



# **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 Catamayo**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**AUTORA:** Capa Camacho, Ximena Katherine

**DIRECTOR:** Tamay Granda, José Vidal, M.Sc.

**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 Catamayo ", realizado por Ximena Katherine Capa Camacho, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por lo que se aprueba la presentación del mismo.

Loja, octubre de 2015

f) \_\_\_\_\_

## DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESION DE DERECHOS

“ Yo, Capa Camacho Ximena Katherine declaro ser autor del presente trabajo de titulación: “ Levantamiento de datos gravimétricos en las formaciones sedimentarias de la cuenca Catamayo ”, de la Titulación de Ingeniero 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 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: Capa Camacho Ximena Katherine

Cédula: 1104995780

## DEDICATORIA

*El presente trabajo de fin de titulación va dedicado, primeramente a Dios que es el pilar fundamental de mi vida, a mis padres “Juan y Mireya” que son mi ejemplo, mi fortaleza y que siempre han estado apoyándome incondicionalmente en cada paso que doy, y a mis hermanos Verónica y Sebastián, que son mi fuerza para seguir adelante, a todos ustedes ya que sin su apoyo no hubiese podido dar este gran paso en mi vida.*

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mis sinceros agradecimientos:

En primer lugar a Dios, a mis padres y hermanos por todo el amor y el apoyo brindado a lo largo de mi vida, y para la realización de la presente investigación.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, especialmente al Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil y a la Titulación de Ingeniería en Geología y Minas – Sección Geodinámica.

A mi director de Fin de Titulación MS.c. José Vidal Tamay Granda, por su constancia, compromiso, orientación y paciencia en el desarrollo de este trabajo, al MS.c. Belisario Zarate, docente de la titulación de Ingeniero Civil, por su apoyo incondicional y colaboración desinteresada, en el manejo y procesamiento de los datos tomados con el equipo DGPS.

A todos los demás docentes que aportaron con los conocimientos y bases científicas y técnicas de mi carrera profesional, a mis compañeros de clases, colegas de profesión y amigos, por su paciencia comprensión durante esta etapa de formación profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESION DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
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
CAPITULO II.....	11
MARCO CONCEPTUAL .....	11
2.1. Prospección gravimétrica. ....	12
2.2. Principios físicos.....	12
2.2.1. Ley de Atracción Gravitatoria de Newton.....	12
2.2.2. Propiedades del potencial de gravitación.....	12
2.2.3. Variaciones de la gravedad. ....	13
2.2.3.1. El esferoide de la Tierra y el Geoide.....	13

2.2.4.	Elipsoide de Referencia WGS 84.....	14
2.2.5.	Variaciones de la gravedad con la superficie terrestre.....	15
2.2.5.1.	Con la latitud. ....	15
2.2.5.2.	Con la altitud. ....	16
2.2.5.2.1.	Corrección de Aire Libre.....	16
2.2.5.2.2.	Corrección de Bouguer.....	16
2.2.5.2.3.	Corrección Topográfica. ....	16
2.2.6.	Con el Tiempo. ....	17
2.2.6.1.	Efecto de las mareas.....	17
2.2.6.2.	Deriva instrumental.....	17
2.3.	Mediciones de la gravedad. ....	17
2.3.1.	Unidades de Gravedad.....	18
2.3.2.	Medidas de Gravedad. ....	19
2.4.	Anomalías Gravimétricas.....	20
CAPITULO III.....		21
METODOLOGÍA.....		21
3.1.	Validación de información existente. ....	22
3.1.1.	Instrumentos de medición.....	22
3.1.1.1.	Gravímetro SCINTREX CG-5 AUTOGRAV. ....	22
3.1.1.2.	GPS diferencial Trimble R6. ....	23
3.2.	Trabajo de Campo. ....	23
3.2.1.	Toma de datos Topográficos. ....	24
3.2.2.	Toma de Datos Gravimétricos. ....	25
3.2.3.	Levantamiento de datos geológico – estructurales. ....	28
3.3.	Trabajo de Gabinete. ....	29
3.3.1.	Procesamiento de datos gravimétricos. ....	29

