



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

Levantamiento de datos gravimétricos en las formaciones sedimentarias de la
cuenca de Vilcabamba

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Avila Quezada, Oscar Fabián

DIRECTOR: Tamay Granda, José Vidal, MSc.

LOJA – ECUADOR

2015



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Master.

José Vidal Tamay Granda

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: "Levantamiento de datos gravimétricos en las formaciones sedimentarias de la cuenca de Vilcabamba" realizado por Avila Quezada Oscar Fabián ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por lo que se aprueba la presentación del mismo.

Loja, octubre de 2015

f) _____

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DECLARACIÓN DE DERECHOS

“Yo Avila Quezada Oscar Fabián declaro ser autor del presente trabajo de titulación: “Levantamiento de datos gravimétricos en las formaciones sedimentarias de la cuenca Vilcabamba”, de la Titulación de Ingeniería en Geología y Minas, siendo José Vidal Tamay Granda director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Autor: Avila Quezada Oscar Fabián

Cedula: 1900530989

DEDICATORIA

A mis abuelitos Roberto Quezada que dios lo tenga en su gloria, Josefina, Isabel y Pastor por ser la base de esta maravillosa familia que me rodea.

El presente trabajo está dedicado a toda mi familia ya que ellos me dan la fuerza necesaria para seguir cumpliendo cada una de mis metas, a mis padres Carmen y Darwin por el amor y comprensión con el que me formaron, por ser un maravilloso ejemplo, a mis hermanos Janina Elizabeth y Darwin Francisco por todo el cariño y apoyo, a mis primos y tíos por ese afecto incondicional y desinteresado que me han brindado durante todos estos años que me ha permitido culminar con éxito este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Es grato para mí expresar mis más sinceros agradecimientos a Dios ante todo por rodearme de tan buenas personas y darme el valor para afrontar los traspies en cada una de las decisiones que tome en la vida.

A la Universidad Técnica Particular de Loja y cada uno de los docentes de la Titulación de Geología y Minas quienes compartieron sus conocimientos que me han permitido formarme como profesional.

A mi director de trabajo de fin de titulación MS.c. José Tamay por su paciencia, consejos y amistad brindada durante todo el tiempo que curse esta prestigiosa carrera.

A mis maravillosos padres por el sacrificio que han hecho para que culmine esta meta.

A mis tíos Rodrigo, José, Rosita y Marlene.

A mis amigos con los que cultive una grata amistad durante todos estos años.

Mención especial merecen mis amigos Anthony Valdivieso y David Abad que desinteresadamente me brindaron su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

A todos ellos gracias por haber hecho posible cumplir esta meta.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DECLARACIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN EJECUTIVO	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
ANTECEDENTES	4
Objetivos	5
CAPÍTULO I.....	6
GENERALIDADES.....	6
1.1 Ubicación geográfica	7
1.2 Geología Regional.....	9
1.2.1 Unidad Chiguinda.	9
1.2.2 Formación Loma Blanca.	9
1.2.3 Formación Quinara.....	10
1.2.4 Formación Cerro Mandango.	10
CAPÍTULO II	12
MARCO CONCEPTUAL.....	12
2.1 Prospección gravimétrica.....	13
2.2 Principios físicos	13
2.2.2 Ley de la gravitación universal.	14
2.3 Variaciones de la gravedad	14
2.3.1 Con la latitud.	14
2.3.2 Con la altitud.	15
2.3.2.1 Corrección de aire libre.....	15
2.3.2.2 Corrección de Bouguer.	15
2.3.2.3 Corrección topográfica.	16
2.3.3 Con el tiempo.	16

2.3.3.1 Efecto de las mareas.	16
2.3.3.2 Deriva instrumental.	16
2.3.3.3 Reducción de la gravedad al geoide.	16
2.4 Mediciones de la gravedad	16
CAPÍTULO III	17
METODOLOGÍA	17
3.1 Trabajo de campo.....	18
3.1.1 Validación de información Existente.....	18
3.1.2 Levantamientos de datos gravimétricos.	18
3.1.1 Levantamiento de datos geológico-estructurales.....	20
3.2 Trabajo de gabinete	21
3.2.1 Procesamiento de datos de campo.....	21
3.2.2 Corrección Topográfica.	21
3.2.3 Procesamiento de modelos con GravMag.	22
3.2.4 Elaboración de mapas de anomalías.....	22
CAPÍTULO IV	23
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	23
4.1 Geología local.....	24
4.1.1 Rocas Metamórficas.....	24
4.1.2 Rocas Volcánicas.	25
4.1.3 Rocas Sedimentarias.	27
4.1.1 Depósitos aluviales.....	28
4.2 Estratigrafía y estructuras	28
4.3 Modelos gravimétricos y correlación geológica.....	30
4.4 Discusión de resultados.....	38
CONCLUSIONES.....	39
RECOMENDACIONES.....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXOS	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Coordenadas de la zona de estudio.	7
Figura 1. 2 Localización geográfica del polígono de estudio.	8
Figura 1. 3 Mapa geológico de la zona de la zona.	11
Figura 3. 1 Equipos utilizados para la toma de datos.....	19
Figura 3. 2 Localización de las estaciones gravimétricas.....	20
Figura 4. 1 Esquistos gráficos de la Unidad Chigüinda al SW en el sector de Quinara.	24
Figura 4. 2 Cuarcitas en el sector Quinara, vía Quinara-Masanamaca.....	25
Figura 4. 3 Formación Loma Blanca, Tobas aglomeráticas.	26
Figura 4. 4 Formación Cerro Mandango y Loma Blanca.	26
Figura 4. 5 Conglomerados hacia la parte SW clastos angulosos metamórficos mal seleccionados.	27
Figura 4. 6 A. Conglomerados en el sector Quinara, clastos redondeados mal clasificados con paquetes de areniscas. B. Conglomerados en la vía Masanamaca-Vilcabamba, clastos redondeados bien seleccionados con paquetes de areniscas.....	28
Figura 4. 7 Columna estratigrafica de la cuenca de Vilcabamba.	29
Figura 4. 8 Mapa de anomalía de Bouguer y estaciones gravimétricas.....	31
Figura 4. 9 Modelo gravimétrico.....	33
Figura 4. 10 Modelo Geológico	34
Figura 4. 11 Modelo Gravimétrico.....	36
Figura 4. 12 Modelo Geológico	37

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo hace mención al levantamiento de datos gravimétricos realizado en la cuenca Vilcabamba para posteriormente determinar la profundidad del relleno sedimentario, paralelamente a esto se realizó el levantamiento geológico-estructural. El procesamiento de datos gravimétricos y geológico-estructurales nos permitió corroborar y obtener nueva información acerca de la zona.

Se dispusieron 2 líneas con dirección SE-NW con un total de 51 estaciones gravimétricas estratégicamente ubicadas. En base a los valores de anomalías obtenidos se realizó los modelos gravimétricos en los que se puede evidenciar la presencia de fallas de contacto propuestas por Kennerley (1973). Un mapa de las anomalías de Bouguer contrasta con la geometría y profundidad del relleno sedimentario de la zona, con un predominio hacia la parte sur-este donde se encuentran los mayores valores.

Palabras clave:

Cuenca sedimentaria, método gravimétrico, anomalía de Bouguer

ABSTRACT

This research mentions the lifting of gravimetric data performed in the Vilcabamba basin to determine the depth of the sedimentary fill, parallel to this a geological-structural survey was conducted. The processing of Gravimetric and geological-structural data allowed us to corroborate and get new information about the area.

Two lines with SE-NW direction and a total of 51 gravimetric stations were strategically located. Based on the gravimetric anomalies values were obtained models where we can notice the normal contact faults presence which were proposed by Kennerley (1973). A map of Bouguer anomalies contrasts with the geometry and depth of the sedimentary fill of the area, with a predominance towards the south-east part where there are the higher values.

Keywords

Sedimentary basin, gravity method, Bouguer anomaly

INTRODUCCIÓN

La geofísica ha venido abriendo paso en los últimos años, siendo muy útil en estudios regionales así como en la prospección de recursos minerales o simplemente su aplicación en la investigación de problemas puramente geológicos, es así que la Universidad Técnica particular de Loja a través del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil despliega el siguiente trabajo con la premisa de los buenos resultados obtenidos y siguiendo las líneas de investigación planteada ya en proyectos anteriores.

El presente estudio pretende mediante el uso de métodos geofísicos indirectos (gravimétricos) ampliar y corroborar la información existente en la cuenca Vilcabamba. A través de un levantamiento de datos gravimétricos y geológico-estructurales se busca establecer en base a la densidad y litología de los materiales una configuración interna del relleno sedimentario de la cuenca, su disposición, determinar su profundidad y las estructuras que lo afectan.

Para cumplir los objetivos planteados se ha dividido el presente trabajo en 3 fases comprendidas desde la recopilación de información en gabinete, trabajo de campo y la interpretación de resultados. El capítulo I, encontraremos la información general referida a la geología regional y ubicación geográfica en la que se encuentra nuestra zona de estudio. El capítulo II comprende los fundamentos teóricos en los que se enmarca nuestra investigación, leyes, términos utilizados y principios físicos que rigen el método gravimétrico. El capítulo III describe cada uno de los métodos, programas y equipos que se utilizaron para la recopilación de información, procesamiento de datos y elaboración de perfiles gravimétricos. En el capítulo IV se realizó la interpretación de los resultados obtenidos mediante elaboración de perfiles gravimétricos, perfiles geológicos, mapas de anomalías, mapas geológicos y correlación con la información previamente obtenida.

ANTECEDENTES

Wolf (1892); Putzer & Schneider-Scherbina (1958); Spindler et al. (1959); Villemur (1967); Naciones Unidas (U.N.D.P., 1969); L. B. Kennerley (1973); Kennerley, Almeida, Hungerbühler (1997); Bristow y Parodiz (1982) han mencionado la cuenca Malacatos-Vilcabamba.

Wolf señala que las cuencas Loja y Malacatos-Vilcabamba se formaron al mismo tiempo basándose en las similitudes litológicas y propuso una edad Terciaria para los sedimentos de esta zona.

Kennerley (1973) manifiesta que la cuenca Vilcabamba está limitada por fallas normales de borde que delimitan el basamento de la serie Zamora, del relleno sedimentario, formación Loma Blanca y formación Quillollaco. Hungerbühler (1997) da una nueva descripción nombrando al basamento como Unidad Chigüinda y asignando las rocas volcánicas de la parte sur de la cuenca como formación Quinara.

En el 2010 se realizaron una serie de proyectos de tesis “ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL E INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS DEL POLÍGONO 7 y 4 LA CUENCA DE MALACATOS–VILCABAMBA” Samaniego (2010) y Marques (2010) contribuyendo importantes colaboraciones a la información previa de la zona.

Hasta el momento se carecen de estudios gravimétricos en estas zonas por lo que se pretende aportar información acerca de configuración interna y profundidad de estas cuencas.

Objetivos

En este trabajo se ha planteado la consecución de los siguientes objetivos:

General:

- Determinar mediante modelos gravimétricos, la profundidad del relleno sedimentario en relación con la estructura tectónica de la zona de la cuenca Vilcabamba.

Específicos:

- Realizar el levantamiento geológico de campo de las estructuras tectónicas y las orientaciones de la estratificación en la zona de estudio.
- Definir los perfiles gravimétricos en la zona de estudio para levantamiento de datos.
- Realizar el levantamiento de datos para precisar la geometría y relleno sedimentario de la cuenca Vilcabamba a partir de datos gravimétricos.
- Integración de datos gravimétricos con estudios geológicos de campo para establecer la continuidad de estructuras menores observadas en superficie.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1 Ubicación geográfica

Nuestro polígono de estudio se localiza en la región sur del Ecuador, provincia de Loja, en el sector de Vilcabamba a unos 50 kilómetros de la capital provincial. Abarca alrededor 7795.93 hectáreas, tiene una elevación de unos 1700 metros sobre el nivel del mar y ubicado en las siguientes coordenadas:

Vértices	Coordenadas
Noroeste	0694000, 9530000
Noreste	0701000, 9530000
Sureste	0701000, 9520000
Suroeste	0694000, 9520000

Figura 1. 1 Coordenadas de la zona de estudio.
Fuente: Avila, 2015

Se utilizó vías de primer y segundo orden, caminos y senderos para la localización de las estaciones gravimétricas que se ubica principalmente en los pueblos de Quinara, Masanamaca y Vilcabamba.

