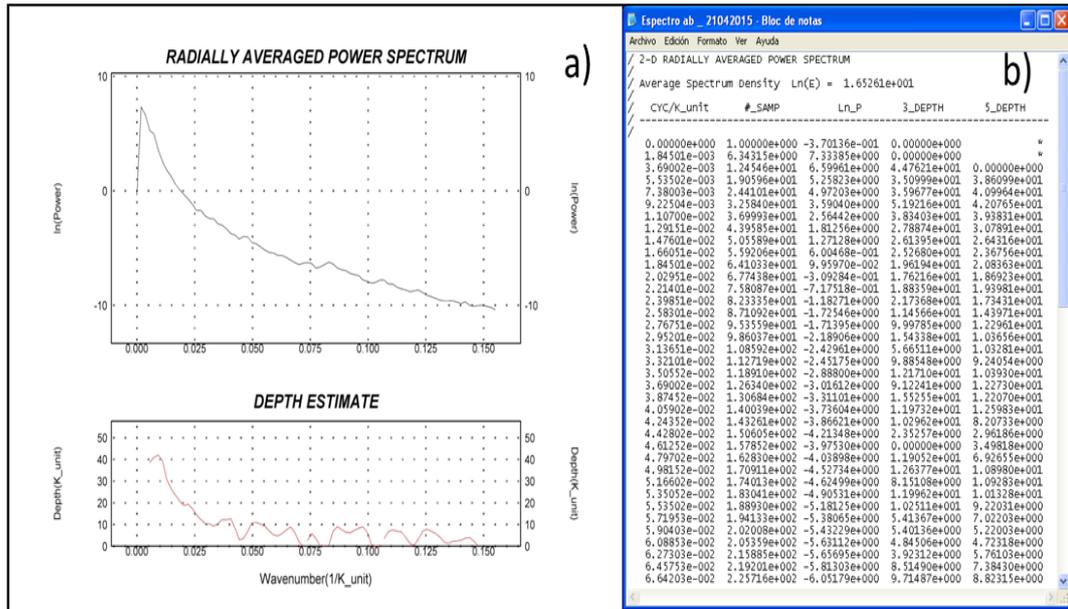


Figura 26. a) Espectro de potencia radialmente promediado. b) Archivo “.spc” el cual se abre en un archivo “.txt”.

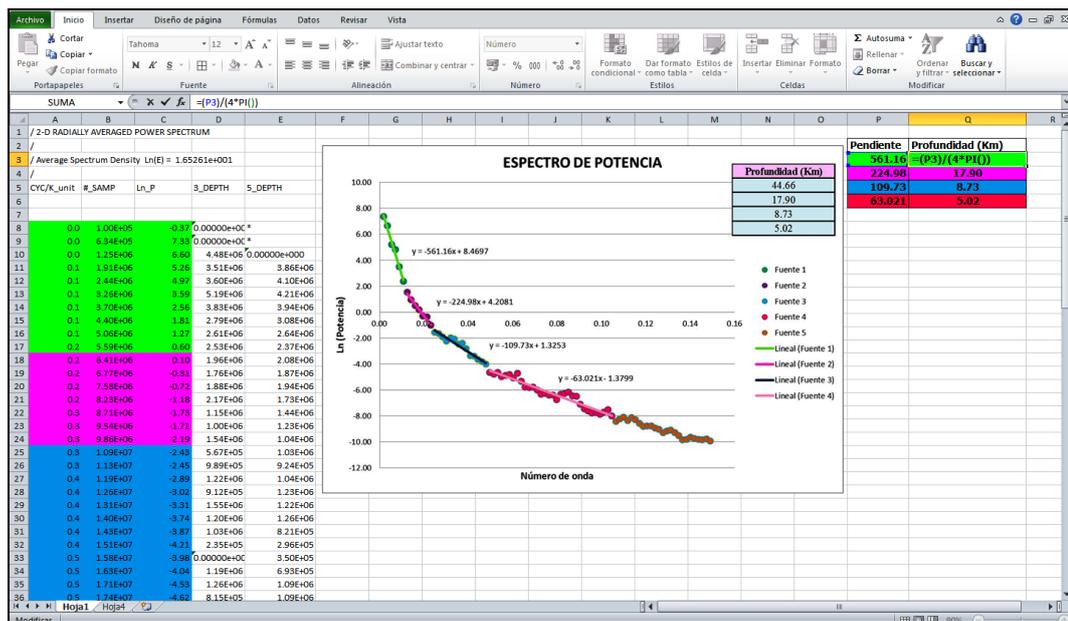


Figura 27. Archivo de procesamiento en Excel donde se calculan la profundidad de la fuente.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Estadística descriptiva

Al finalizar la etapa de adquisición y procesamiento de los datos gravimétricos adquiridos e integrados de la zona en estudio, y con la obtención de los valores de anomalía de Bouguer total se procedió a efectuar un análisis estadístico a través del programa estadístico R, con el fin de validar y verificar la calidad de los datos, determinar el comportamiento de la distribución y estudiar la tendencia central. Para esto, se construyó el histograma de frecuencia, diagrama de caja, bigotes, gráfico Q-Q de la anomalía de Bouguer total, así como el cálculo de los diferentes descriptores estadísticos (media, mediana, varianza, curtosis, coeficiente de asimetría, rango y desviación estándar). Los resultados son resumidos en la Tabla 5. Los resultados obtenidos muestran que la anomalía de Bouguer varía entre -0.6 mGal a -145.3 mGal, con una desviación estándar de 32.05, esto se debe a la heterogeneidad y distribución no uniforme de los datos. Por su parte, la curtosis corresponde a la elevación o achatamiento de la función de distribución, comparada con una distribución normal, en este caso se obtuvo una curtosis de -0.46; el valor de curtosis negativo, sugiere que distribución es de tipo platicúrtica, en otras palabras, una distribución relativamente plana respecto a una distribución normal.

Tabla 5 Estadística descriptiva

Anomalía de Bouguer (mGal)	
Mínimo	-145.3
Máximo	-0.6
Primer cuartil	-93
Mediana	-72.14
Media	-74.84
Tercer cuartil	-55.23
Desviación estándar	32.05
Varianza de la muestra	1027.37
Curtosis	-0.46
Coeficiente de asimetría	-0.26
Rango	144.78
Datos	714

En el histograma de frecuencia (Figura 28) se observa un comportamiento bimodal sesgado a la izquierda, con frecuencias altas en anomalías de baja magnitud, lo cual podría sugerir una respuesta gravimétrica dominada por fuentes regionales. Su media es de -74.84 mGal, los valores mínimos que se repiten con mayor frecuencia son -65 y -135 mGal. De tal forma, se caracterizan dos familias de datos: la primera con valores comprendidos entre -100 y -150 mGal asociados al NO de los Andes de Mérida y la segunda familia desde 0 a -100 mGal relacionada con la Sierra de Perijá y la zona sur de la cordillera andina. El área de estudio se encuentra asociada a una zona de isostasia regional de gran complejidad geológica y estructural, la cual se encuentra influenciada por diversas estructuras y condiciones geológicas en la misma.

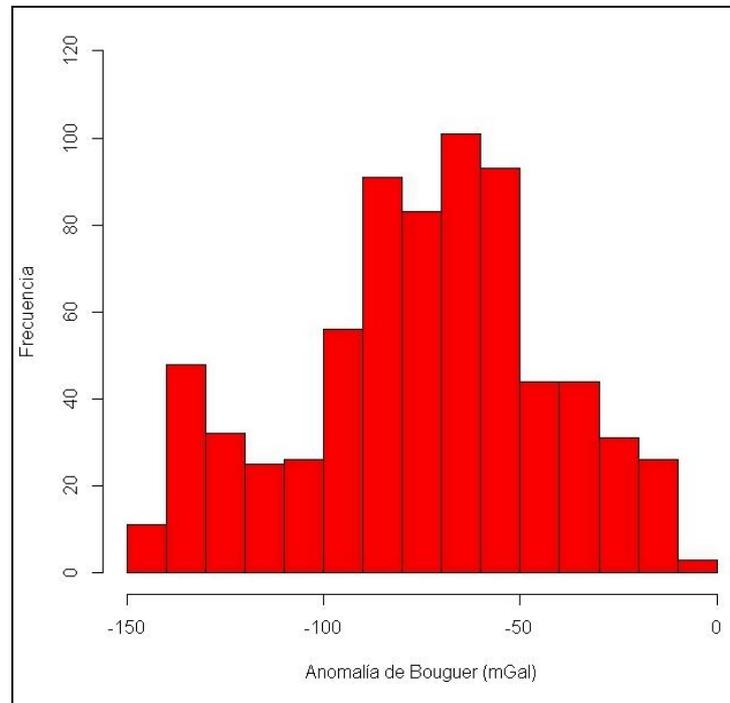


Figura 28. Histograma de frecuencia de la Anomalía de Bouguer.

Por otro lado, se realizó un diagrama de caja y bigotes con la finalidad de observar la existencia de valores aislados que se separen de la población (Figura 29). En el mismo se verifica que no existen datos atípicos o fuera de rango dentro de la población. Validando la calidad del dato adquirido e integrado, los mismos poseen un comportamiento normal, o característico de la zona de estudio, esto coincide con las observaciones de diferentes autores (Arnaiz – R., 2011,2014; Saavedra, 2015).