3.3.1.1.	Descarga de datos de gravedad.....	29
3.3.1.2.	Descarga de datos topográficos.....	29
3.3.2.	Procesamiento de datos.....	29
3.3.3.	Generación de Modelos.....	30
CAPITULO IV	.....	32
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	.....	32
4.1.	Geología.....	33
4.1.1.	Rocas Metamórficas.....	33
4.1.2.	Rocas Ígneas.....	34
4.1.3.	Rocas Volcano-sedimentarias.....	34
4.1.4.	Depósitos Aluviales.....	35
4.2.	Estratigrafía y Estructuras.....	36
4.3.	Modelos gravimétricos y modelos geológicos.....	37
4.4.	Interpretación del perfil 1 (A-A´).....	40
4.5.	Interpretación del perfil 2 (B-B´).....	43
4.6.	Discusión de resultados.....	46
CONCLUSIONES	.....	47
RECOMENDACIONES	.....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	49
ANEXos	.....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ubicación Geográfica de la zona de Estudio.....	8
<b>Figura 2:</b> Mapa geológico de la cuenca de Catamayo.....	10
<b>Figura 3:</b> Relación Geoide-Elipsoide.....	14
<b>Figura 4:</b> Definición de WGS84.....	15
<b>Figura 5:</b> Equipo de GPS Diferencial, ubicado en la Estación Base El Tambo.....	25
<b>Figura 6:</b> Mapa de los perfiles para la toma de datos gravimétrico.....	27
<b>Figura 7:</b> Descripción del afloramiento de roca sedimentaria. Sector: San Miguel (coordenadas UTM X: 683730; Y: 9552164).....	28
<b>Figura 8:</b> Afloramiento de rocas metamórficas. Coordenadas UTM: X= 689758; Y= 9549986. ....	33
<b>Figura 9:</b> A la izquierda, Toba Riolítica con impregnaciones de Pirolusita. Coordenadas UTM (X: 689383; Y: 9547376), a la derecha Rocas Intrusivas de composición riolítica Andesítica. Sector (X: 689372; Y: 9549752) .....	34
<b>Figura 10:</b> Lentes de Conglomerados con clastos volcánicos y areniscas correspondientes a la formación Gonzanamá, Coordenadas UTM: (X: 678630; Y: 9551817).....	35
<b>Figura 11:</b> Aglomerados correspondientes a la formación Loma Blanca. Sector: El Huayco. Coordenadas UTM (X: 687320; Y: 9547368).....	35
<b>Figura 12:</b> Columna Estratigráfica de la cuenca de Catamayo-Gonzanamá. ....	37
<b>Figura 13:</b> Mapa de contornos de la anomalía de Bouguer de la zona de estudio. ....	39
<b>Figura 14:</b> Curva de anomalías residuales observada y calculada, Modelo Gravimétrico A-A'.....	41
<b>Figura 15:</b> Modelo Geológico A-A'.....	42
<b>Figura 16:</b> Curva de anomalías residuales observada y calculada, Modelo Gravimétrico B-B'.....	44
<b>Figura 17:</b> Modelo Geológico B-B'.....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Coordenadas Estación LJEC, Base UTPL, referidas al WGS84 Zona 17S.....	24
<b>Tabla 2</b> Coordenadas Base el Tambo, referidas al WGS84 Zona 17S. ....	24
<b>Tabla 3</b> Datos de la Base Gravimétrica ubicada en la Universidad Técnica Particular de Loja. .....	25

## **RESUMEN EJECUTIVO**

La investigación realizada corresponde al levantamiento de datos gravimétricos en la zona sur de la cuenca sedimentaria de Catamayo, para lo cual se seleccionaron dos perfiles con orientación NW-SE que atraviesan la cuenca. Se recolectó un total de 69 datos de medida de gravedad relativa, a una separación de 300 m entre cada estación. Para el cálculo de los modelos gravimétricos, se asignó valores de densidades de  $2,67 \text{ g/cm}^3$  para el basamento, y  $2,3 \text{ g/cm}^3$  para el relleno sedimentario. Con los datos obtenidos y luego del procesamiento correspondiente se obtuvo los modelos gravimétricos, que posteriormente fueron correlacionados con los datos geológicos obtenidos en campo. La interpretación de los datos geológicos y gravimétricos en cada uno de los perfiles seleccionados permitió determinar la profundidad, forma y modelo tectónico del relleno sedimentario.

**PALABRAS CLAVES:** datos gravimétricos, relleno sedimentario, modelo tectónico.

## **ABSTRACT**

The research corresponds to the lifting of gravity data in the southern part of sedimentary basin of Catamayo, for which two profiles oriented NW-SE cross the basin were selected. A total of 69 data was collected on relative gravity, to a separation of 300 meters between each station. For calculating gravimetric models, density values of 2,67 g/cm<sup>3</sup> for the base, and 2,3 g/cm<sup>3</sup> to sediment fill was assigned. With the data obtained after the corresponding processing and gravimetric models, which were then correlated with geological field data was obtained. The interpretation of geological and gravity in each of the profiles selected data allowed to determine the depth, shape and tectonic model of the sedimentary fill.

**KEYWORDS:** gravimetric data, sedimentary fill, tectonic model

## INTRODUCCIÓN

La estructura de la cuenca de Catamayo resulta compleja, por lo que es indispensable la utilización de métodos indirectos que nos ayuden a determinar la profundidad y estructura de la misma, ya que no existen estudios geológicos a detalle de la zona, por lo que hace prescindible la utilización de métodos geofísicos para conocer la posición actual de los sedimentos.