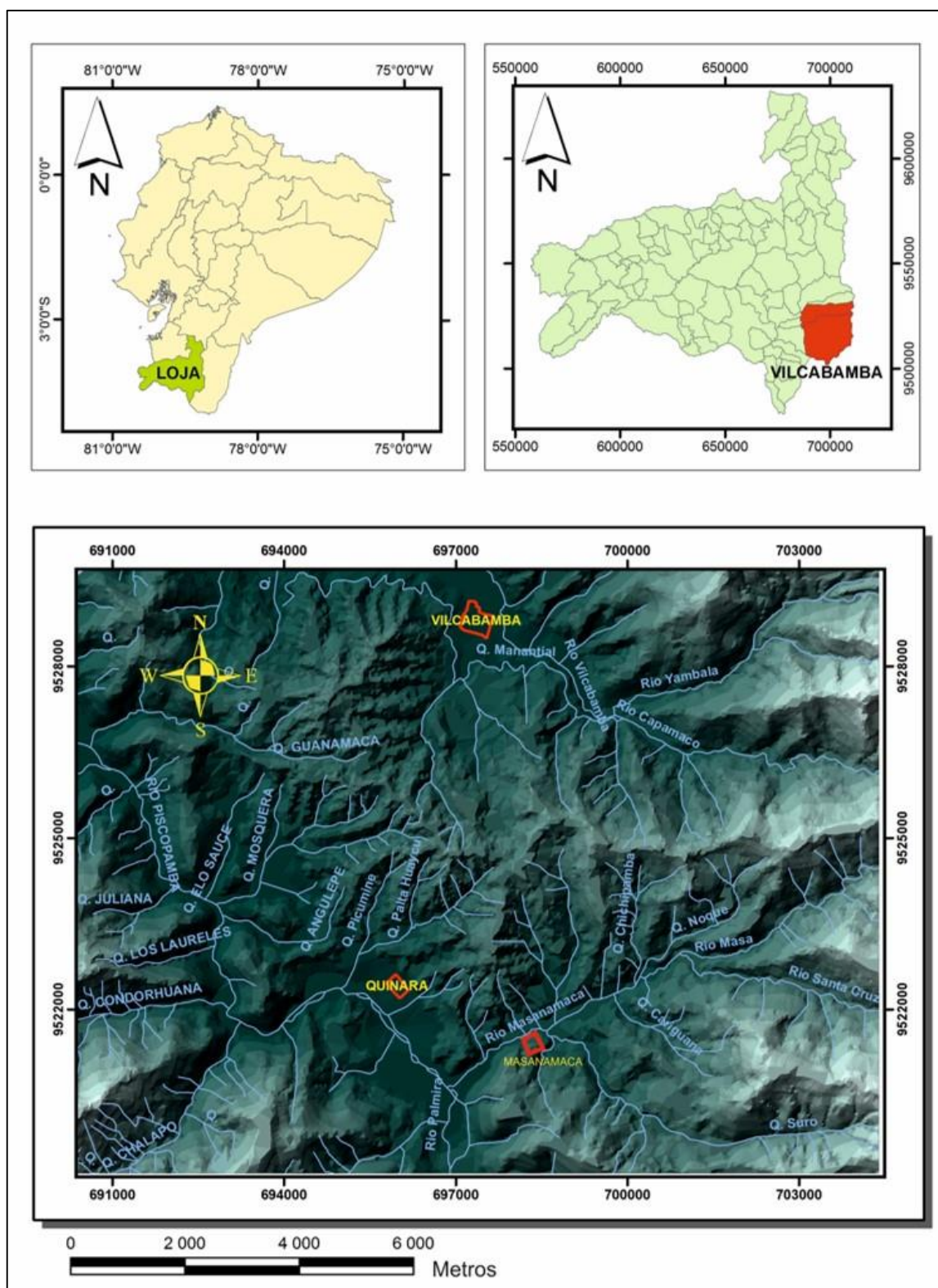


Figura 1. 2 Localización geográfica del polígono de estudio.
Fuente: Avila, 2015

1.2 Geología Regional

En la cuenca Malacatos-Vilcabamba encontramos un basamento de rocas metamórficas de edad Paleozoica que se extienden al borde este de la cordillera Real de los Andes, sobre la cual se sobreponen rocas volcánicas, sedimentarias de edad terciaria y depósitos cuaternarios. Las cuencas están tectónicamente divididas en 2 partes, separadas por una falla local inversa con dirección NW-SE que se extiende desde el barrio San Pedro de Vilcabamba hasta el pueblo de Picota causando repeticiones en el relleno sedimentario. En nuestro polígono que se ubica a la parte SE de la cuenca se observa un predominio de rocas sedimentarias del Mioceno y la presencia de un sinclinal que afecta la formación Cerro Mandango. La geología que forma parte de la zona de estudio se encuentra plenamente identificado por las siguientes formaciones.

1.2.1 Unidad Chigüinda.

Las rocas de la Unidad Chigüinda consta de rocas meta-sedimentarias de edad paleozoica (Litherland et al., 1994) que se extienden en el borde este de la Cordillera Real, su edad comprende los 168 millones de años y forma un cinturón de hasta 30 Km de ancho en parte sur de la cordillera. Está flanqueada hacia el oeste por metagranitos de tres lagunas y hacia el este por migmatitas y esquistos. No se conoce su espesor pero se asume que es de varios kilómetros (Hungerbühler, 1997). Esta unidad geológica compone el basamento de las cuencas Loja, Malacatos-Vilcabamba, consta de rocas metamórficas de grado bajo (cuarcitas, filitas, micaesquistos, esquistos grafiticos y pizarras).

1.2.2 Formación Loma Blanca.

La formación Loma Blanca (Eoceno-Oligoceno) según Hungerbühler (1997) se localiza cerca del cerro Loma Blanca al sur oeste de Malacatos. Esta formación se extiende a lo largo del borde occidental de la cuenca Malacatos-Vilcabamba desde el cerro Loma Blanca en el sur hasta la Loma Batanes al norte. También se puede observar que hacia el norte que la formación se extiende desde el norte de la cuenca hasta la ciudad de Catamayo y el pueblo Santa Rita.

La formación consta de Piroclastos de acides intermedia principalmente ignimbritas, tobas aglomeráticas, tobas cristalinas, además de diques y sills son evidencias de la proximidad a un centro eruptivo.

1.2.3 Formación Quinara

Está formada por un dominio de tobas vítreas acidas blancas o grises, ignimbritas y en menor proporción tobas líticas y brechas volcánicas con un espesor máximo de 300 metros. La formación Quinara aparece en el borde S-W de la cuenca Malacatos-Vilcabamba, se dispone discordantemente sobre la Unidad Chiguinda y está parcialmente cubierta concordantemente por la formación Cerro Mandango. (Hungerbühler et al. , 2002).

Las litologías piroclásticas de la formación Quinara fueron previamente correlacionadas con la formación Loma Blanca (Kennerley y Almeida 1975) sin embargo Hungerbühler et al., (1997) la sitúa en el mioceno medio temprano. La formación Quinara no tiene formación volcánica correlativa en la región y se asume que representa los restos de un evento volcánico local.

1.2.4 Formación Cerro Mandango.

Los principales afloramientos de la formación Cerro Mandango se producen dentro de un sinclinal con orientación SSE-NNW ubicado entre Malacatos-Vilcabamba (el dominio tectónico-estratigráfico es al sur y al centro, donde alcanza los 100 metro de espesor) y en el bloque la Granja. Esta formación sobreyace a la formación Santo Domingo y al basamento metamórfico con una discordancia angular y en parte recae concordantemente sobre la formación Quinara.

La sucesión observada del miembro inferior de areniscas y del miembro superior de conglomerados refleja una tendencia estrato creciente de la formación. El miembro superior, es más grueso en la parte sur de la cuenca donde están presentes discordancias progresivas internas (Hungerbühler, 1997).

El miembro arenisca tiene una estratificación cruzada y tabular, areniscas de mediano y grano grueso, capas y láminas de grava con clastos metamórficos y limonitas. El miembro conglomerado que consta de una parte de arenisca se caracteriza por canales anchos clastos (metamórficos) sosteniendo los conglomerados areniscas gruesas y limonitas. La sucesión de facies representa la transición de un sistema fluvial dominado por arenas a un sistema de abanico aluvial que se propaga de sur a norte. La fuente de la recristalización del material fue exclusivamente situado en las rocas metamórficas de la cordillera Real. (Hungerbühler, 1997)

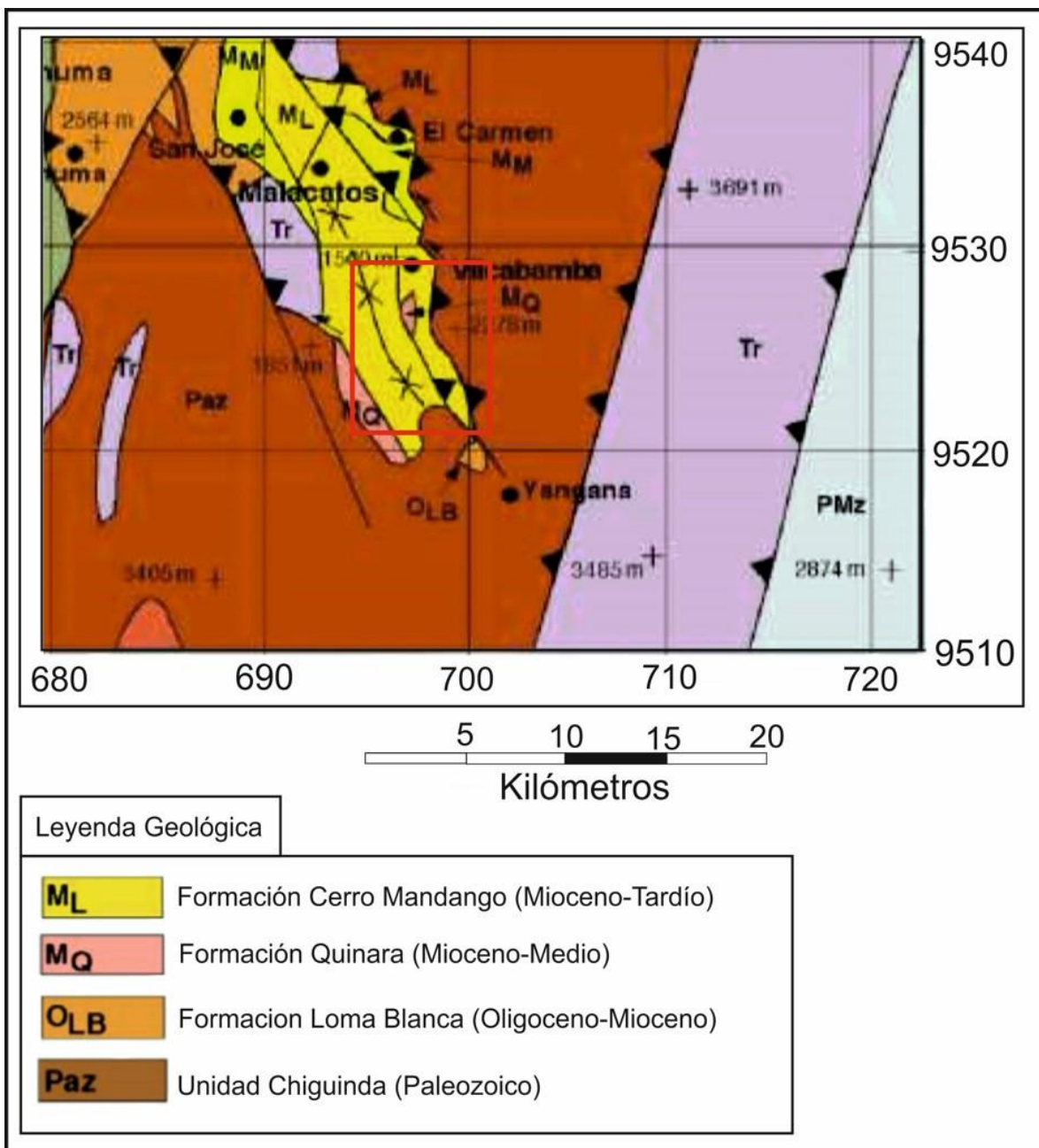


Figura 1. 3 Mapa geológico de la zona de la zona.