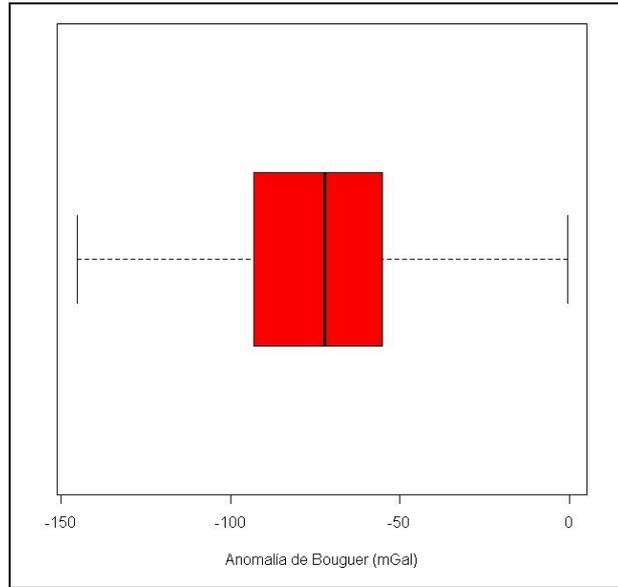


Figura 29. Diagrama de caja y bigotes para los datos de Anomalía de Bouguer.

El gráfico Q-Q de distribución normal (Figura 30), muestra un buen ajuste de los datos, los valores se encuentran dentro de la línea de tendencia, aunque sigue existiendo presencia de heterogeneidad en los datos, se nota que el procesamiento de los mismos, no fue afectado por factores de localización ni de ubicación. Se observa entre los cuartiles teóricos -1 y -2 una curva correspondiente a los valores mínimos, los cuales verifican la existencia de una segunda familia de datos, asociados al NO de los Andes de Mérida.

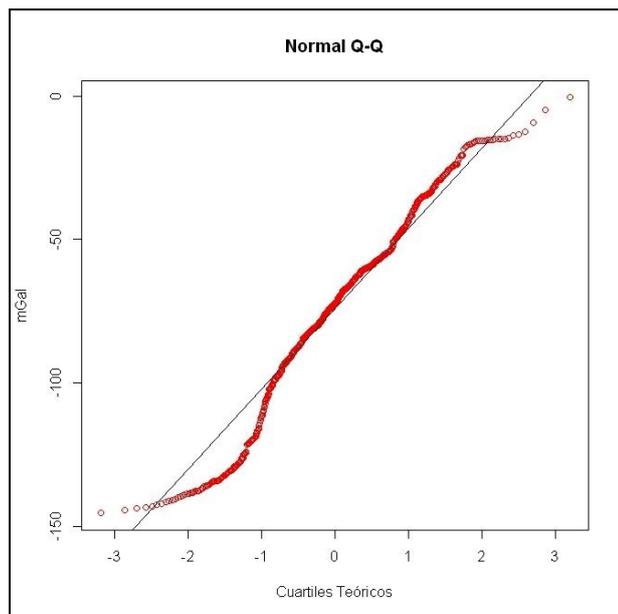


Figura 30. Gráfico Q-Q de los datos de Anomalía de Bouguer.

5.2. Anomalía de Bouguer

El mapa de anomalía de Bouguer fue construido con el programa Oasis Montaj (Geosoft Inc., 2007) mediante el método de interpolación por mínimos cuadrados, el cual genera una superficie de interpolación, en donde se reproducen interacciones, mediante el promedio de la distancia inversa de los datos existentes que se encuentran en un radio específico.

La figura 31 presenta el mapa de anomalía de Bouguer total con un rango de -0.6 a -145.3 mGal, con un comportamiento definido principalmente por estructuras de gran complejidad tectónica y geológica, a profundidad. Para facilitar la comprensión del lector, se realiza a continuación la siguiente descripción del mapa en direcciones N-S y O-E:

Se muestran valores de -27 mGal a 0 mGal, ubicando el punto máximo en el NO, coordenadas (72°W, 11.5°N) con orientaciones de E-O, perteneciente a la respuesta de las rocas pre-Terciarias que afloran en la parte SE de la Península de la Guajira. Adicionalmente, a unos 5 km dirección E de El Moján se encuentra la Isla de Toas constituida por rocas de afinidad volcánica como la Formación La Quinta (Jurásico). La Isla es atravesada de este-oeste por un granito (Paleozoico Tardío) y bajo el dominio del sistema de fallas lateral dextral de Oca Ancón con rumbo general E-O, reflejando la interacción de la Placa Caribe y la de Suramérica (Miller, 1960).

Entre las coordenadas (72°O, 10.5°N; 72.75°O, 8.5°N) se observan valores máximos relativos de hasta -42 mGal, mostrando dos direcciones preferenciales de N45°E y N10°E, los cuales coinciden con las rocas jurásicas de la Formación La Quinta (Arnaiz – R. *et al.*, 2011, 2014). Los gradientes en el flanco sur de la Serranía de Perijá promedian los 0.5 mGal/km y en el flanco norte aproximan los 1.8 mGal/km.

En el NE se muestran valores de -52 a -145.3 mGal, vinculados a una variación en la profundidad de Moho, desde 36 km al N del estado Zulia hasta más de 50 km en los Andes de Mérida (Niu et al., 2007; Schmitz, 2011; Saavedra, 2015). Se visualiza una anomalía de aproximadamente -48 mGal en coordenadas 71.25°O de longitud y 10.25°N de latitud, correspondiente a las Napas de Lara constituida

principalmente por rocas del Paleógeno de la Formación Matatare (Lugo y Mann, 1995; Audemard y Audemard, 2002; Urbani, 2012).

Se observa un mínimo absoluto de -145.3 mGal al NO de los Andes Venezolanos con una dirección N45°E que reflejan la respuesta gravimétrica asociada al depocentro de la cuenca de Maracaibo y la carga flexural de los Andes de Mérida. Este mínimo gravimétrico se encuentra parcialmente desplazado unos 55 km hacia el norte de la cadena andina, demostrando que el sistema de compensación es regional, con un desplazamiento hacia el norte de la flexión (Arnaíz – R. *et al.*, 2011, 2014). Los gradientes en el flanco norandino son de aproximadamente 1.5 mGal/km, referidos a la fuerte pendiente del basamento de la Cuenca de Maracaibo y a su profundidad máxima estimada en más de 10 km (Bonini, 1980; E. Rodríguez, 1983).

En la región SO, se tiene un mínimo de -120 mGal, con dirección N20°O asociado a la respuesta gravimétrica del Macizo de Santander, constituido principalmente por rocas metamórficas de edad Precámbrica a Paleozoica, intrusionadas por plutones del Triásico y Jurásico (Goldsmith, 1971).

Se presenta una anomalía gravimétrica máxima de -50 mGal en coordenada (71.5°O, 8°N), con un gradiente de 0.4 mGal/Km y una dirección preferencial de N45°E, vinculado al Bloque de Caparo el cual está definido por el sistema de fallas Central – Sur Andino y la falla del mismo nombre del bloque. El orógeno, posee un gneis Precámbrico y esquistos del Paleozoico al Mesozoico con rocas plutónicas, flanqueados por el Eoceno al Plioceno por depósitos sinorogénicos al norte y sur (Colletta *et al.*, 1997); mientras que en la coordenada (70.7°O, 9°N) se observa un valor máximo de -38 mGal correspondiente a los granitos del Bloque El Carmen de la Formación Bella Vista del Paleozoico Inferior (Bellizzia y Pimentel, 1995; Díaz y Herrera, 2007).

En el suroeste, se tiene una orientación preferencial de los contornos en N60°E, con valores en esta área que varían entre -50 y 0 mGal con un gradiente de 0.70 mGal/km correspondientes al depocentro de la cuenca Barinas – Apure (Arnaiz – R. *et al.*, 2014).