La zona de estudio se encuentra ubicada al sur de la cuenca de Catamayo, que se extiende hasta el sector El Tambo, el polígono cubre 13 087,64 hectáreas de superficie, y está formado por rocas de tipo volcánicos y volcano - sedimentario, donde destacan los aglomerados, tobas y lavas volcánicas correspondientes a la formación Loma Blanca.

El propósito de esta investigación es realizar un estudio detallado de la zona, con el fin de conocer la profundidad del relleno sedimentario, posición de las litologías presentes, continuidad de estructuras geológicas encontradas, y la geometría del relleno a lo largo de los dos perfiles levantados.

La estructura de los contenidos que contempla la investigación se encuentra formada de cuatro capítulos, en el capítulo primero se detallan las generalidades de la ubicación geográfica de la zona de estudio, en el capítulo dos se establece el marco conceptual en el que se fundamenta la investigación, el capítulo tercero hace referencia a la metodología utilizada para obtener los datos la corrección y posterior correlación e interpretación, por último el capítulo cuarto corresponde a los resultados obtenidos luego de la interpretación y correlación de los modelos gravimétricos con la geología del sector, para finalizar con la discusión, comparación de resultados y las conclusiones.

El trabajo consistió en la toma de datos litológicos, estructurales y gravimétricos a lo largo de dos perfiles previamente señalados, para a través del procesamiento de la información recolectada realizar un mapa de anomalías de Bouguer, que refleja las zonas donde se concentra la mayor y menor anomalía, seguidamente se determinó la profundidad y geometría del relleno sedimentario mediante el ajuste de los valores de la anomalía residual por medio del Software GravMag V1.7, que utiliza contraste de densidades, dando como resultado los modelos gravimétricos que finalmente fueron correlacionados y ajustados con la geología del sector.

## **ANTECEDENTES**

La zona seleccionada para la presente investigación, no cuenta con estudios geológicos a detalle, los estudios regionales realizados por Kennerley (1973) permitió obtener información a través de los mapas geológicos a escala 1: 100 000 (hoja de Gonzanamá, Loja), donde hace referencia a las correlaciones estratigráficas de las cuencas de Loja, Malacatos – Vilcabamba. Posteriormente (Hungerbühler, et al., 2002) publicó un estudio sobre la geodinámica y estratigrafía del sur de los Andes en Ecuador.

(Hungerbühler, 1997), realiza una descripción de las formaciones presentes en la cuenca de Catamayo, enfocándose en la extensión, litología, edad, y fauna, dando como resultado un nuevo esquema estratigráfico para la cuenca.

Estudios gravimétricos de la zona aún no han sido realizados, los estudios regionales realizados por (Feininger & Seguin , 1983), hacen referencia al mapa de anomalía de Bouguer de Ecuador, en el cual distinguen zonas específicas de anomalía negativa para la región Sierra, con valores entre -250 mGal hasta -222 mGal, que indica una corteza continental engrosada.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General.**