Fuente: Hungerbühler (1997)

Elaboración: Avila, 2015

CAPÍTULO II
MARCO CONCEPTUAL

2.1 Prospección gravimétrica

La prospección gravimétrica tiene como fin la detección de estructuras subterráneas mediante la observación en superficie de anomalías que tienen su origen en el campo gravitatorio terrestre (Griffiths & King, 1972).

La gravimetría como método geofísico complementario indirecto tiene su principio en las pequeñas variaciones (debidas a la diferencia de densidades y una disposición irregular en profundidad de masas que componen el subsuelo) que se dan en la componente vertical del campo gravífico terrestre medidas en superficie. La balanza de torsión, el péndulo y el gravímetro que miden las derivadas de la gravedad, la gravedad absoluta o relativa y la gravedad relativa respectivamente, son los instrumentos de medida más conocidos en este método (Cantos Figuerola, 1987).

En la geofísica aplicada se toma en cuenta principalmente las mediciones relativas. Dichas mediciones nos dan la diferencia entre la gravedad en un punto de observación y en otro tomado como base y han de aplicarse correcciones a las diferencias observadas con el fin de reducirlas a condiciones normales.

Estos valores corregidos (anomalías), nos aportan información acerca de las variaciones de densidad de distintas regiones en el interior de la tierra y sus límites (Parasnis, 1962).

2.2 Principios físicos

2.2.1 Fuerza gravitacional.

Todos los objetos son atraídos hacia la tierra, llamándose a la fuerza de atracción fuerza gravitacional. La dirección de la fuerza gravitacional es hacia el centro de la tierra y su magnitud se llama peso del objeto.

Un objeto en caída libre experimenta una aceleración g que se dirige hacia el centro de la tierra. Newton en su segunda ley nos dice que la fuerza es igual al producto entre la masa y la aceleración $F = m * a$

Aplicando estos dos enunciados para un objeto de masa m en caída libre con una aceleración $a = g$ y $\sum F = Fg$ tendremos la siguiente expresión:

$$Fg = mg$$

Puesto a que el peso depende de g este varía con la ubicación geográfica. Debido a que g disminuye a medida que aumenta la distancia al centro terrestre, los objetos pesan menos a mayores altitudes que cuando se encuentran a nivel del mar. (Serway & Jewett, Jr., 2011)

2.2.2 Ley de la gravitación universal.

La atracción entre cuerpos está sujeta a la ley de gravitación universal formulada por Newton que establece que dos masas se atraen entre sí una determinada fuerza. La fuerza de estas masas m_1 y m_2 es directamente proporcional a su producto e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$F = G \frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

Donde F es la magnitud de la fuerza de la gravitación sobre cualquier cuerpo, m_1 y m_2 son las masas de los cuerpos que interactúan entre sí, r es la distancia entre dichos cuerpos y G es una constante de proporcionalidad o constante de la gravitación universal cuyo valor en el sistema internacional de unidades es:

$$G = 6,673 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{Kg}^2$$

2.3 Variaciones de la gravedad

2.3.1 Con la latitud.

Debido a que la tierra no es totalmente esférica existe una variación de la gravedad en distintos puntos en que se la mida. Nuestro globo terrestre está achatado en sus dos polos, la distancia en el Ecuador hasta el centro de la tierra será máxima (por lo tanto la gravedad será mínima) y máxima en sus polos (el valor de la gravedad será el máximo). A esta variación se suma el efecto de rotación de la tierra, la fuerza centrífuga (en realidad exífuga) que al contrario de la gravedad será máxima en el Ecuador y nula en los polos y siempre opuesta a la fuerza de la gravedad. Debido a los efectos que señalamos anteriormente la gravedad tiene una variación aproximadamente de 978 cm/seg^2 en el Ecuador a 983 cm/seg^2 en los polos. De esta manera la aceleración de la gravedad está en función de la latitud. Los científicos durante muchos años han venido proponiendo una serie de fórmulas que daban la gravedad teórica o normal sobre la superficie terrestre considerando la tierra primeramente como un elipsoide de revolución y últimamente como un esferoide.

2.3.2 Con la altitud.

Las variaciones en las medidas sobre la superficie terrestre a una altura h nos darán lugar a tres correcciones: corrección de aire libre o corrección de Faye, corrección de Bouguer, y corrección topográfica. Dichas correcciones nos permitirán reducir la gravedad observada al nivel del mar.

2.3.2.1 Corrección de aire libre.

Se debe simplemente a la altura h a la que se encuentra la estación, es decir, al estar más alejada del centro terrestre.

Suponiendo la tierra esférica, sea M su masa y r su radio, por definición de g tenemos:

$$g = k \frac{M}{r^2}; \frac{\partial g}{\partial r} = -2k \frac{M}{r^3} = -\frac{2g}{r} = -0,3086 \text{ mgal por metro}$$

Poniendo para g y r los valores medios, para la altura h en metros será $-0,3086 h$. Como las reducciones las hacemos para calcular el valor que tendrá g a nivel del mar M habrá que sumar $0,3086 h$ a la gravedad observada.

2.3.2.2 Corrección de Bouguer.

Esta corrección, se la calcula hallando el efecto gravífico del terreno comprendido entre el nivel de la estación y el nivel del mar, suponiendo que la estación se ha hecho en un plano topográfico horizontal. El efecto de la topografía del terreno (separación real del relieve del plano ficticio horizontal) será objeto de la corrección topográfica. El efecto gravífico sobre la unidad de masa de una capa infinita de altura h y densidad δ es $2\pi K\delta h$.

Donde K es la constante de gravitación universal y δ densidad media de la corteza terrestre $= 2,67 \frac{gr}{cm^3}$ (en prospección se sustituye por la densidad media de la zona en la cual se está trabajando), con lo que sería: $0,1119 \text{ mGal por metro}$.

Como estamos reduciendo al nivel del mar este valor habría que restarlo de la gravedad observada. Por lo general se reúne las anomalías de Bouguer y aire libre en una sola y llamarla correcciones de altura o corrección combinada que sería:

$$Ch = 0,3086h - 0,1119h = 0,1967h$$

Cuyo valor hay que sumar a la gravedad observada.

2.3.2.3 Corrección topográfica.

La corrección topográfica tiene en cuenta el efecto de la topografía alrededor de la estación. Para esta corrección al igual que en la de Bouguer influye la densidad del terreno.

2.3.3 Con el tiempo.

2.3.3.1 Efecto de las mareas.

Depende de la posición astronómica y de la latitud del sol y la luna que son los causantes de este efecto, produciendo una deformación en la superficie marina. Este efecto actúa sobre los gravímetros dando lugar a un efecto luni-solar o de las mareas. Su amplitud máxima puede llegar en total a 0.3 mGal, pero su variación máxima es de 0.5 mGal por hora.

2.3.3.2 Deriva instrumental.

Este es un efecto debido a la fatiga del sistema de muelles, o variación de la temperatura, pues al ser un instrumento de precisión se produce una variación con el tiempo de lectura de una estación llamado deriva instrumental. El cambio aparente en la gravedad en una misma estación puede ser desde algunas milésimas de *u.g* hasta 10 *u.g* por hora (Parasnis, 1962). También existen otras variaciones incontroladas e incontrolables como el efecto luni-solar o efecto de las mareas.

2.3.3.3 Reducción de la gravedad al geoide.

La reducción de la gravedad observada a nivel del mar que incluye las correcciones mencionadas, es lo que comúnmente se llama reducción de la gravedad al geoide, esta gravedad reducida al geoide habrá que compararla con la gravedad teórica, con el fin de reducir las anomalías de la gravedad.

2.4 Mediciones de la gravedad

Como se dijo anteriormente, la gravedad es una aceleración, su medida debería involucrar simplemente determinaciones de longitud y tiempo, la fuerza de la gravedad es igual a la aceleración de la gravedad medida en las mismas unidades. En el sistema cegesimal la unidad de aceleración es 1 cm/seg. en cada segundo. La unidad se llama gal por tanto:

$$1 \text{ miligal} = 10^{-3} \text{ gales}$$

Como la aceleración normal de la gravedad $g = 981$ gales, 1 miligal es aproximadamente una millonésima de g . Se distinguen principalmente dos tipos de medidas: las absolutas y relativas. Las medidas de gravedad absoluta se realizan con péndulos y caída libre.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1 Trabajo de campo

3.1.1 Validación de información Existente.

El trabajo de gabinete fue uno de los primeros pasos para realizar la presente investigación, lo cual consistió primeramente en la recopilación de la información suficiente que nos permita tener una base topográfica y geológica que abarque el área de estudio, así como la revisión de manuales de los equipos a utilizarse en campo (Scintrex CG-5 Autograv y Trimble R6) y los respectivos softwares para la corrección de datos, creación de modelos gravimétricos etc. También se revisaron trabajos gravimétricos previamente realizados. El análisis conjunto de toda la información anteriormente mencionada conllevó un conocimiento previo a los trabajos de campo lo cual nos ayudó a una mejor recopilación de información posterior. Se usó una base topográfica a escala 1:50 000 georreferenciado al datum WGS84, zona 17 hemisferio Sur del portal del IGM. La geología regional se tomó de los trabajos realizados por Kennerley (1973), Hungerbühler (1997) y Hungerbühler et al. , (2002). Los softwares que se usaron para el procesamiento de datos fueron; UltrEdit, CICLOS, ANOM07, Global Mapper, GravMaster, PERFIL, Grav-mag, paulatinamente desde el procesamiento hasta la construcción de los modelos del relleno las cuencas sedimentarias.

3.1.2 Levantamientos de datos gravimétricos.

Para esta etapa se utilizó un gravímetro digital Autograv Scintrex CG-5 para la toma de datos en campo el cual posee una precisión de 0.001 mGal, y un GPS diferencial TRIMBLE R6 con un precisión milimétrica (Figura 3.1), complementariamente a esto se dispuso de un gps de mano para la localización de los puntos previamente establecidos.

Se realizó la toma de datos gravimétricos de un total de dos perfiles estratégicamente ubicados en la cuenca de Vilcabamba de 6.5 y 10.5 kilómetros de longitud con una orientación SW-NE. Se establecieron un total de 51 estaciones gravimétricas (Figura 3.2) con una separación de 250 metros entre cada punto de medida en perfiles que cruzan toda la cuenca hacia los bordes de rocas de basamento, según Parasnis (1962) para fines tales como la detección de fallas y estructuras, el espaciado puede ser configurado según el caso, y es común establecer las estaciones gravimétricas a lo largo de carreteras. La obtención de datos se realizó por ciclos de medida, empezando por tomar al principio y final de cada campaña el valor de la gravedad absoluta ubicada en la UTPL que fue establecida en el año 2010 cuyo valor es de 977432.01 mGal a la que estarán referidas nuestra medidas gravimétricas. EL Gravímetro fue calibrado 48 horas antes de empezar las campañas de medición, durante este tiempo se corrigió la deriva continental por 24 horas procurando que sea siempre lineal. En cada estación gravimétrica se registraron medidas de gravedad, coordenadas, error en un

rango de 0.001-0.005, desviación estándar máximo hasta 0.04 (Scintrex Limited, 2009), condiciones climáticas, fecha y hora, además de los datos geológico-estructurales. EL gravímetro debe estar correctamente nivelado y el tiempo del ciclo de medida será de 60 segundos evitando el movimiento a los alrededores.