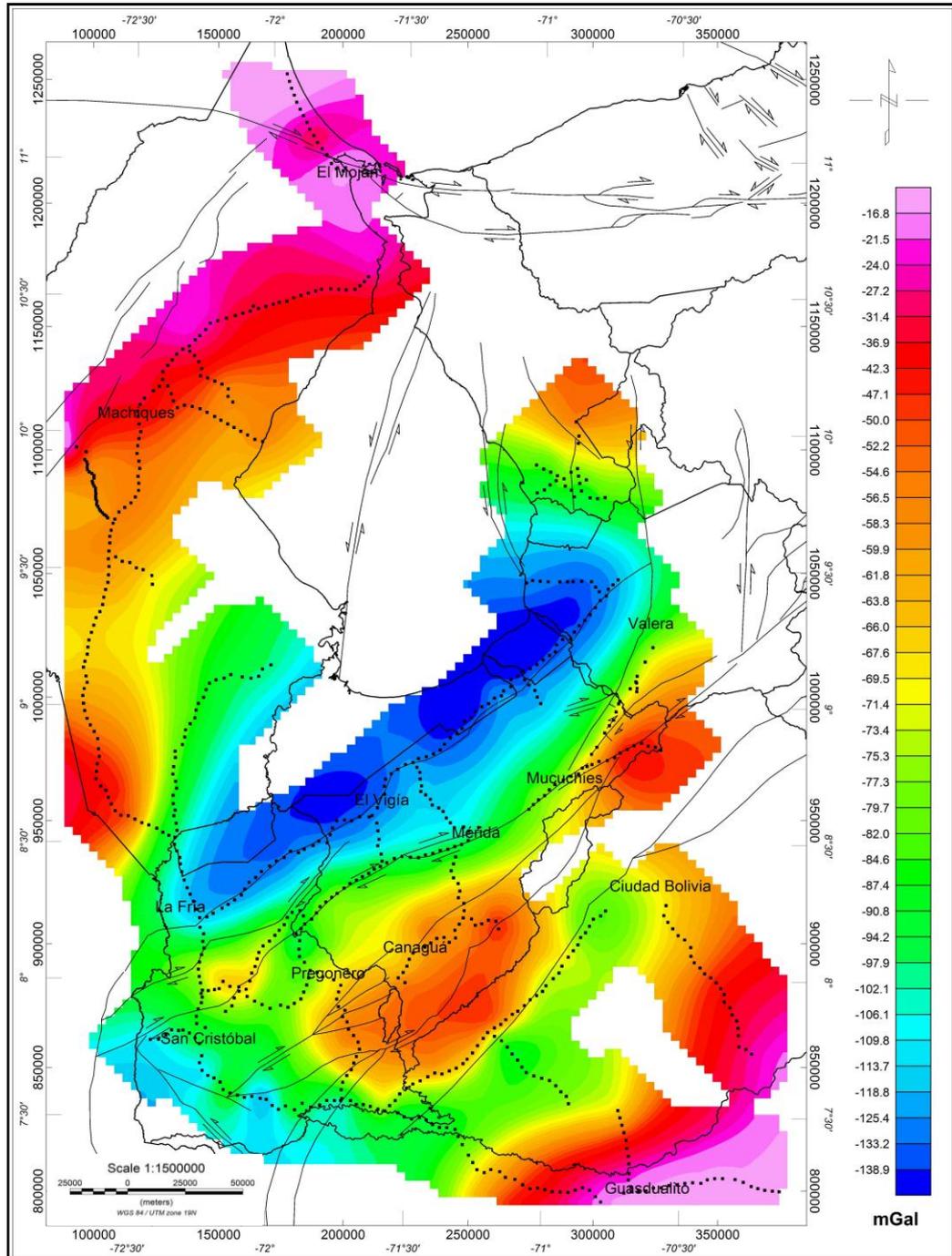


Figura 31. Mapa de la anomalía de Bouguer con líneas negras las fallas cuaternarias basados en Audemard *et al.*, 2005.

5.3. Mapa de la componente regional de la anomalía de Bouguer

Las anomalías regionales se caracterizan por ser de gran amplitud y representan la configuración estructural de la corteza terrestre. En este proyecto se utilizó un filtro gaussiano paso bajo con una longitud de onda de corte de 0.01 rad/km.

El mapa regional de la figura 32 se asemeja de manera general al obtenido para la anomalía de Bouguer total, conservando básicamente las mismas tendencias de las curvas descritas con algunas diferencias principales en las longitudes de onda de las anomalías. Estos varían desde -6 mGal en el norte y sur del mapa hasta unos -132 mGal en la parte central del mismo, correspondiente a las fuentes profundas paralelas a la cordillera andina. De lo anterior, se infiere que la señal gravimétrica completa está mayormente dominada por tendencias de carácter regional. El mapa también muestra ciertas características geológicas en profundidad, principalmente en el Bloque Caparo con respuesta de -60 mGal y gradiente de 0,25 mGal, con dirección N45°E, un adelgazamiento cortical del Moho en la cuenca de Falcón hacia el N (Niu et al., 2007; Schmitz, 2011; Saavedra, 2015; entre otros), y por último un mínimo pronunciado de -132 mGal al NE de los Andes de Mérida y un máximo relativo de -60 mGal en flanco suroriental de dicha Cordillera.

Al oeste de San Cristóbal se encuentra una anomalía de -105 mGal, lo cual refleja el límite impuesto por el sistema de fallas de Bramón. Ese punto representa un punto de inflexión orogénica entre el Macizo de Santander y el Bloque de Caparo.

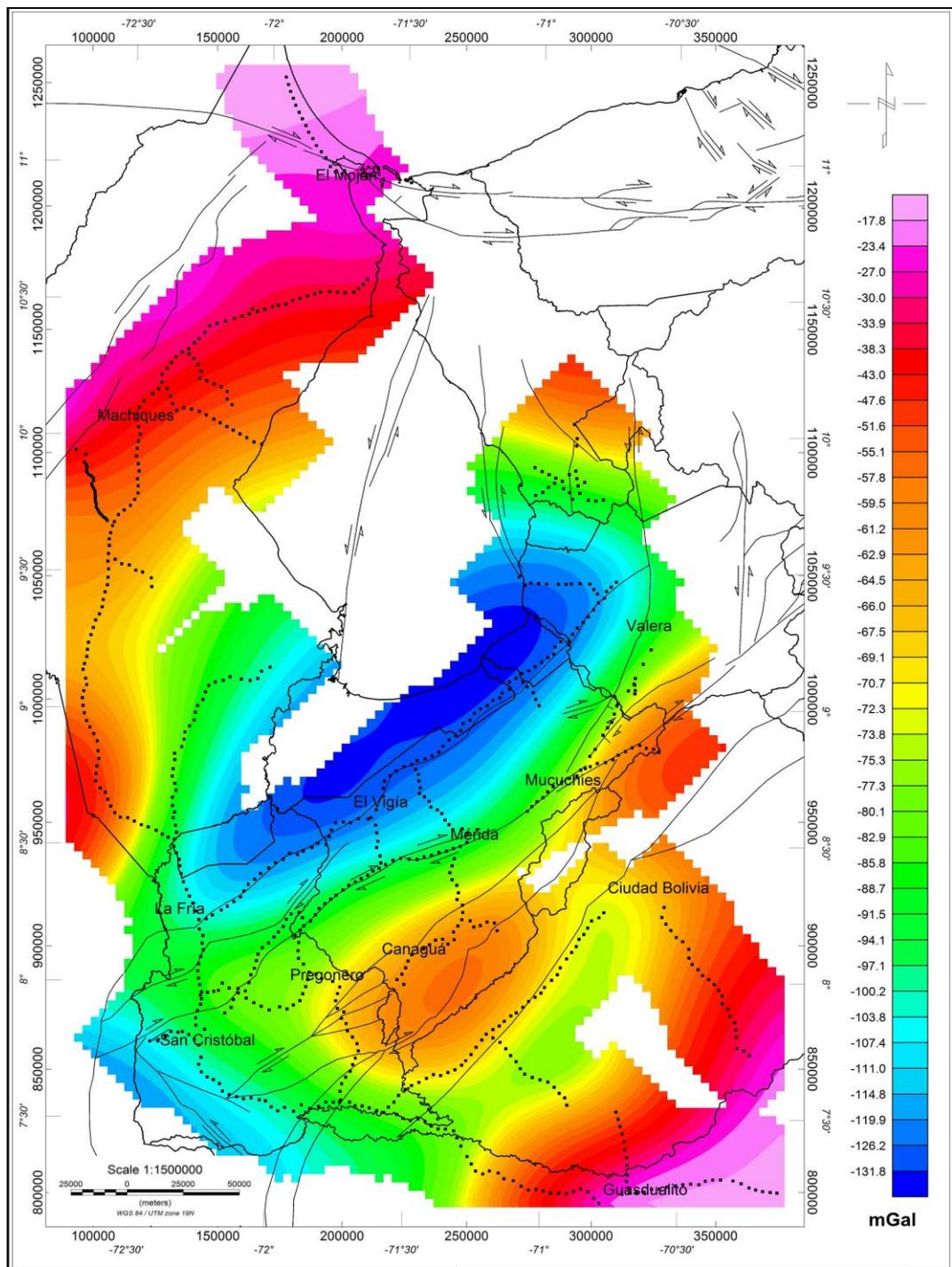


Figura 32. Mapa de la componente regional de la anomalía de Bouguer con líneas negras las fallas cuaternarias basados en Audemard *et al.*, 2005.

5.4. Mapa de la componente residual de la anomalía de Bouguer

La tendencia de los gradientes en la región NO, se debe a la influencia de los granitos intrusivos de la Isla de Toas que son comunes en toda la región, los mismos son del pre – cretáceo y están expuesto en la Sierra de Perijá; donde se tiene un basamento ígneo, el cual sobrepasa los 6 km de profundidad (Garrity *et al.*, 2004).

Se muestran mínimos gravimétricos de dirección NE – SO en las coordenadas (71°O, 7.75°N) asociados al corrimiento de Cerro Azul, en cuyo tope yacen formaciones sedimentarias Cretácicas a Neógenas (Bermúdez, 2010); mientras que al N del corrimiento se delimita un bloque triangular con máximos de 17 mGal, correspondientes al Bloque Caparo, constituido por un basamento Precámbrico metamorfizado representado por la Asociación Bella Vista, cubierto discordantemente por la secuencia conformada por las formaciones Caparo y El Horno.