Figura 3. 1 Equipos utilizados para la toma de datos
Fuente: Avila, 2015

La toma de coordenadas geográficas se la realizó con un GPS diferencial Trimble R6 en el modo faststatic (Figura 3.1), para este procedimiento se colocó una estación base en las coordenadas 697046.044, 9528491.306 en la ciudad de Vilcabamba, misma que en un radio de diez kilómetros abarca las dos líneas. El equipo consta de dos antenas (base y móvil) y un controlador manual con conexión a bluetooth, lo cual usaremos en cada estación gravimétrica para una ubicación mucho más exacta, el tiempo por cada estación fue de 5 minutos con un mínimo de 4 satélites para evitar puntos flotantes. Los datos en bruto obtenidos serán procesados y corregidos posteriormente. Se procuró salir a las campañas de campo en días con clima favorable para evitar las anomalías en las coordenadas y posibles daños en los equipos. Las estaciones gravimétricas se tomaron lo más cerca posibles a su ubicación en el mapa que previamente fueron definidas, debido a la dificultad para llegar a los lugares exactos por carecer de vías de acceso.

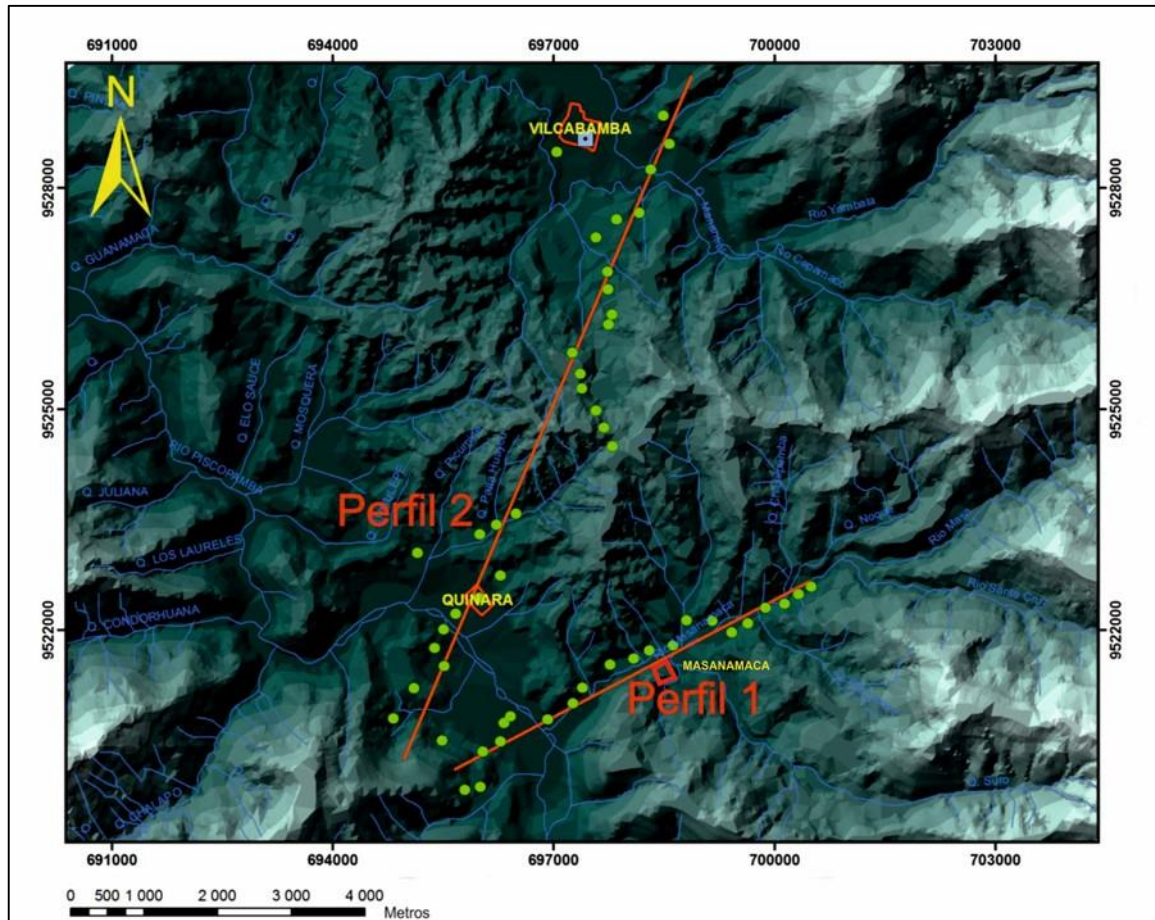


Figura 3. 2 Localización de las estaciones gravimétricas
Fuente: Avila, 2015

3.1.1 Levantamiento de datos geológico-estructurales.

El levantamiento geológico-estructural se lo realizó con el fin de establecer una correlación conjunta con el modelo gravimétrico previo. Se lo hizo paralelamente con levantamiento de datos gravimétrico en los afloramientos cercanos a las estaciones gravimétricas y posteriormente en una campaña de mapeo geológico para el reconocimiento de formaciones y estructuras. Se usó como base geológica el mapa de Kernnerley (1976). En cada afloramiento se tomaron datos geológicos y estructurales, cuando fue posible, se hizo una descripción litológica, toma de fotografías y muestras. Se dispuso de un vehículo para cubrir los afloramientos usando las vías de acceso, senderos y caminos, además de un GPS portátil (Garmin eTrex H) para la localización de los puntos en el mapa. La información obtenida fue registrada en una libreta de campo para su posterior análisis.

3.2 Trabajo de gabinete

3.2.1 Procesamiento de datos de campo.

En las campañas de campo anteriores se obtuvieron coordenadas de ubicación geográfica y datos gravimétricos, el siguiente paso consiste en aplicar una serie de filtros o correcciones mediante el uso de softwares. Las coordenadas fueron procesadas en el software Trimble Business Center, el cual nos permite editar los puntos y obviar los intervalos que carecen de señal de satélites. Una vez corregidas se exportan en un archivo con formato PDF.

Para el procesamiento de los datos gravimétricos será necesario hacer correcciones de aire libre debido al efecto de la altitud de las estaciones con respecto al datum, correcciones de Bouguer que es la atracción que ejerce la masa que hay entre la elevación de las estaciones y el datum, y por último las correcciones topográficas para lo cual se cuenta con las coordenadas geográficas.

Mediante el programa CICLOS (versión 11, 1996-2010) se corrige los valores para cada una de las estaciones gravimétricas. Para este programa será necesario un formato de entrada txt y nos generara un archivo con formato CIC, luego de esto utilizaremos el programa ANOM07(versión 11, 1996-2010), aquí se utilizara las coordenadas de la estación de ajuste y una densidad de $2,67 \text{ g/cm}^3$ para las rocas de basamento y de $2,3 \text{ g/cm}^3$ para el relleno sedimentario.

3.2.2 Corrección Topográfica.

La corrección topográfica que tiene en cuenta el efecto de la topografía alrededor de la estación, influye también la densidad (al igual que Bouguer será de $2,67 \text{ g/cm}^3$), para la cual se utilizó el programa GravMaster que utiliza el método de los círculos de Hammer (Hammer, 1982) y se usó como referencia un modelo digital del terreno SRTM 3 que cubre nuestra zona. El programa nos dará como resultado una anomalía residual. Por último en el programa PERFIL11 se procedió a unir los datos obtenidos en cada campaña correspondientes a cada perfil, estos fueron los archivos que utilizamos para la construcción de los modelos gravimétricos.

3.2.3 Procesamiento de modelos con GravMag.

Los modelos del relleno sedimentario los generaremos en el programa GravMag (V1.7), el cual nos permite elaborar polígonos a partir de los datos corregidos obtenidos en las campañas de campo. El programa nos muestra una anomalía observada y una calculada las cuales debemos ajustarlas creando un polígono basándonos en la geología local de la zona, las densidades que se tomaron fueron de 2.3 g/cm^3 para el relleno sedimentario que se encuentra al centro de la cuenca y una densidad de 2.67 g/cm^3 para el basamento metamórfico que se encuentra a los bordes (Unidad Chigüinda). Los polígonos se construyen en el sentido de las manecillas del reloj hasta lograr que el modelo gravimétrico se ajuste entre la anomalía observada y la calculada y sea geológicamente correcto. Basándonos en el modelo obtenido se procede a realizar la interpretación geológica, tomando en consideración los datos geológicos de campo que permitan hacer una correlación al modelo gravimétrico generado.

3.2.4 Elaboración de mapas de anomalías.

Para la elaboración de mapas de anomalías se dispuso de las cotas de cada una de las estaciones gravimétricas con sus respectivas anomalías de Bouguer. Tomamos los datos procesados en el programa PERFIL (versión 11, 1996-2010), de las dos líneas gravimétricas (51 estaciones) y las importamos desde el programa Surfer (versión 9.2015), generamos el mapa y ubicamos las coordenadas de las estaciones gravimétricas. Este mapa nos servirá como referencia para ubicar las zonas con mayor profundidad.

CAPÍTULO IV
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Geología local

Con el levantamiento de datos gravimétricos se realizó paralelamente un levantamiento geológico estructural que permitió constatar los trabajos realizados anteriormente en nuestra zona, tomando como base el Mapa geológico de Ecuador, hoja de Gonzanamá (57) de Kennerley, J.B. y Almeida, L. (1973). y el estudio realizado por Hungerbühler (1997). Para la elaboración del mapa geológico se hizo un recorrido de las zonas de contacto reconociendo límites entre las litologías existentes previamente establecidas, identificando macroscópicamente rocas metamórficas correspondientes a la Serie Zamora Kennerley (1973) y nombrada Unidad Chigüinda por Litherland et al., (1994) que conforma el basamento de la cuenca, en contacto con rocas volcánicas y relleno sedimentario.

4.1.1 Rocas Metamórficas.

Se compone principalmente de rocas metamórficas de bajo grado de la Unidad Chigüinda (Litherland et al., 1994) de edad Devónica a Pérmica consta de cuarcitas, filitas y esquistos grafitosos. En la parte Suroccidental de nuestro polígono en el sector de Quinara afloran esquistos grafitosos (Figura 4.1) y a lo largo de la vía Quinara-Masanamaca encontramos cuarcitas y esquistos (Figura 4.2). Estas rocas continúan desde el SSW y por el borde oriental desde el SE a NE hasta el sector de Yamburara en Vilcabamba.

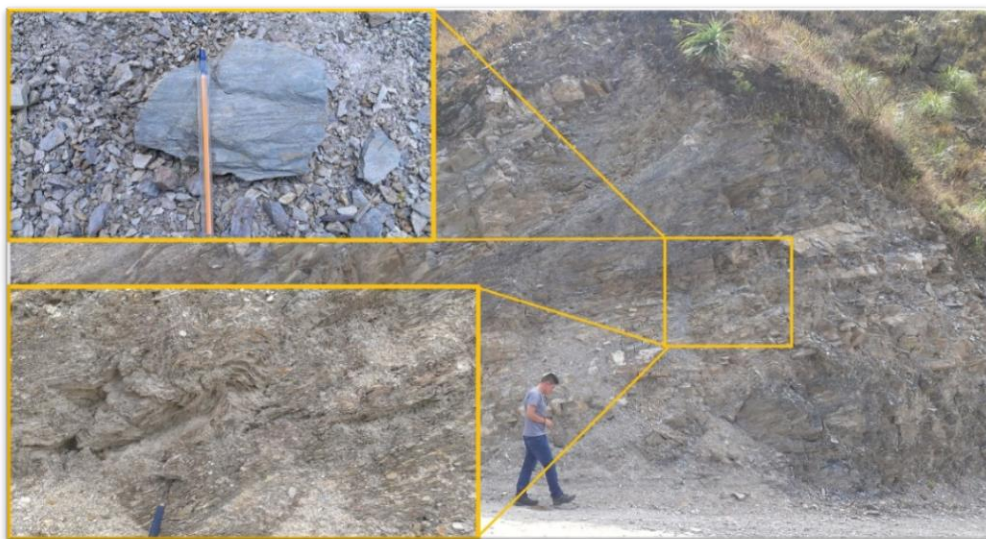


Figura 4. 1 Esquistos grafiticos de la Unidad Chigüinda al SW en el sector de Quinara.
Datos estructurales: Az: 251°, Bz: 20°
Fuente: Avila, 2015



Figura 4. 2 Cuarcitas en el sector Quinara, vía Quinara-Masanamaca.
Fuente: Avila, 2015

4.1.2 Rocas Volcánicas.

Las rocas volcánicas encontradas corresponden a la formación Loma Blanca (Kennerley y Almeida, 1975) que posteriormente Hungerbühler (1997) dio el nombre de formación Quinara. Consta de tobas aglomeráticas acidas blancas (Figura 4.3). Estas rocas afloran en su mayoría hacia el sur y suroeste del polígono, en el sector de Quinara a lo largo de río Piscobamba, están dispuestas discordantemente sobre la Unidad Chigüinda y cubierta concordantemente con la formación Cerro Mandango (Figura 4.4), que son observables también en el sector de Masanamaca.