Hacia el Flanco Norandino se presenta la interferencia de dos (2) sistemas de fallas involucrando el basamento (Figura 34): Los corrimientos del frente Norandino de rumbo NE-SO y el sistema de falla transcurrente sinistral de Pueblo Viejo de rumbo N–S, el cual podría ser la reactivación de una falla preexistente (probablemente de edad Jurásica) con un movimiento transpresivo sinistral, debido a la tectónica andina (Ostos, 1990; Arminio, 1994).

La respuesta gravimétrica de la cuenca de Maracaibo y la influencia de la carga gravimétrica de los Andes de Mérida, con valores negativos de -12.6 mGal en dirección N45°E paralela a la Cordillera Andina. Las fallas Burbusay y de Valera tienen expresión gravimétrica en este mapa, así como la falla de Boconó y la cuenca Las González, coordenadas (70.75°O, 8.5°N) representada por un mínimo de -3.6 mGal.

El basamento de la cuenca de Maracaibo, presenta hacia el N una profundidad somera, mientras que en la parte baja del alineamiento principal da un fuerte buzamiento hacia el SE, alcanzando el tope del basamento a partir de los 5 km (Miller, 1960; Duerto, 2006) donde se observa un mínimo absoluto de -13 mGal y un gradiente de 1.2 mGal/km.

Se observa una tendencia variable entre 15 mGal sobre la Falla de Boconó, lo cual sugiere que la lineación principal podría ser un conjunto de fallas alineadas por compresión con diferentes componentes verticales de movimiento y que es la responsable de gran parte de la exhumación Miocena-Pliocena del orógeno andino.

En la región SO, se observan anomalías positivas de 2.5 mGal con gradiente de 0.35 mGal/km correspondientes a la respuesta residual de la cuenca Barinas-Apure. Posiblemente esto refleje la presencia de altos estructurales generados por los primeros eventos compresivos. Por otro lado, el flanco norte de la cuenca, se desarrolla principalmente en el piedemonte suroriental de Los Andes, con valores de 0.3 y -0.6 mGal, esta respuesta probablemente esté relacionada con la transpresión a lo largo de la falla de Boconó (Díaz y Herrera, 2007).

Al Este de El Vigía se muestra una estructura con respuesta máxima de 1.8 a 5 mGal, asociada a esquistos del Paleozoico al Mesozoico, esta estructura se alinea bien con la Falla de Icotea y posiblemente controle el curso final del río Chama (Bermúdez *et al.*, 2013), además de ser un pequeño límite estructural del bloque conocido como Mesa de Bolívar cuya extrusión se está generando recientemente (0.8 Ma de acuerdo con Bermúdez comunicación personal).

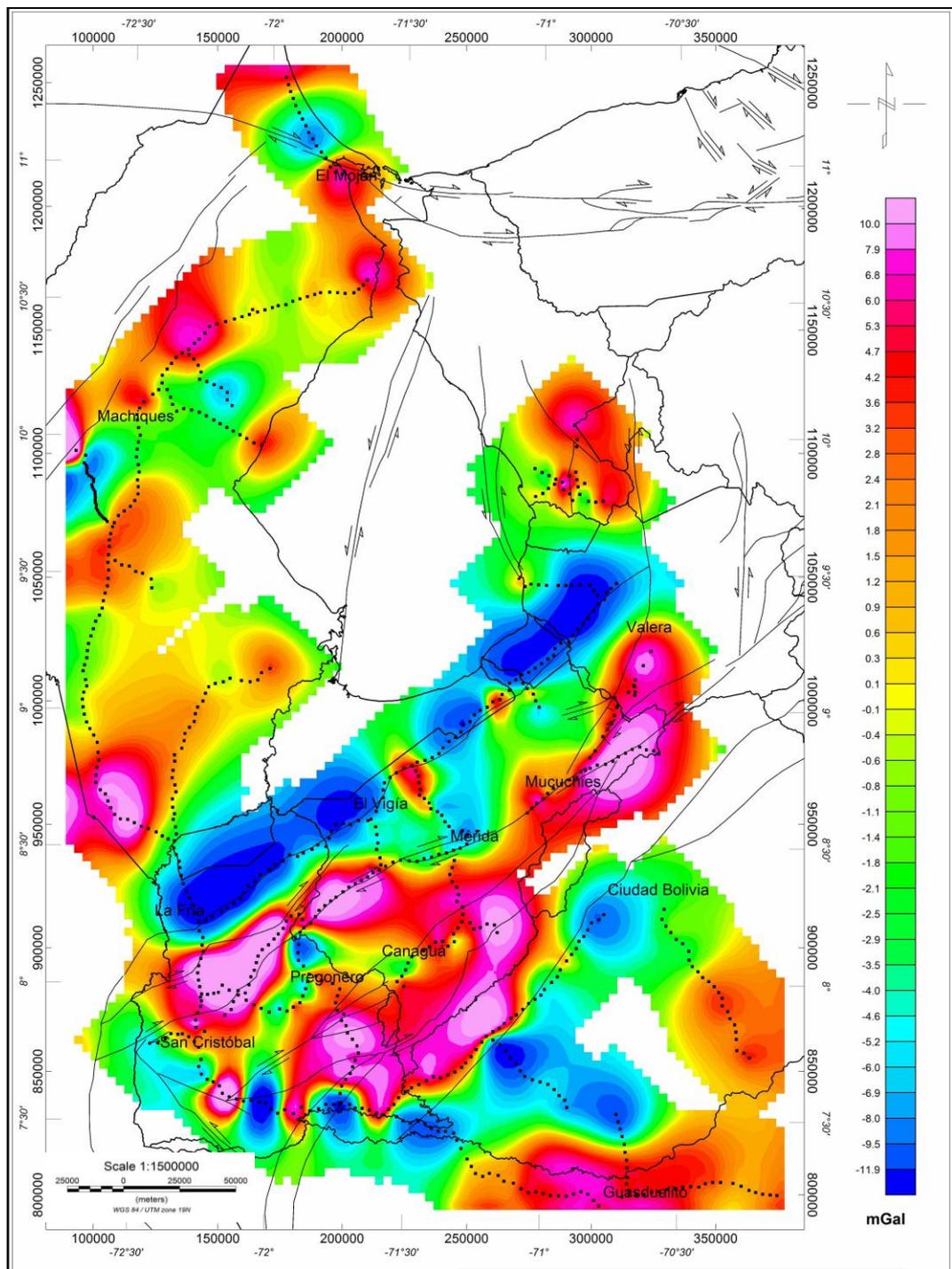


Figura 33. Mapa de la componente residual de la anomalía de Bouguer con líneas negras las fallas cuaternarias basados en Audemard *et al.*, 2005.

5.5. Análisis espectral de los datos gravimétricos

A partir del análisis espectral, se puede establecer el ancho de banda que define el filtro Gaussiano aplicado, para la separación regional – residual de la señal. En el espectro (Figura 34) se observan longitudes de onda larga que van desde $k=0$ rad/km a $k=0.01$ rad/km, correspondientes a fuentes regionales de profundidad 44.66 km asociadas al Moho (Kellogg y Bonini, 1982; Niu *et al.*, 2007; Schmitz *et al.*, 2008). Existe una segunda interfase profunda asociada a longitudes de onda que van de los $k=0.01$ rad/km a $k=0.023$ rad/km, de profundidad 17.90 km, vinculada a la interfase intracortical (E. Rodríguez, 1983). Para fuentes intermedias se tienen valores entre $k=0.023$ rad/km a $k=0.05$ rad/km, con profundidad de 8.73 km atribuidas a sedimentos del Jurásico – Mioceno Inferior (Bonini, 1982). La interfase somera con longitudes de onda corta de $k=0.05$ rad/km a $k=0.12$ rad/km, asociada a sedimentos del Mioceno superior de los bloques Caparo y Cerro Azul con profundidad de 5.02 km (Chacín, 2005; Bermúdez, 2010).