Figura 4. 3 Formación Loma Blanca, Tobas aglomeráticas.
Fuente: Avila, 2015

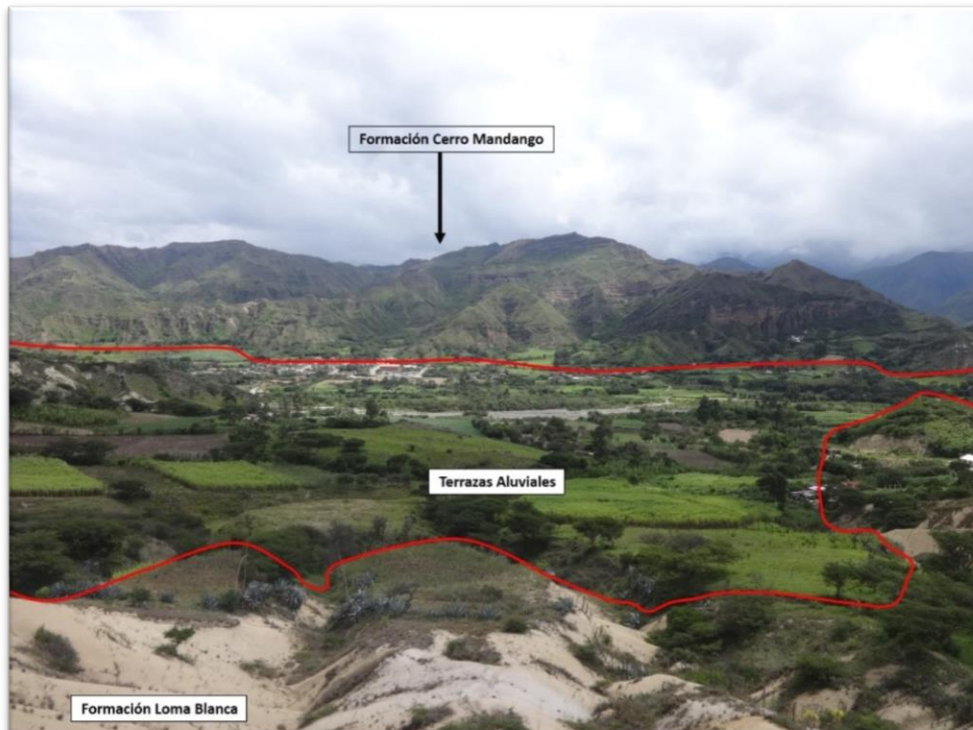


Figura 4. 4 Formación Cerro Mandango y Loma Blanca.
Fuente: Avila, 2015

4.1.3 Rocas Sedimentarias.

Están formado por conglomerados con intercalaciones de areniscas de la formación Cerro Mandango que afloran en toda la extensión del polígono, cuya edad se sitúa en el Mioceno Terminal. A lo largo de la vía Masanamaca-Yangana al SE afloran conglomerados con clastos angulosos, mal clasificados, se componen de rocas metamórficas, esquistos y filitas que corresponderían a la Unidad Chigüinda (Figura 4.5) mientras que en la parte central de la cuenca en el sector Quinara se observan conglomerados con una matriz limo-arcillosa, con clastos redondeados que se intercalan con paquetes de arenisca de potencia hasta de 1 m (Figura 4.6-A). Hacia el norte a lo largo de la vía Masanamaca-Vilcabamba los conglomerados presentan una mejor clasificación (Figura 4.6-B).

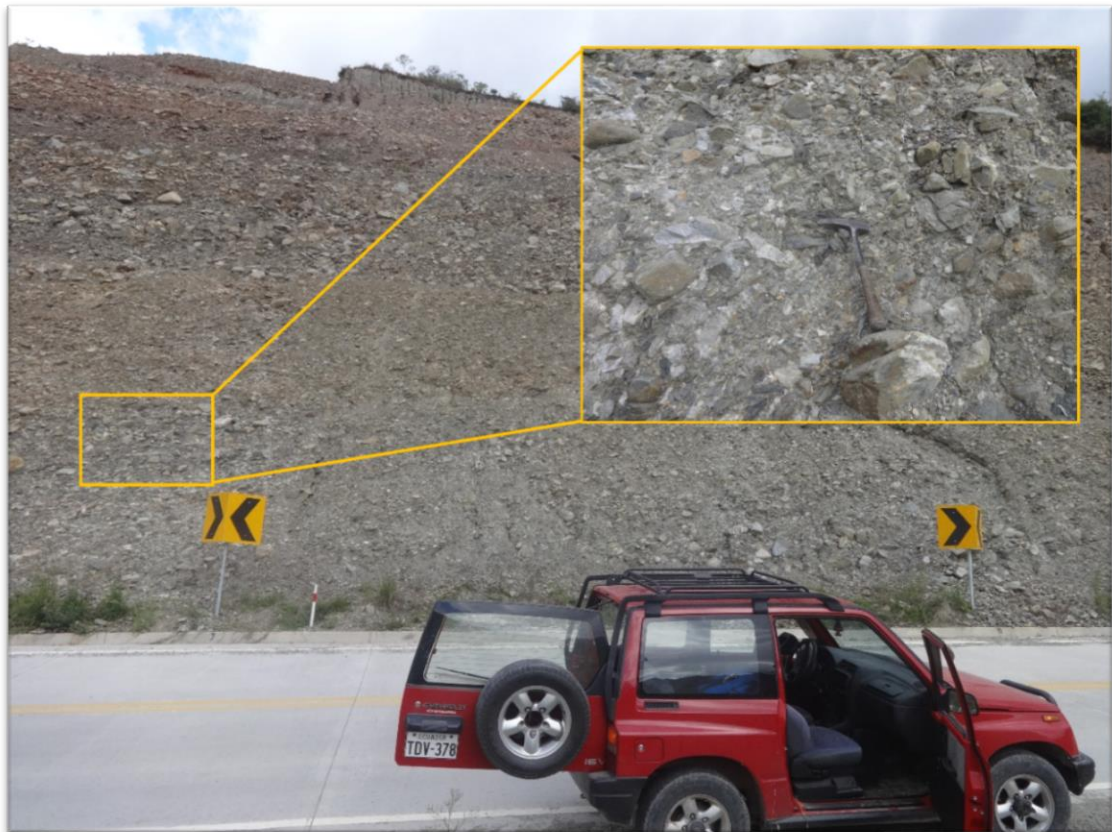


Figura 4.5 Conglomerados hacia la parte SW clastos angulosos metamórficos caóticos.
Fuente: Avila, 2015



Figura 4. 6 -A-. Conglomerados en el sector Quinara, clastos redondeados mal clasificados con paquetes de areniscas. -B-. Conglomerados en la vía Masanamaca-Vilcabamba, clastos redondeados bien seleccionados con paquetes de areniscas.

Fuente: Avila, 2015

4.1.1 Depósitos aluviales.

Los depósitos aluviales los encontramos mayormente a lo largo del río Piscobamba formando terrazas medias y bajas las cuales han sido empleadas para diferentes cultivos por moradores del sector. Consta de clastos metamórficos (cuarcitas, filitas, pizarras, esquistos) y sedimentos finos, arenas. Se desconoce su potencia pero se asume que está entre los 10 a 15 metros de espesor.

4.2 Estratigrafía y estructuras

La interacción entre la Placa de Nazca, que subduce bajo la placa continental Sudamericana produjo el levantamiento y formación de la Cordillera de los Andes y paralelo a esto la creación de cuencas sedimentarias intramontañosas del Ecuador, desarrolladas a partir del Oligoceno. Los esfuerzos inducidos por la dinámica de estas placas originan fuerzas mecánicas que condicionan el desarrollo de las cuencas sedimentarias. La secuencia estratigráfica propuesta por (Hungerbuhler, 1997) y que forma parte del polígono de estudio (Figura 4.7) tiene como basamento rocas metamórficas de la Unidad Chigüinda afectada por dos fallas normales de borde, que han sido consideradas por Kennerley (1973) debido a fuerzas distensivas que afectan la cuenca y que limitan el relleno sedimentario compuesto por rocas detríticas del Mioceno Medio y Superior. Discordantemente sobre la Unidad Chigüinda se depositan rocas volcánicas de la formación Loma Blanca que afloran principalmente al sur y están parcialmente cubiertas de manera concordante por la formación Cerro Mandango. La

estratificación de la formación Cerro Mandango se dispone de tal manera que en su base forma un sinclinal con una orientación SSE-NNW y siendo subhorizontales hacia el techo de la formación (Cerro Mandango), consta de conglomerados con clastos que van desde sub angulosos hacia el sur a redondeados a medida que vamos hacia el norte, de la misma manera la clasificación es mejor hacia el centro de la cuenca donde se intercala con paquetes de areniscas. La profundidad de la cuenca va aumentando de sur a norte así como la clasificación de los clastos.

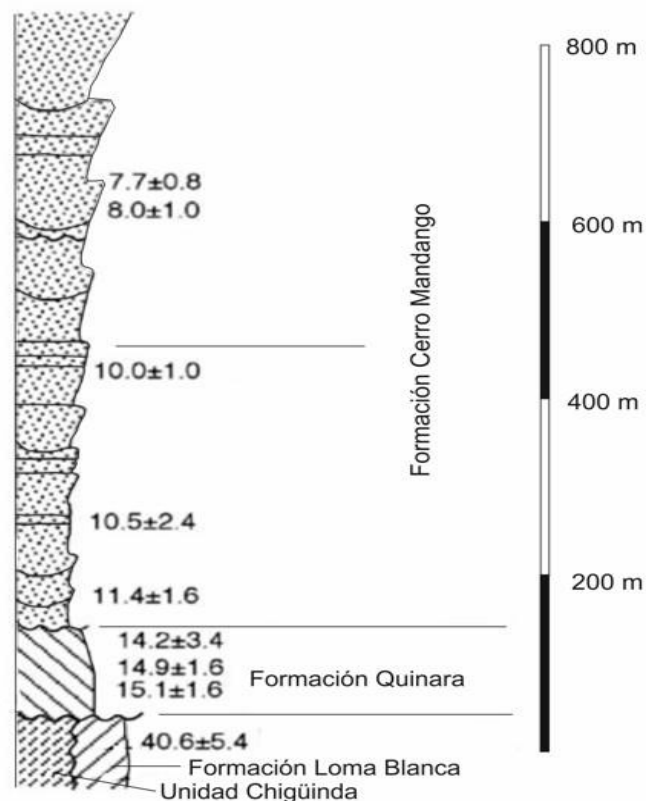


Figura 4. 7 Columna estratigráfica de la cuenca de Vilcabamba.
Fuente: Hungerbühler (1997)
Elaboración: Avila, 2015

Las fallas normales de borde se extienden desde el sur de la cuenca, y continúan hacia el norte, especialmente la falla del borde oriental. Se observan plegamientos de las rocas de basamento tanto en borde oriental como en el borde occidental debido a los esfuerzos de compresión lo que ha provocado el fracturamiento de las rocas y la formación de microplegues. Estas fuerzas de compresión en sentido este-oeste han dado origen a la formación posterior de un sinclinal en la formación Cerro Mandango, siendo únicamente visible en la base (muro) de esta formación en toda la cuenca. La dirección preferencial del

eje del pliegue se extiende de SE a NNW donde la estratificación cambia a subhorizontal en el techo de la formación. Para el resto de la cuenca no ha sido visible el plegamiento, más bien los estratos de la formación San José y Santo Domingo la tendencia de buzamiento en la cuenca es hacia el ESE.