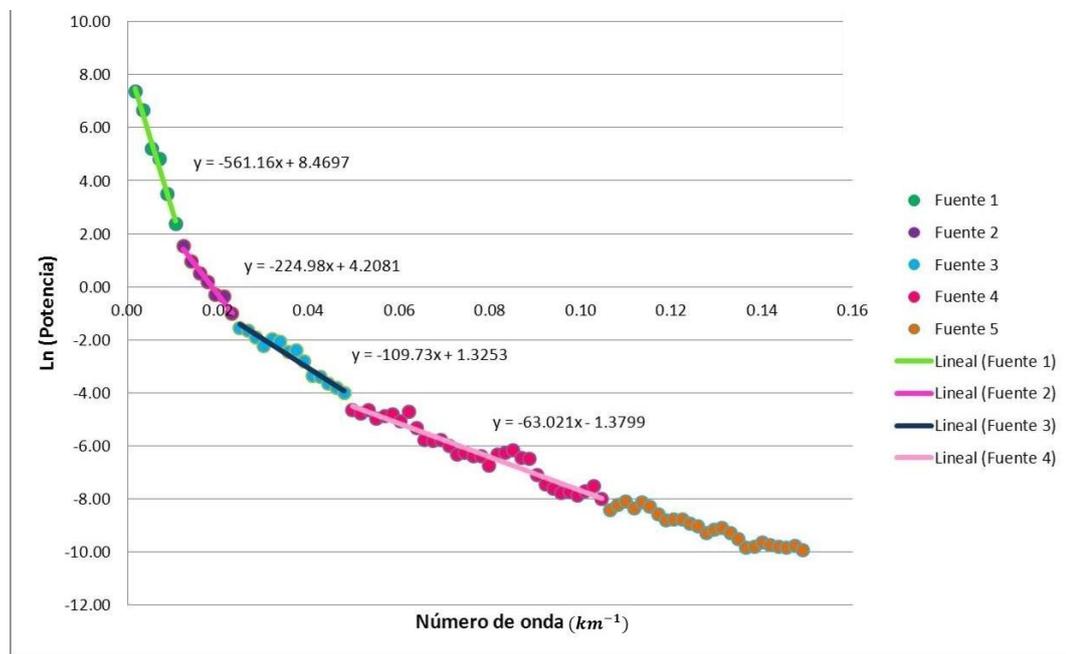


Figura 34. Espectro de Potencia de la anomalía de Bouguer

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

A partir de las 658 estaciones, adquiridas con un espaciado de 3 km aproximadamente y la integración de datos existentes en la zona de estudio, se realizó el procesamiento y análisis mediante ecuaciones de segundo orden para el cálculo de anomalía de Bouguer, se concluye que:

- El mínimo absoluto de la anomalía de Bouguer total con una respuesta gravimétrica asociada al depocentro de la Cuenca de Maracaibo y a la carga flexural Andina, es de -145.3 mGal. Este valor ratifica lo expuesto por diversos autores (Folinsbee, 1972; Colleta, 1997; Audemard y Audemard, 2002; entre otros). El mínimo no ocurre en el eje central de los Andes de Mérida, lo cual indica que la corteza no adquiere espesores significativos debajo de los Andes, y que los Andes no están isostáticamente compensados.

- La discontinuidad de Mohorovicic en general aumenta su profundidad de norte a sur (estado Zulia hasta Los Andes de Mérida) concordante con las propuestas de profundidad de Bellizzia y Pimentel, 1995; Audemard y Audemard, 2002; Niu et al., 2007; Schmitz, 2011. Los resultados obtenidos a partir del análisis espectral, permiten concluir que la profundidad de Moho es de 44.66 km y existe una interfase intracortical a 17.90 km de profundidad.

- En el mapa residual de la anomalía de Bouguer se identifica una tendencia de máximos de 15 mGal sobre la Falla de Boconó, lo que sugiere comportamiento diferencial a lo largo de la traza principal de la misma.

- Al Este de El Vigía se muestra una estructura con respuesta máxima de 1.8 a 5 mGal, asociada a esquistos del Paleozoico al Mesozoico, esta se alinea perpendicularmente con la falla de Icotea, lo cual pudiese ser una continuación de la misma y ejercer un posible control en el rumbo del río Chama.

- La respuesta gravimétrica de la cuenca de Barinas – Apure en el mapa de anomalía de Bouguer total, muestra mayores espesores de sedimento en el piedemonte andino (zona NE), debido a la subsidencia que existe en esta zona producto de la secuencia flexural, lo que originó una cuña sedimentaria hacia el N

con valores de -60 a -80 mGal. Los máximos relativos de -6 mGal se ubican hacia el SE de la cuenca donde existe un adelgazamiento de Moho, posiblemente causado por una fase inicial de extensión. Los menores espesores que se ubican hacia el sureste de la cuenca, se atribuye a cabalgamientos de la secuencia Eoceno medio - Oligoceno, cuyo tope fue posteriormente erosionado.

- El análisis estadístico de los datos refleja un comportamiento bimodal, donde se observan valores comprendidos entre -100 y -145.3 mGal asociados al NO de los Andes Venezolanos y la segunda familia desde -0.6 a -100 mGal relacionada con la Sierra de Perijá y la zona sur de la cordillera andina. El área de estudio se encuentra asociada a una zona de isostasia regional de gran complejidad geológica y estructural, la cual se encuentra influenciada por diversas estructuras y rocas de diferentes densidades.

6.2. Recomendaciones

- Ejecutar un levantamiento magnético de detalle en la región occidental e integrar con la información gravimétrica.
- Integrar los resultados de este estudio con otros métodos geofísicos (sísmica de gran ángulo, registros de pozos, magnetometría, entre otros) con el fin de realizar un modelo 3D de la región occidental de Venezuela.
- Realizar una actualización y recuperación de los puntos REGVEN con gravedad observada a nivel nacional e incluir los presentados en esta investigación, para obtener una red unificada de bases gravimétricas en Venezuela.
- Estandarizar los parámetros de adquisición de los datos gravimétricos con el equipo AUTOGRAV SCINTREX CG5, para obtener mayor uniformidad, confiabilidad y exactitud del dato a nivel nacional.
- Realizar modelado flexural a ambos lados del orógeno andino tomando en cuenta los mapas de anomalías de Bouguer acá generado y las diferentes cadenas montañosas existentes en la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armino, J., Zubizarraeta, J., Gonzáles, G., y Farías, L. y. (1994). Revisión del Área Lamasur, Bloques IX, VI y X. Gerencia de Exploración, Maraven.
- Arnaíz, M. (2009). Modelado gravimétrico y flexural en los Andes de Mérida. Trabajo Especial de Grado, UCV, 114 pp.
- Audemard, F. & Giraldo, C. (1997). Desplazamientos dextrales a lo largo de la frontera meridional de la placa Caribe, Venezuela septentrional. Memorias del VIII Congreso Venezolano. Sociedad Venezolana de Geólogos, tomo 1, p. 101-108.
- Audemard, F. (1993). Néotectonique, sismotectonique, et aléa sismique du nord-ouest du Venezuela (système de failles d'Oca-Ancón). Ph.D. dissertation, Université Montpellier II, Montpellier, France. 369 p.
- Audemard, F. (1995). La cuenca terciaria de Falcón, Venezuela noroccidental: Síntesis estratigráfica, génesis e inversión tectónica. IX Congreso Latinoamericano de Geología; Caracas (en diskettes).
- Audemard, F. (2001). Quaternary tectonics and present stress tensor of the inverted northern Falcon Basin, northwestern Venezuela. *Journal of Structural Geology*, Vol. 23, p. 431 – 453.
- Audemard, F. A. (1993). Néotectonique, Sismotectonique et aléa Sismique du Nord-ouest du Venezuela (Système de failles d'Oca-Ancón). Tesis de Doctorado no publicada. Universidad de Montpellier II, Francia.
- Audemard, F. A. (1998). Evolution Géodynamique of the Façade Nord Sud-américaine: Nouveaux apports of l'Histoire Géologique du Bassin of Falcón, Vénézuéla. *Proc. XIV Caribb. Geol. Conf. Trinidad – 1995*, 2: 327 – 340.
- Audemard, F. A. (2003). Geomorphic and geologic evidence of ongoing uplift and deformation in the Mérida Andes, Venezuela. *Quaternary International*, 101 – 102: 43 – 65.
- Audemard, F. A., M. N. Machette, J. W. Cox, R. L. Dart, and K. M. Haller (2000). Map and database of Quaternary faults in Venezuela and its offshore regions, U.S Geol. Surv. Open File Rep., 00 – 018.

- Audemard, F., (1991). Tectonics of western Venezuela: Ph.D. dissertation, Rice University, Houston, 245 p.
- Audemard, F., Soulas, J., y A., S. (2005). Quaternary faults kinematic and stress tensors along the southern Caribbean from faults-slip data and focal mechanism solution. *Earth-Science Reviews*, 69, 181 – 223.
- Audemard, F.A. (1999). Morpho - structural expression of active thrust fault systems in the humid tropical foothills of Colombia and Venezuela. *Zeitschrift für Geomorphologie* 118, 1 – 18.
- Audemard, F.E. y F.A. Audemard. (2002). Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America–Caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics* v.345, p. 299 – 327.
- Bartok, P., Reijers, T. J., y Juakz, I. (1981). Lower Cretaceous Cogollo Group, Maracaibo basin, Venezuela: Sedimentology, Diagenesis and Petrophysics. *AAPG Bulletin*, 65, 1110 – 1134.
- Bellizzia y Pimentel (1995). Consolidación de Terrenos Continentales Gondwanicos Precámbrico-Paleozoicos en los Andes de Venezuela. *Boletín de Geología del Ministerio de Energía y Minas* # 10 p. 227 – 247.
- Bermúdez, M.A., Kohn, B.P., van der Beek, P.A., Bernet, M., O’Sullivan, P.B., and Shagam, R. (2010). Spatial and temporal patterns of exhumation across the Venezuelan Andes: Implications for Cenozoic Caribbean geodynamics. *Tectonics*, v. 29.
- Bermúdez, M.A., van der Beek, P., y Bernet, M. (2011). Asynchronous Miocene–Pliocene exhumation of the central Venezuelan Andes. *Geology*, v. 39, p. 139 – 142.
- Bezada, M.J., Miller, M., Niu, F., Pavlis, G., Zelt, C., Schmitz, M., Rendón, H., Levander, A., y el BOLIVAR working group (2007). Estructura sísmica de la corteza y manto superior en el límite de placas Caribe- Suramérica: Un enfoque integrado. IX Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 12 pp.
- Boesi, T. & D. Goddard, (1991). A new geologic model related to the distribution of hydrocarbon source rocks in the Falcón basin, northwestern Venezuela, in K.T. Biddle, ed., *Active margin basins: AAPG, Memoir 52*, pág. 303 – 319.