4.3 Modelos gravimétricos y correlación geológica.

Las variaciones de la densidad de las rocas en la corteza se reflejan en el mapa de anomalía de Bouguer (Figura 4.8), los valores de la distribución de anomalías gravimétricas son negativos para la región y están comprendidos entre -194 y -211 mGal (Feininger & Seguin, 1983), que corresponden a una corteza continental netamente engrosada (Galindo, 2010). Los valores de anomalías -195 a -199 mGal, tienden hacia la parte oeste de la cuenca, lo cual nos indica una mayor profundidad en el relleno sedimentario. Con los modelos gravimétricos se establece una relación entre las anomalías más significativas con las principales estructuras de la zona.

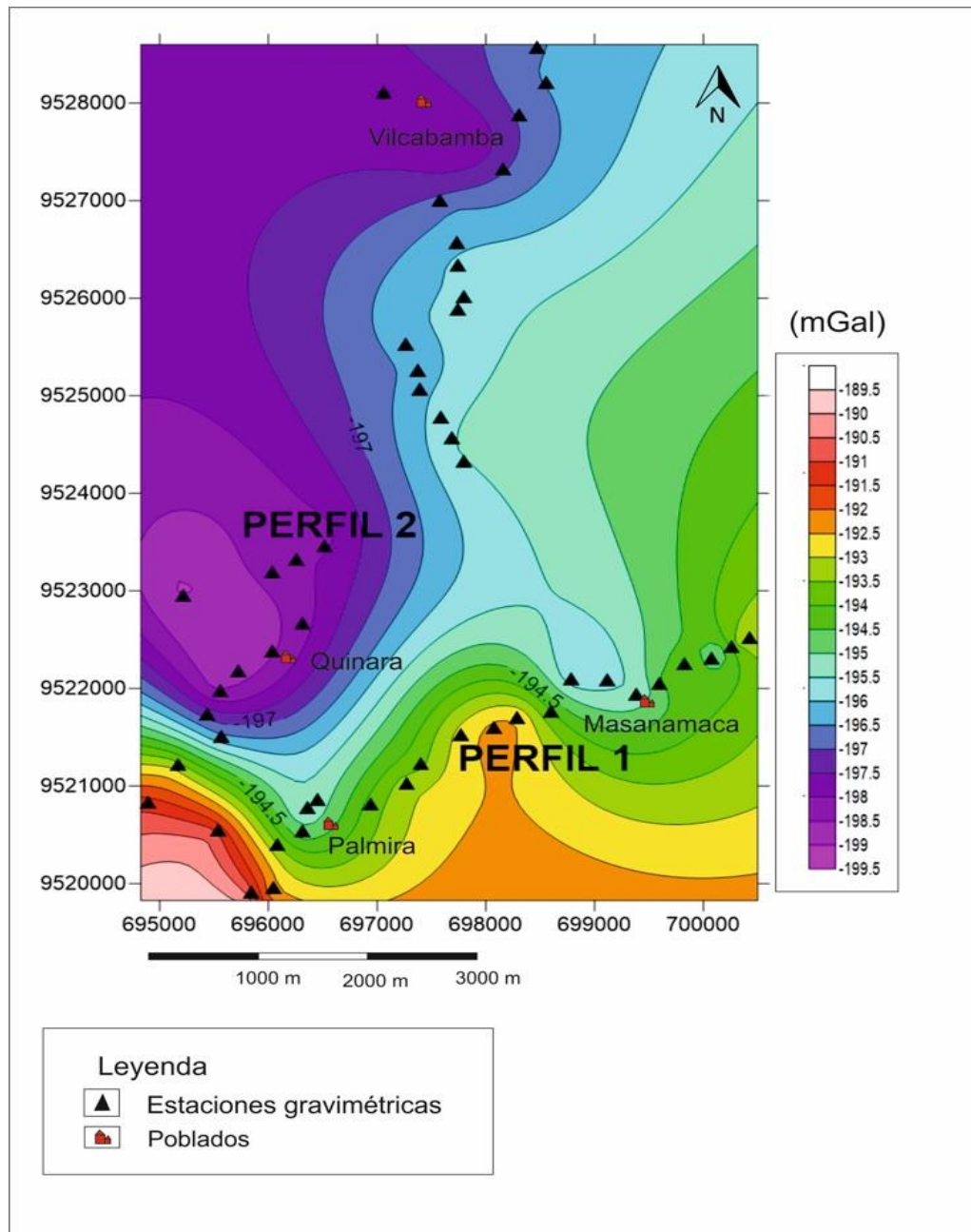


Figura 4. 8 Mapa de anomalía de Bouguer y estaciones gravimétricas.
Fuente: Avila, 2015

Se han obtenido 2 perfiles gravimétricos, con sus respectivos perfiles geológicos que corroboran el mapa de anomalías de Bouguer, con una dirección SW-NE de 6.5 y 10.5 kilómetros y 51 estaciones gravimétricas distribuidas entre los dos con una separación de 250 metros entre cada una. La densidad usada para los modelos gravimétricos es de $2,3 \text{ g/cm}^3$ para el relleno sedimentario y $2,67 \text{ g/cm}^3$ para el basamento metamórfico.

Interpretación perfil 1 (A-A')

El perfil gravimétrico tiene una longitud de 6500 metros, con una orientación SW-NE, cruza toda la cuenca hacia los bordes de rocas de basamento. Según el modelo gravimétrico la mayor profundidad la encontramos al SW con un máximo de 600 metros y hacia el NE con un máximo de 400 metros, disminuyendo hacia la parte central hasta un grosor de 100 metros. Los valores de anomalía residual alcanzan los -5 mGal en el lado más profundo. Entre las estructuras presentes encontramos dos fallas normales de borde que delimitan el basamento con el relleno sedimentario en cada extremo del perfil. (Figura 4.9)

EL levantamiento geológico-estructural permite elaborar el perfil geológico A-A', encontrando rocas metamórficas del basamento hacia los bordes, sobre las cuales sobreyacen discordantemente y separadas por fallas normales, rocas volcánicas de la formación Loma Blanca tanto en el borde oeste como en el borde este. Hacia el centro de la cuenca se depositan concordantemente sobre la formación Loma Blanca, conglomerados de la formación Cerro Mandango y terrazas aluviales a lo largo del río.(Figura 4.10)

Los límites de la cuenca son fallas normales de borde producto de fuerzas distensivas que produjeron el hundimiento y posterior relleno. Pese a que no se puede hallar evidencia en superficie, la presencia de micro pliegues en rocas de basamento en los bordes de la cuenca, marca el hecho de que fuerzas comprensivas postdeposicionales actuaron produciendo una deformación del basamento metamórfico, así mismo una estructura sinclinal posterior a la depositación corrobora la presencia de dichas fuerzas compresionales que ha sufrido en el centro de la cuenca.