- Colleta, B., F. Roure, B. De Toni, D. Loureiro, H. Passalacqua, y Y. Gou, (1997). Tectonic inheritance, crustal architecture, and contrasting structural styles in the Venezuela Andes: *Tectonics*, v. 16, p. 777 – 794.
- De Toni, B., J. Kellogg. (1993). Seismic evidence for blind thrusting of the northwestern flank of the Venezuelan Andes. *Tectonics* 12 (6), 1393 – 1409.
- Dhont D., Backe G. y Hervouët Y. (2005). Plio-Quaternary extension in the Venezuelan Andes: Mapping from SAR JERS imagery. *Tectonophysics*, vol 399, p 293-312.
- Díaz, N. y Herrera, M. (2007). Estudio sedimentológico y estratigráfico del Oligo-Mioceno en pozos con núcleos del Campo Güafita, Estado Apure. Trabajo Especial de Grado no publicado. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Dobrin, M. (1980). *Introducción a la Prospección Geofísica*. Ediciones Omega S. A., Barcelona.
- Duerto L., A. Escalona y P. Mann. (2006). Deep structure of the Mérida Andes and Sierra de Perijá mountain fronts, Maracaibo Basin, Venezuela. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 90: 505 – 528.
- Duerto, L., (1998). Principales zonas triangulares del occidente de Venezuela: M.Sc. thesis, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 176 p.
- Escobar, I. A., I. Rodríguez. (1995). Interpretación geofísica integrada de un transecto NW-SE a través de Los Andes venezolanos. Ponencia presentada en el I Latinoamerican Geophysical Congress, Rio de Janeiro, Brazil, p.273 – 276.
- Folinsbee, R. A. (1972). The gravity field and plate boundaries in Venezuela. (Ph.D), Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution, EEUU.
- FUNVISIS (1997). Estudio neotectónico y geología de fallas activas en el piedemonte surandino de los Andes venezolanos (Proyecto INTEVEP 95 – 061). Informe no publicado de Funvisis para INTEVEP. 155 p.
- FUNVISIS, USGS, INTEVEP & PDVSA (2000). Map of quaternary faults of Venezuela. Escala 1:2.000.000; Data compilada por: Audemard, F;

- Digitalizado por: Cox, J. & Dart, R.; Coordinado por: Machette, M.; como parte del Programa Internacional de la Litósfera, grupo de trabajo II-2.
- Garrity, C., P. Hackley, y F. Urbani (2004). Digital shaded-relief map of Venezuela: U.S. Geological Survey Open-File Report 2004 – 1322.
- Goldsmith R., Marvin, R., y Mehnert, H., (1971). Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombia Andes. U.S Geological Survey Professional Paper, Vol 750-D, pp. D41-D49.
- González de Juana, C., J. Iturralde, y X. Picard (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas: Caracas, Ediciones Foninves, Tomos I y II, 1031 p.
- Gorney, D., Escalona, A., Mann, y P., Magnani, M. & The Bolívar Studygroup (2007). Chronology of Cenozoic tectonic events in western Venezuela and the Leeward Antilles based on integration of offshore seismic reflection data and onland geology. AAPG Bulletin, Vol.91, No. 5, p. 653 – 684.
- Götze, X. L. a. H. J. (2001). Tutorial Ellipsoid, geoid, gravity, geodesy, and geophysics. Geophysics 66: 10.
- H.O. Seigel (1995). "GRAVGUID". Scintrex Limited.
- Hinze, W. J., *et al.* (2005). "New standards for reducing gravity data: The North American gravity database." Geophysics 70(4): J25 – J32.
- James, K. (2000). The Venezuelan hydrocarbon habitat: Part 2. Hydrocarbon occurrences and generated-accumulated volumes. Journal of Petroleum Geology, Vol. 23, p. 133 – 164.
- Jarvis, A., Reuter, H., Nelson, A. y Guevara, E. (2008) Hole – filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90 m Database (<http://srtm.csi.cgiar.org>)
- Kellogg, J. N., y Bonini, W. E. (1982). Subducción of the Caribbean plate and basement uplifts in the overriding South American plate. Tectonics, 1(2), 251 – 327.
- Kwang-Sun, C., *et al.* (2007). "Precise Terrain Torrection for Gravity Measurement Considering the Earth's Curvature." Journal of the Korean Earth Science Society 28 (7): 825 – 837.

- Laubscher H. P. (1987). The kinematic puzzle of the Neogene northern Andes, en Schaer J.P. y Rodgers J., The anatomy of mountain ranges, Princeton University Press, Princeton, N.J., p. 211 – 229.
- Lessmann, M. (2004). Evaluación de AVO en calizas fracturadas en un área al occidente de Venezuela mediante el modelado AVO y el análisis de datos sintéticos VSP Walkaway. Trabajo especial de grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Lugo, J. (1991). Cretaceous to Neogene Tectonic Control on Sedimentation: Maracaibo Basin, Venezuela. Tesis Doctoral, Austin, Texas, Estados Unidos.
- Lugo, J., y Mann, P. (1993). Jurassic-Eocene tectonic Evolution of Maracaibo Basin, Venezuela. AAPG Memoir Petroleum Basins of South América.
- Macellari, C.E. (1995). Cenozoic Sedimentation and Tectonics of the Southwestern Caribbean Pull-Apart Basin, Venezuela and Colombia. En: Tankard, A.; Suárez, R. y Welsink, H.J.: Petroleum Basins of South America: AAPG Mem. 62: 757 – 780.
- Mangset, E. S. A. a. W. E. (2011). "Structural trends and spectral depth analysis of the residual magnetic field of Naraguta area, North central, Nigeria." Indian Journal of Science and Technology 4(11): 1410-1415.
- Mann, P., y A., E. (2006). Regional geologic and tectonic setting of the Maracaibo supergiant basin, western Venezuela. AAPG Bulletin, 90, 445 – 477.
- Mann, P., y Burke, K. (1984). Neotectonics of the Caribbean. Reviews of Geophysics and Space Physics, 22, 309 – 362.
- Meier B., Schwander M. y Laubscher H. P. (1987). The tectonics of Táchira: a sample of north andean tectonics, en Schaer J.P. y Rodgers J., The anatomy of mountain ranges. Princeton University Press, Princeton N.J., p. 230 – 237.
- Miller, Jhon B. (1960). Directrices tectónicas en la Sierra de Perijá y partes adyacentes de Venezuela y Colombia. III Congreso Geológico Venezolano. Tomo II, p. 685-718.
- Moritz, H. (1980). Geodetic Reference System 1980: Journal of Geodesy, 54, 395 – 405.

- Muessig, K. (1984). Structure and cenozoic tectonics of the Falcon Basin, Venezuela and adjacent areas. GSA Memoir, Vol. 162, p. 217 – 230.
- Ostos, M. (1990). Evolución tectónica del margen Sur-Caribe del Caribe basado en datos geoquímicos. Geos, Caracas, (30): p. 1 – 294.
- Pérez, O., Bilham, R., Bendick, R., Velandia, J., Hernández, N., Moncayo, C., Hoyer, M. & Kozuch, M. (2001). Velocity field across the southern Caribbean plate boundary and estimates of the Caribbean/South American plate motion using GPS geodesy 1994 – 2000. Geophysical Research Letters, Vol. 28, p. 2987 – 2990.
- Philip Kearey, M. B. (2002). An Introduction to Geophysical Exploration. Hong Kong: Blackwell Science Ltd.
- Pindell J. y Barrett S. (1990). Geological evolution of the caribbean region; a plate-tectonic perspective, en Dengo G. y Case J. E., The caribbean region, The Geológica Society of America, The geology of north America, volumen H, p. 405 – 431.
- Porras, L. (2000). Evolución tectónica y estilos estructurales de la region costa afuera de las cuencas de Falcón y Bonaire. PDVSA, Caracas. VII Simposio Bolivariano. Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas.
- Reinoza, C. (2006). Modelado geofísico del basamento del área metropolitana de la ciudad de Mérida, estado Mérida. Trabajo Especial de Grado. Universidad de los Andes, Mérida. Venezuela. 146 p.
- Rodríguez, I. (1974). Investigación Gravimétrica en la Región Noroccidental de Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Departamento de Geofísica. Universidad Central de Venezuela.
- Saavedra, M. (2015). Modelos corticales de velocidades en la región occidental de Venezuela, zona centro – sur de los Andes. Trabajo Especial de Grado. Universidad Simón Bolívar.
- Schlumberger (1997). WEC Venezuela – Evaluación de pozos.
- Schubert, C. (1982). Neotectonics of the Boconó fault, western Venezuela. Tectonophysics.85, 205-220.
- Schubert, C. (1983). Tectonics and sedimentation: an example from the Mérida Andes (Venezuela). Acta Geológica Hispánica 18: 207 – 215.