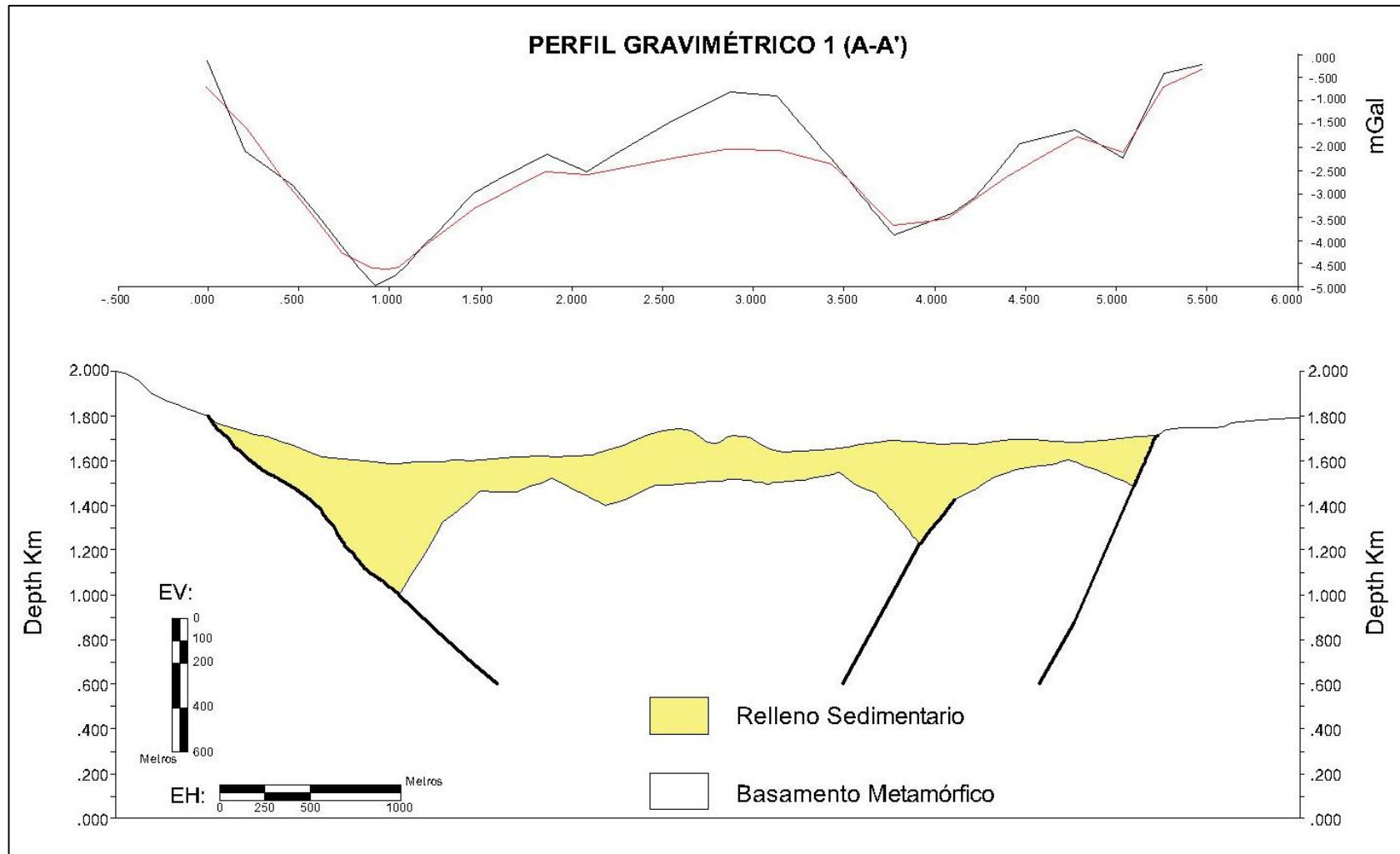


Figura 4. 9 Modelo gravimétrico
Fuente: Avila 2015

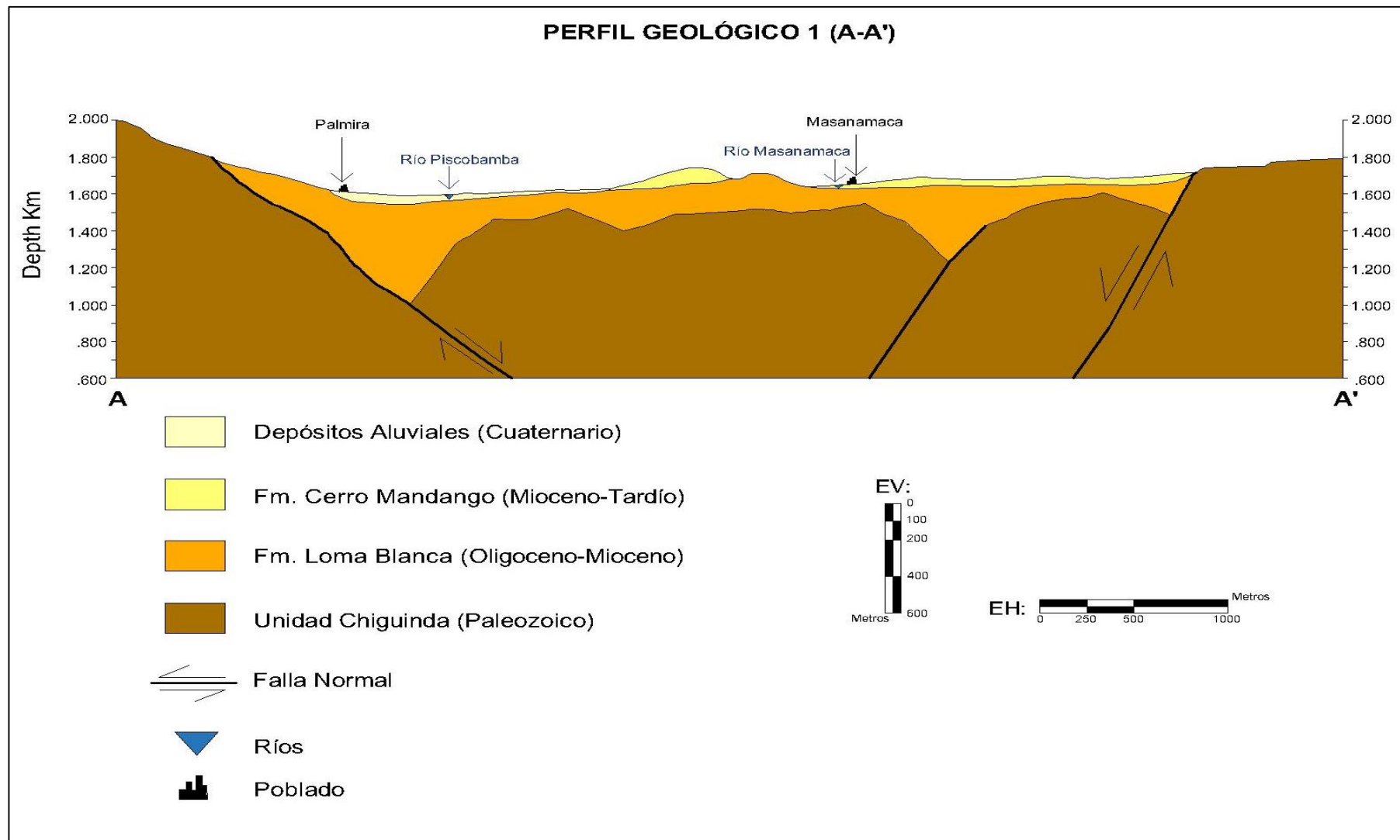


Figura 4. 10 Modelo Geológico
Fuente: Avila 2015

Interpretación perfil 2 (B-B')

El perfil gravimétrico tiene una longitud de 10500 metros, con orientación SW-NE con tendencia más hacia el norte, el mismo que atraviesa la cuenca hacia los bordes de rocas de basamento. El modelo gravimétrico permite interpretar la profundidad del relleno sedimentario, obteniendo una profundidad de 800 metros en la parte suroccidental con anomalías hasta de -7.5 mGal, mismo que disminuye en la parte central con un promedio de 200 metros de potencia y 400 metros en su extremo nororiental (Figura 4.11). De igual manera que el anterior perfil gravimétrico está afectado por dos fallas normales de borde debido a fuerzas de extensión que han afectado a la cuenca. En el perfil geológico B-B' (Figura 4.12) observamos la misma secuencia estratigráfica definida en el perfil A-A'. La formación Loma Blanca se encuentra en menor proporción aflorando solamente en la parte suroccidental. Este perfil es el más próximo a las mayores anomalías por lo que la zona más profunda del relleno sedimentario está al SW, disminuyendo la potencia del relleno hacia el NE conforme el modelo gravimétrico (Figura 4.11). Aquí se observa con mayor claridad el sinclinal con una estratificación horizontal hacia el techo de la formación (Cerro Mandango) en el centro de la cuenca.

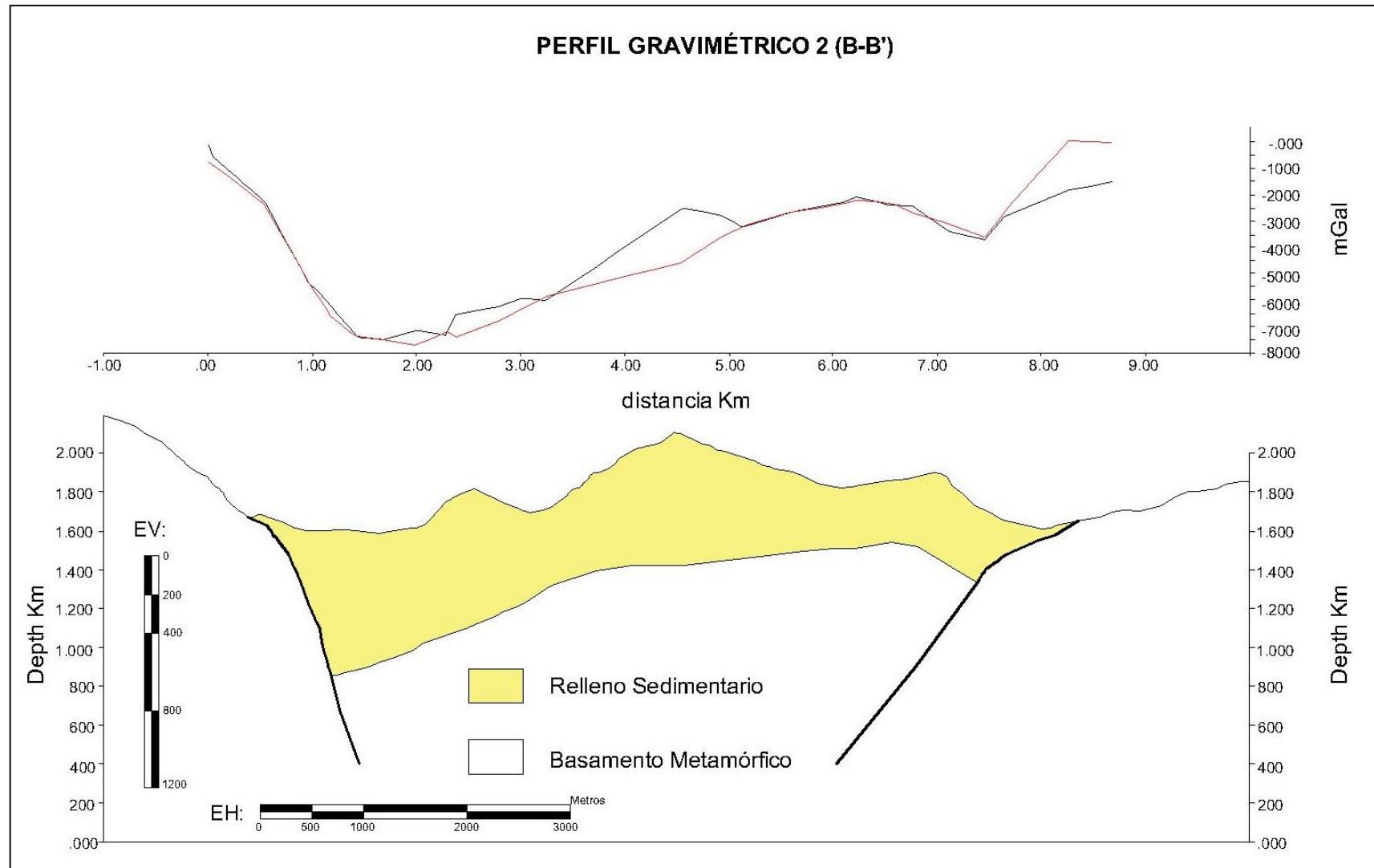


Figura 4. 11 Modelo Gravimétrico
Fuente: Avila 2015

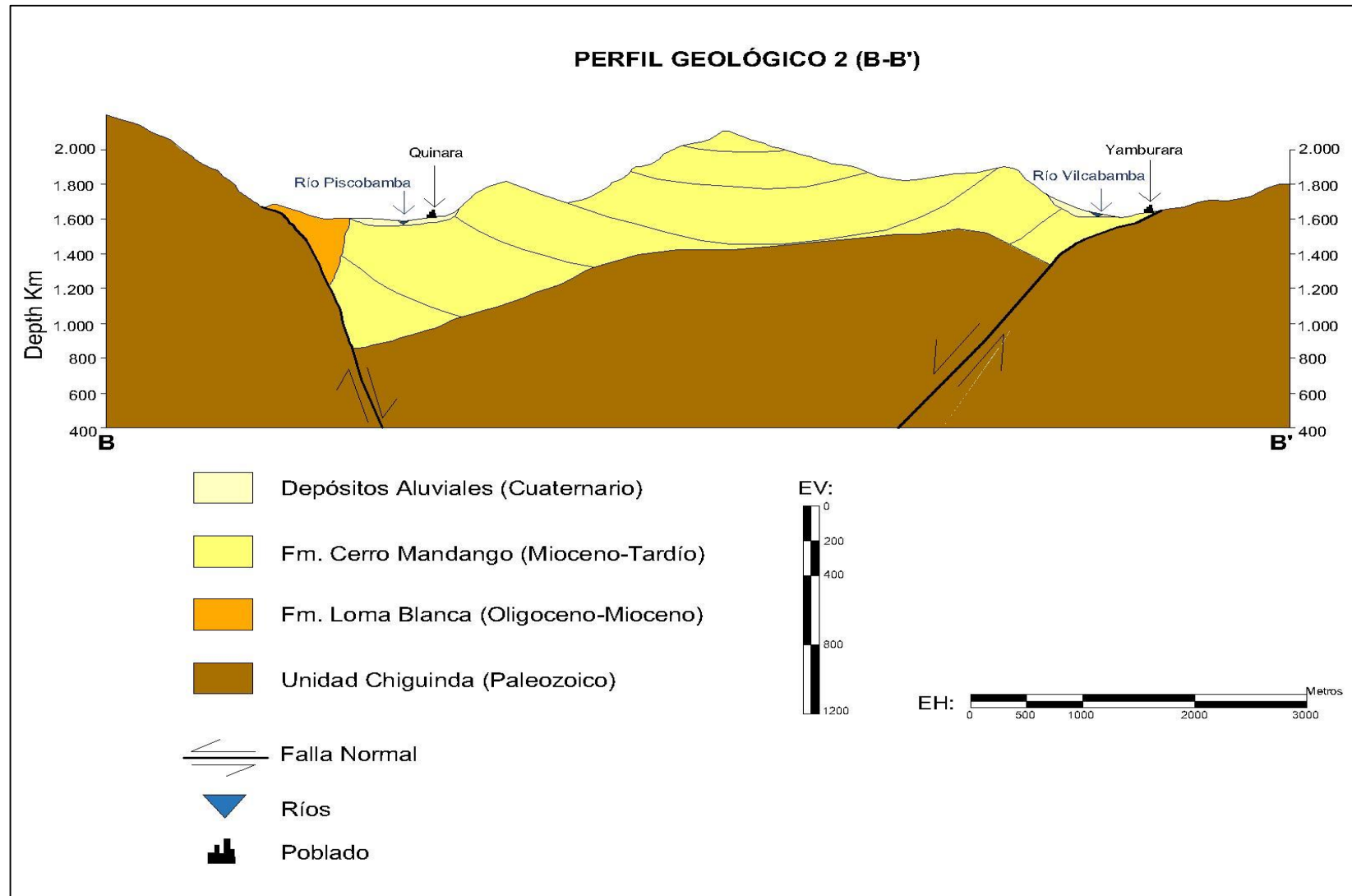


Figura 4. 12 Modelo Geológico
Fuente: Avila 2015

4.4 Discusión de resultados

Los modelos gravimétricos nos muestran una mayor profundidad hacia la parte occidental de la cuenca ya que los valores anómalos están entre -5 mGal hasta -7.5 mGal, que indican el engrosamiento del relleno sedimentario con profundidades entre 600 a 800 metros. Hacia el borde oriental de la cuenca la profundidad disminuye hasta los 400 metros. En el perfil B-B' la potencia en su zona central es menor y esto se debe por la falta de datos en un tramo de 2 km aproximados, ya que las condiciones topográficas del terreno dificultaron el transportar el equipo, por lo que fue necesario hacer una interpolación de datos.