- SCINTREX Limited (2012). CG-5 Scintrex Autograv™ System Operation Manual. Canada, SCINTREX Limited.
- Soulas, J. P. (1985). Neotectónica del flanco occidental de los Andes de Venezuela entre 70° 30' y 71° 00' W (Fallas de Boconó, Valera, Piñango y del Piedemonte). 86 VI Congreso Geológico Venezolano. Caracas, vol. 4. Sociedad Venezolana de Geólogos, Caracas, pp.2690-2711.
- Spector A (1968) Spectral analysis of aeromagnetic maps. PhD thesis, Dept. Phys. Univ. of Toronto.
- Spector A and Grant FS (1970) Statistical models for interpreting Aeromagnetic data. *Geophys.* 35(2), 293-302.
- Stephan, J.F., (1985). Andes et chaîne Caraïbe sur la transversale de Barquisimeto (Venezuela). Evolution géodynamique. Symposium Géodynamique des Caraïbes, Paris. éditions Technip, Paris, pp. 505-529.
- Taboada, A., Rivera, L. A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., y otros. (2000). Geodynamic of the northern Andes: subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, 19(5), p. 787 – 813.
- Telford, W. M., L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, 1990, *Applied geophysics*: Cambridge University Press.
- Urbani F. (2012). Algunos resultados recientes de geocronología U-Pb en cristales de zircón y su aporte a la geología venezolana. *Rev. Venezolana Cienc. Tierra (Geos)* 43:59-60. Pág 46.
- Van der Hilst, R. D. y Mann P. (1994). Tectonic implications of tomographic images of subducted lithosphere beneath northwestern South America. *Geology*, 22: 451 – 454.
- Wenzel, H., (1985). Hochauflosende Kugelfunktionsmodelle für des Gravitationspotential der Erde: Wissenschaftliche arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, p. 137.
- Wheeler, C. (1963). Oligocene and Lower Miocene Stratigraphy of Western and Northeastern Falcón Basin, Venezuela. *Bull. AAPG*, 47 (1): p. 35 – 68, 129.

Yoris, F. y Ostos, M. (1997). Geología de Venezuela: geología general y sus cuencas petrolíferas. WEC 1997. Schlumberger, p. 44. Caracas, Venezuela.

APÉNDICES

Apéndice 1. Resumen de las bases utilizadas en el desarrollo de la investigación.

Estación	Estado	Descripción	Nombre	Latitud (g°.g)	Longitud (g°.g)	Altura (m)	Gravedad absoluta (mGal)	Base levantada por:
0.301	Mérida	Mucuchies	Mucuchies R	8.7478	-70.9203	2941.430	977471.7498	Obdulis Hermoso
0.302	Táchira	San Cristobal	Mun. S. Cristóbal	7.7869	-72.2091	987.270	977830.2728	Obdulis Hermoso
0.303	Táchira	Pregonero	USB	8.0287	-71.7752	1486.290	977761.6963	Obdulis Hermoso
0.304	Mérida	Canaguá	Canaguá	8.1257	-71.4600	1470.190	977763.2876	Obdulis Hermoso
0.305	Mérida	Ejido	BM 317 - A	8.5465	-71.2412	1147.350	977801.1320	Obdulis Hermoso
0.306	Táchira	La Fría	Dalia	8.2671	-72.3141	65.338	978003.0838	Obdulis Hermoso
0.307	Mérida	El Vigía	Mucujepe N° 8R	8.6640	-71.5853	124.433	977980.6352	Obdulis Hermoso
0.308	Zulia	El Dividive	INT005	9.3418	-70.9129	22.901	978013.0903	Obdulis Hermoso
0.309	Zulia	Maracaibo-LUZ	Pluz	10.6737	-71.6238	16.502	978185.6040	LUZ
0.310	Zulia	Maracaibo-LUZ	Comparador C1	10.6755	-71.6243	13.980	978186.0178	Obdulis Hermoso
0.311	Zulia	El Moján	RMEC9A	10.9590	-71.7282	1.490	978201.9947	Obdulis Hermoso
0.312	Zulia	Machiques	Machiques pp	10.0723	-72.4921	80.770	978129.8659	Obdulis Hermoso
0.313	Mérida	CIDA	CIDA	8.7863	-70.8790	3600.000	977350.6582	Obdulis Hermoso
9000	Trujillo	Valera	Valera	9.3149	-70.6080	544.000	977972.8510	FUNVISIS
9002	Trujillo	Sabana Mendoza	Pan 12-b	9.4380	-70.7652	113.083	978017.3479	Ana Silva
9709013	Táchira	Punta de Piedra	BM AT 99	7.5331	-71.5478	174.040	978001.3210	Dianeidy Gil
9711013	Apure	Guasdualito	Regven Guasdualito	7.2475	-70.6141	119.559	978069.5020	Dianeidy Gil
9712013	Barinas	Ciudad Bolivia	BM T1 1960	8.3538	-70.5698	180.260	978029.0030	Dianeidy Gil

Apéndice 2. Base 0.301

	REPORTE DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO	Versión del documento:	I
		Fecha de Creación:	Agosto-2014
		Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.
		BASE:	0.301
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
Mucuchies R	Mérida	Rangel	
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	___ RTP(Canoa) <u>X</u> REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
8 44 52,1900	-70 55 13,1000	2941,43	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
967511,75960	288749,45040	C	2007
GRAVEDAD (mGal):	977471,7498		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	Plaza San Rafael de Mucuchies		
INSCRIPCIÓN:	IGVSB Mucuchies R. GPS 2007		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
			

Apéndice 3. Base 0.302

<p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	0.302	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
Mun. S. Cristóbal	Táchira	Rangel	
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	__ RTP(Canoa) <input checked="" type="checkbox"/> REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
7 47 12,6864	-72 12 32,8818	987,27	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
861551,21000	807579,25000	C	2007
GRAVEDAD (mGal):	977830,2728		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
ACCESO:	El vértice se encuentra ubicado en el sector Nor-Este de la redoma Los Agustinos, aproximadamente a 15 m al norte del busto de Rómulo Gallegos.		
INSCRIPCIÓN:	Vértice GPS. Mun. S. Cristóbal 2001		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			

Apéndice 4. Base 0.303

 <p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	0.303	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
USB	Táchira	Uribante	
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	__ RTP(Canoa) <input checked="" type="checkbox"/> REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
8 1 43,2800	-71 46 30,7700	1486,29	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
888504,8660	194079,3421	C	2000
GRAVEDAD (mGal):	977761,6963		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	Ubicado en una colina dentro del cementerio de Pregonero		
INSCRIPCIÓN:	Vértice de Triangulación Poligonal. USB 2000		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
			

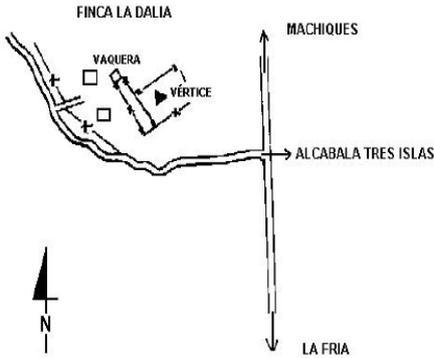
Apéndice 5. Base 0.304

 <p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	0.304	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
Canaguá	Mérida	Arzobispo Chacón	
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	<input type="checkbox"/> RTP(Canoa) <input checked="" type="checkbox"/> REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
8 7 32,4200	-71 27 36,0900	1470,19	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
888504,8660	194079,3421	C	2007
GRAVEDAD (mGal):	977763,2876		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	Plaza Bolívar de Canaguá, jardín frente a la prefectura		
INSCRIPCIÓN:	IGVSB Canaguá. GPS 2007		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
			

Apéndice 6. Base 0.305

 <p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	0.305	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
BM N° 3A 317-A	Mérida	Campo Elías	
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	__ RTP(Canoa) <input checked="" type="checkbox"/> REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
8 32 47,4410	-71 14 28,5490	1147,35	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
945433,6691	253294,0589	B	1968
GRAVEDAD (mGal):	977801,1320		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	Plaza Justo Briceño, Av. Bolívar San Pío X. Frente al Colegio San Pío X		
INSCRIPCIÓN:	IGVSB Canaguá. GPS 2007		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
			

Apéndice 7. Base 0.306

 <p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
Autora: Obdulis Y. Hermoso R.	BASE: 0.306		
DESIGNACIÓN DEL HITO: Dalia	ESTADO: Táchira	MUNICIPIO: García de Hevia	
MEDIDO POR: Obdulis Y. Hermoso R.	E-MAIL: obdulis@gmail.com	IGVSB: ___ RTP(Canoa) X REGVEN	
LATITUD (gg mm ss): 8 16 1,6123	LONGITUD (gg mm ss): -72 18 50,6388	ALTURA ELIPSOIDAL (m): 65,34	
NORTE (m): 914825,7710	ESTE (m): 795896,4630	ORDEN: B	AÑO: 1970
GRAVEDAD (mGal):	978003,0838		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	De la Fría vía Machiques se recorren aprox. 5 km hasta la Alcabala de Tres Islas, se cruza a la izquierda por 6,6 km hasta la Finca La Dalia. El vértice se encuentra después de la Vaquera		
INSCRIPCIÓN:	Dalia 1970		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
			