Por las condiciones geográficas del terreno, no ha sido posible levantar datos más hacia al norte de la zona de estudio, pero se puede correlacionar que la mayor profundidad del relleno sedimentario se encuentra orientado hacia el borde W de la cuenca, donde existen relieves abruptos formados por la erosión intensa que ha sufrido la formación Cerro Mandango y que es visible en el pico que lleva su mismo nombre. En el mapa de anomalías de Bouguer se nota que la distribución de valores más altos se concentra en la parte NW.

Los dos perfiles interpretados mediante los modelos gravimétricos y correlacionados con la geología de la zona indican la presencia de fallas normales de borde, que limitan la cuenca, formando una estructura de basamento irregular, que habría sufrido deformación por la posterior compresión de la cuenca, y que ha afectado la posición de los sedimentos ya que esta zona es la terminación de la cuenca sedimentaria. La falla oriental propuesta por Kennerley (1973), mediante este estudio, se pudo corroborar una con ubicación más exacta desplazándola un poco más hacia el oeste. Esta falla continua hacia el norte delimitando el borde oriental de toda la cuenca con tendencia de buzamiento al W-SW. Así mismo el margen occidental la cuenca, está limitado por falla normal, en esta zona la falla buza hacia el E-NE.

En el modelos gravimétricos A-A', se ha determinado una falla inferida en el borde SE de la cuenca, interpretado mediante el modelo gravimétrico, corroborando la propuesta por Kennerley (1973), que atraviesa el borde este de la cuenca.

CONCLUSIONES

- La zona de estudio está formado por rocas sedimentarias de la formación Cerro Mandango y rocas volcánicas de la formación Quinara, que descansan discordantemente sobre la rocas metamórficas de la Unidad Chiguinda.
- Tectónicamente la cuenca fue afectada por dos grandes eventos, primero por fuerzas distensivas que produjeron fallas normales de borde formando una estructura tipo semigraben que posteriormente se rellenó con depósitos sedimentarios, volcánicos y cuaternarios, y fuerzas compresivas que definieron la actual posición de los sedimentos.
- Las fallas limitan el basamento de rocas metamórficas con el relleno sedimentario, que corresponde en su mayoría a la formación Cerro Mandango, la cual se dispone en una estructura tipo sinclinal con dirección SSE-NNW.
- Las anomalías gravimétricas determinan una geometría asimétrica de la cuenca, afectado por dos fallas normales que se ubican en los bordes de la cuenca sedimentaria que limitan con las rocas de basamento.
- Las mayores anomalías se registran a los márgenes de cada perfil con valores -5 mGal y -8 mGal en el oeste y valores de -3.5 y -4 mGal al este, que indican la mayor profundidad de la cuenca.
- Se asume una profundidad de 600 a 800 metros para el borde occidental con un estrechamiento hacia la parte central de 200 a 100 metros en el perfil A-A' que indica el cierre de la cuenca y se ensancha nuevamente en la parte este hasta una profundidad de 600 metros que asume la mayor profundidad hacia el lado oeste de la cuenca.
- Las fallas propuestas por Kennerley (1973) en los márgenes este y oeste, que continúan hacia el norte, fueron determinadas en las variaciones de anomalías en los modelos gravimétricos, por lo que se confirma las fallas existentes en el mapa geológico regional.

RECOMENDACIONES

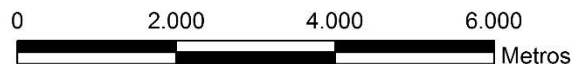
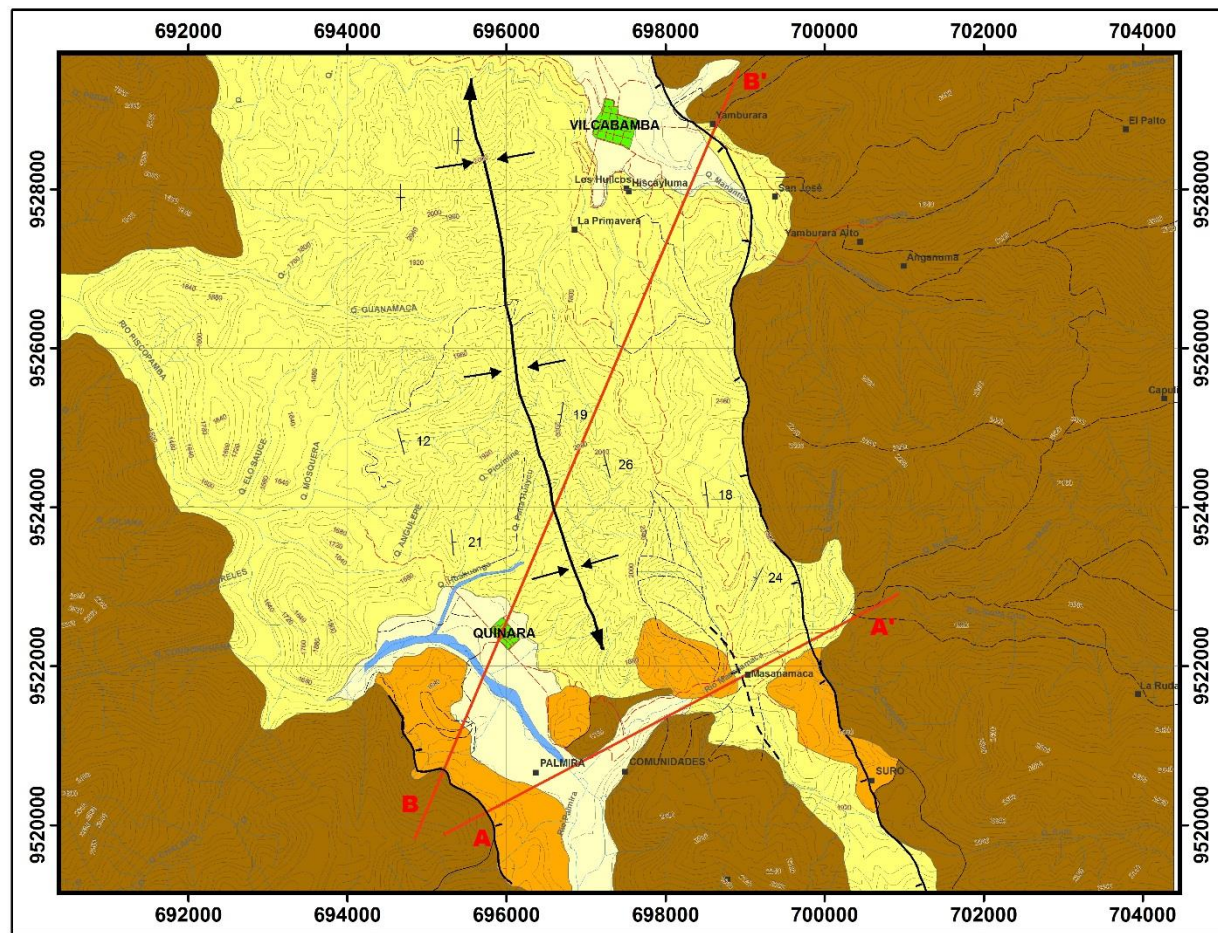
- El gravímetro debe ser conectado para precalentamiento y carga de baterías 24 horas antes de cada salida, si el equipo ha estado sin uso durante mucho tiempo hay que realizar la corrección de deriva instrumental.
- Es importante configurar el gravímetro con un delay o tiempo de espera del gravímetro para comenzar la lectura de datos, una vez que el equipo está en funcionamiento se debe procurar quedarse quieto hasta que termine la toma de datos, evitar también tomar datos cuando se aproximan vehículos ya que esto afecta los valores de la gravedad.
- La geología de campo es esencial y debe realizarse paralelamente al levantamiento de datos gravimétricos.
- Durante el procesamiento de datos se debe tomar en cuenta la dirección de los perfiles y su continuidad al unir los puntos de cada ciclo de medida.
- Se recomienda el levantamiento de más líneas gravimétricas para realizar una mejor correlación, así como microgravimetría en zonas específicas.
- Es necesario realizar un análisis cuantitativo del relieve con indicadores geomórficos para considerar rasgos estructurales activos mediante análisis de sinuosidad del frente montañoso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cantos, J. (1987). Capítulo II: Métodos Gravimétricos. En J. Cantos (3ª ed.). *Tratado de Geofísica Aplicada* (pp. 35-95). Madrid.
- Galindo, J., Soto, J., Ruano, P., Tamay, J., Lamas, F., Guartán, J.,... y Paladines, A. (2010). Gravimetría y estructuras de la cuenca neógena de Loja a partir de datos gravimétricos (Andes Ecuatorianos). *Geogaceta*, 48.
- Griffiths, D. H., & King, R. F. (1972). *Geofísica Aplicada*. Madrid: Paraninfo.
- Hammer, S. (1939). Terrain corrections for gravimeter stations. *Geophysics*, 4 (3): 184-194.
- Hammer, S. (1982). Critique of terrain corrections for gravity stations. *Geophysics*, 47 (5): 839-840.
- Hungerbühler, D. (1997). Neogene basins in the Andes of southern Ecuador: evolution, deformation and regional tectonic implications. Zurich.
- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Searwards, D., Egüez, A., Peterson, D.E., Helg, U. & Hammer, C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 57, pp. 75-124.
- Kennerley, J.B. (1973). Geology of Loja Province, southern Ecuador. Institute of Geological Science (Overseas Division), London. Unpublished Report 23, 34.
- Kennerley, J.B. y Almeida, L. (1973). Mapa geológico de Ecuador, hoja de Gonzanamá (57) 1:100.000. Instituto Geográfico Militar (IGM). Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos (MRNE), Dirección General de Geología y Minas (DGGM), Institute of Geological Sciences London (IGS)
- Litherland, M., Aspden, J. A. & Jemielita, R. A. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *Overseas Memoir of the British Geological Survey* 11, 147.
- Parasnis, D.S. (1962). Capítulo 3: Métodos Gravimétricos. En E. Orellana (traducción). *Principios de Geofísica Aplicada* (pp. 45-77). Madrid.
- Scintrex Limited. (2010). CG-5 Scintrex Autograv System Operation Manual. Ontario, Canada.

- Serway, R. A., & Jewett, Jr., J. W. (2011). FÍSICA para ciencias e ingeniería. Queretaro, Mexico: Artgraph.
- Tamay, J. V. (2010). *Control tectónico estructural de la Cuenca sedimentaria de Loja, Sur del Ecuador*. (Tesis de Maestría). Universidad de Granada. Granada. Recuperado de: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/823>

ANEXOS



SISTEMA DE COORDENADAS UTM

SISTEMA DE REFERENCIA WGS84

ZONA 17S



LEYENDA GEOLÓGICA

	Depósitos Aluviales	HOLOCENO
	Fm. Cerro Mandango	MIOCENO
	Fm. Loma Blanca	OLIGOCENO
	Unidad Chiguinda	PALEOZOICO

SIMBOLOGÍA

	Datos Estructurales		Senderos
	Foliación		Vías
	Buz. Horizontal		Ríos
	Líneas Gravimétricas		Curvas de nivel
	Falla Normal Inferida		Poblados
	Falla Normal		
	Eje Sinclinal		

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

Titulación De Ingeniero En Geología y Minas

LEVANTAMIENTO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS EN
LAS FORMACIONES SEDIMENTARIAS DE LA CUENCA VILCABAMBA

REALIZADO POR: Óscar Fabián Ávila Quezada
REVISADO POR: MSc. Ing. José Tamay Granda



La base topográfica de la cuenca sedimentaria de Vilcabamba es elaborada a partir de las cartas a escala 1:50.000: LOJA SUR (CT-NVII-B2-3781-I), VILCABAMBA (CT-NVII-B4-3781-II), NAMBACOLA (CT-NVII-B1-3781-IV), GONZANAMA (CT-NVII-B3-3781-III) del Instituto Geográfico Militar (actualización digital - Enero 2013).