Apéndice 8. Base 0.307

<p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	0.307	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
Mucujepe N° 8R	Táchira		
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	__ RTP(Canoa) <input checked="" type="checkbox"/> REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
8 39 50,7560	-71 35 7,1560	124,43	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
958683,6849	215486,9832	C	2012
GRAVEDAD (mGal):	977980,6352		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
ACCESO:	Cerca de la Asociación Civil Taxi Mucujepe		
INSCRIPCIÓN:	IGSVB Alberto Adrian. Mucujepe N°8R. GPS 2012		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			

Apéndice 9. Base 0.308

<p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	0.308	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
INT 005	Zulia		
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	__ RTP(Canoa) __REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
9 20 30,5000	-70 54 46,5300	22,90	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
1033209,5581	289906,6358	C	
GRAVEDAD (mGal):	978013,0903		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
ACCESO:	Zona La Recría		
INSCRIPCIÓN:	INT 005		
ESTADO GENERAL:	No tiene chapa		
PRIMER PLANO DEL HITO:			

Apéndice 10. Base 0.309

 <p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	0.309	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
PLUZ	Zulia		
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	__ RTP(Canoa) __REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
10 40 25,3500	-71 37 25,7200	16,50	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
1181119,4973	212960,0931	B	2004
GRAVEDAD (mGal):	978185,6040		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	Se encuentra ubicado en frente de la sede de Autodesarrollo, LUZ		
INSCRIPCIÓN:	PLUZ 2004		
ESTADO GENERAL:	No posee chapa		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
 			

Apéndice 11. Base 0.310

 <p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRAFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	0.310	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
Comparador C1	Zulia		
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	__ RTP(Canoa) __REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
10 40 32,1500	-71 37 27,4900	13,98	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
1181329,0233	212908,0090	C	
GRAVEDAD (mGal):	978186,0178		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	Salida Cecilio Acosta LUZ		
INSCRIPCIÓN:	Comparador C1		
ESTADO GENERAL:	No posee chapa		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
			

Apéndice 12. Base 0.311

 <p>REPORTE DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora: Obdulis Y. Hermoso R.		
	BASE: 0.311		
DESIGNACIÓN DEL HITO: RMEC9A	ESTADO: Zulia	MUNICIPIO: Mara	
MEDIDO POR: Obdulis Y. Hermoso R.	E-MAIL: obdulis@gmail.com	IGVSB: ___ RTP(Canoa) X REGVEN	
LATITUD (gg mm ss): 10 57 32,5500	LONGITUD (gg mm ss): -71 43 41,5800	ALTURA ELIPSOIDAL (m): 1,49	
NORTE (m): 1212801,0803	ESTE (m): 201812,7647	ORDEN: B	AÑO: 1967
GRAVEDAD (mGal):	978201,9947		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	Ubicado entre la avenida 3 y calle 21. Plaza El Calvario. El Moján		
INSCRIPCIÓN:	BM N° RMEC9A 1967		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
			

Apéndice 13. Base 0.312

 <p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	0.312	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
Machiques pp	Zulia	Machiques de Perijá	
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	__ RTP(Canoa) __REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
10 4 20,2000	-72 29 31,9000	80,77	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
1114456,3516	774866,2791	C	
GRAVEDAD (mGal):	978129,8659		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	Se encuentra ubicado en la intersección de la entrada hacia Machiques		
INSCRIPCIÓN:	DTTO PERIJÁ. Direc. Catastro N° Machiques PP		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
 			

Apéndice 14. Base 0.313

<p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento:		I	
	Fecha de Creación:		Agosto-2014	
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.		
	BASE:	0.313		
DESIGNACIÓN DEL HITO:		ESTADO:		MUNICIPIO:
CIDA		Mérida		Rangel
MEDIDO POR:	E-MAIL:		IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com		__ RTP(Canoa) __REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):		LONGITUD (gg mm ss):		ALTURA ELIPSOIDAL (m):
8 47 10,8000		-70 52 44,4000		3600,00
NORTE (m):		ESTE (m):		ORDEN:
971744,0545		293316,2792		C
GRAVEDAD (mGal):		977350,6582		
UBICACIÓN REFERENCIAL:				
ACCESO:	Se encuentra ubicado en el sótano del domo Schmidt del Observatorio CIDA			
INSCRIPCIÓN:	CIDA			
ESTADO GENERAL:	No posee chapa			
PRIMER PLANO DEL HITO:				

Apéndice 15. Base 9000

 <p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	9000	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
3A243E	Trujillo	Valera	
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	<input type="checkbox"/> RTP(Canoa) <input checked="" type="checkbox"/> REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
9 18 53,8000	-70 36 28,8000	544,0000	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
1030073,0700	323391,7100	B	1969
GRAVEDAD (mGal):	977972,8510		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	Ubicado en la plaza Bolívar de Valera		
INSCRIPCIÓN:			
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
			

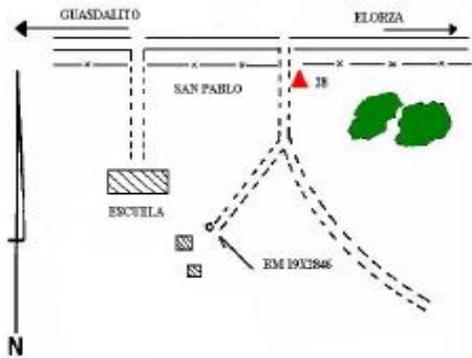
Apéndice 16. Base 9002

 <p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	9002	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
Nº 3. PAN.12.B	Trujillo	Sabana de Mendoza	
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	__ RTP(Canoa) <u>X</u> REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
9 26 16,7000	-70 45 54,9000	113,0830	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
1043771,2670	306187,9270	C	2001
GRAVEDAD (mGal):	978017,3479		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	En la población de Sabana de Mendoza subiendo por la Av. Bolívar, hasta llegar a la Plaza Bolívar, inmediatamente al pasar la misma cruzar a la izquierda en la calle Padilla, luego se recorren unos 650m, hasta encontrar del lado derecho de la entrada al Hospital José Vasallo Cortez; entrando por este hay una plazoleta y al inicio esta el vértice		
INSCRIPCIÓN:	MOP. CARTOGRAFÍA NACIONAL NIVELACIÓN GEODÉSICA BM Nº 3 PAN.12.B 1972 VENEZUELA		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
			

Apéndice 17. Base 9709013

 <p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	9709013	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
BM AT 99	Táchira		
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	<input type="checkbox"/> RTP(Canoa) <input checked="" type="checkbox"/> REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
7 31 59,1900	-71 32 52,1800	174,04	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
833502,7629	218831,1609	B	1962
GRAVEDAD (mGal):	978001,3210		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	Se encuentra ubicado sobre un puente del lado derecho vía Guasualito		
INSCRIPCIÓN:	BM AT 99		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
			

Apéndice 18. Base 9711013

 <p>REPORTE DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRAFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
Autora: Obdulis Y. Hermoso R.	BASE: 9711013		
DESIGNACIÓN DEL HITO: Guasdalito	ESTADO: Apure	MUNICIPIO:	
MEDIDO POR: Obdulis Y. Hermoso R.	E-MAIL: obdulis@gmail.com	IGVSB ___ RTP(Canoa) <input checked="" type="checkbox"/> REGVEN	
LATITUD (gg mm ss): 7 14 51,0882	LONGITUD (gg mm ss): -70 36 50,8176	ALTURA ELIPSOIDAL (m): 119,56	
NORTE (m): 801428,7270	ESTE (m): 321791,8500	ORDEN: B	AÑO: 1995
GRAVEDAD (mGal):	978069,5020		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	Desde la entrada de Guasdalito, (cruce las vías Elorza-Guasdalito-El Amparo), se recorren 15,2 Km por la vía a Elorza hasta llegar al sitio denominado San Pablo de los Cocos, al pasar la Escuela, al lado derecho de la vía se encuentra el vértice		
INSCRIPCIÓN:	REGVEN GUASDUALITO 1995 28		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
			

Apéndice 19. Base 9712013

 <p>REPORT DE GRAVEDAD A MONUMENTO CARTOGRÁFICO</p>	Versión del documento: I		
	Fecha de Creación: Agosto-2014		
	Autora:	Obdulis Y. Hermoso R.	
	BASE:	9712013	
DESIGNACIÓN DEL HITO:	ESTADO:	MUNICIPIO:	
BM T1 60	Barinas	Pedraza	
MEDIDO POR:	E-MAIL:	IGVSB	
Obdulis Y. Hermoso R.	obdulis@gmail.com	__ RTP(Canoa) <input checked="" type="checkbox"/> REGVEN	
LATITUD (gg mm ss):	LONGITUD (gg mm ss):	ALTURA ELIPSOIDAL (m):	
8 21 14,0220	-70 34 11,5400	180,26	
NORTE (m):	ESTE (m):	ORDEN:	AÑO:
923765,9677	327132,9917	B	1960
GRAVEDAD (mGal):	978029,0030		
UBICACIÓN REFERENCIAL:			
			
ACCESO:	Se encuentra ubicado en la Plaza Bolívar de Ciudad Bolivia		
INSCRIPCIÓN:	BMT1 60		
ESTADO GENERAL:	Se encuentra en buen estado		
PRIMER PLANO DEL HITO:			
			