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

### **Objetivos específicos.**

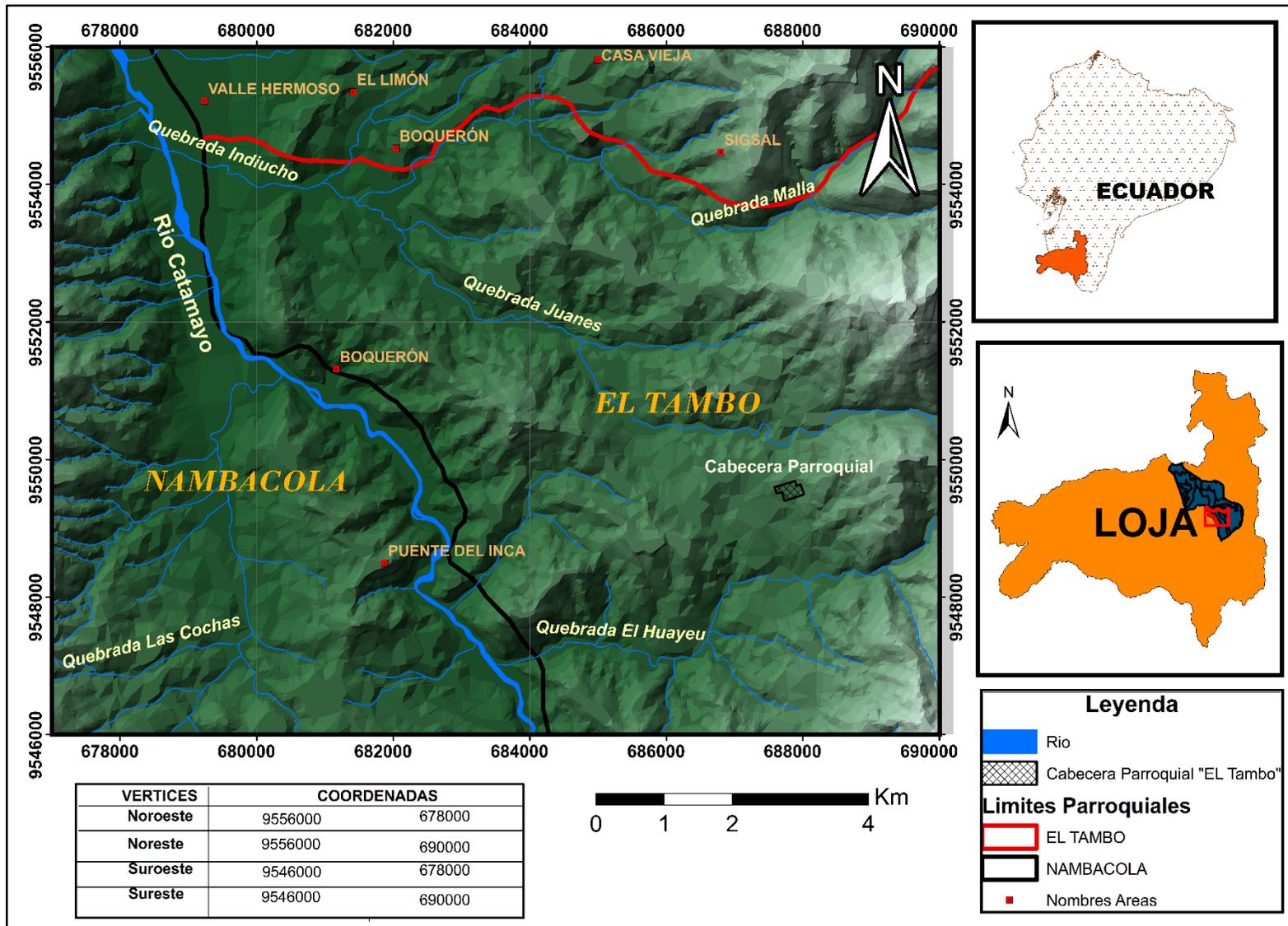
- ✓ Realizar el levantamiento geológico de campo de las estructuras tectónicas y las orientaciones de la estratificación en la zona de estudio.
- ✓ Definir los perfiles gravimétricos en la zona de estudio para levantamiento de datos.
- ✓ Realizar el levantamiento de datos para precisar la geometría y relleno sedimentario de la cuenca de Catamayo 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.**

El área de estudio se encuentra ubicado al sur del Ecuador, corresponde a la zona sur de la cuenca sedimentaria de Catamayo, con una superficie de 13 087,64 ha, donde se encuentra asentada la población de El Tambo, esta zona se encuentra atravesada de SE-NW por el río Catamayo y afluentes menores de las quebradas: Limón, Juanes, las Cochas, Indiucho, Capa Rosa, Malla, Sunsuque (Figura 1).

El tiempo de recorrido entre la ciudad de Loja y la parroquia de El Tambo es de 1h30min aproximadamente, se puede ingresar por la vía de primer orden que va desde Catamayo a Gonzanamá, a la altura del río Boquerón se puede tomar una vía secundaria que comunica la población de Valle Hermoso-El Tambo y Malacatos.



**Figura 1:** Ubicación Geográfica de la zona de Estudio.  
**Fuente:** Capa, 2015.

## 1.2. Geología regional.

La zona de estudio se encuentra dentro del graben Catamayo, formado al este por rocas metamórficas de edad devónica a pérmica, correspondientes a la Unidad Chiguinda, cuerpos intrusivos pertenecientes al Pórfido de Purunúma del Eoceno (¿) según (Kennerley, 1975), depósitos de rocas sedimentarias de las formaciones Gonzanamá de edad Paleoceno, y Loma Blanca del Oligoceno, y al oeste por rocas volcánicas de la formación Sacapalca. (Hungerbühler, et al., 2002) (Figura 2).

La Unidad Chiguinda de edad Paleozoica, se encuentra formada por rocas metamórficas entre las cuales podemos encontrar filitas, esquistos, cuarcitas, pizarras y metacuarcitas, que forman un cinturón de hasta 30 km de ancho en la parte sur de la Cordillera, se asume que se deriva de una cuenca intercratónica y se la considera similar a rocas Carboníferas y Devónicas de la Depresión Perú – Bolivia (Litherland, et al., 1994).

La formación Sacapalca regionalmente no continúa al norte del Ecuador, pero es característica para los Andes centrales, está constituida por lavas volcánicas con intercalaciones de piroclastos, las lavas son de color café, con tendencia de buzamiento hacia el este.

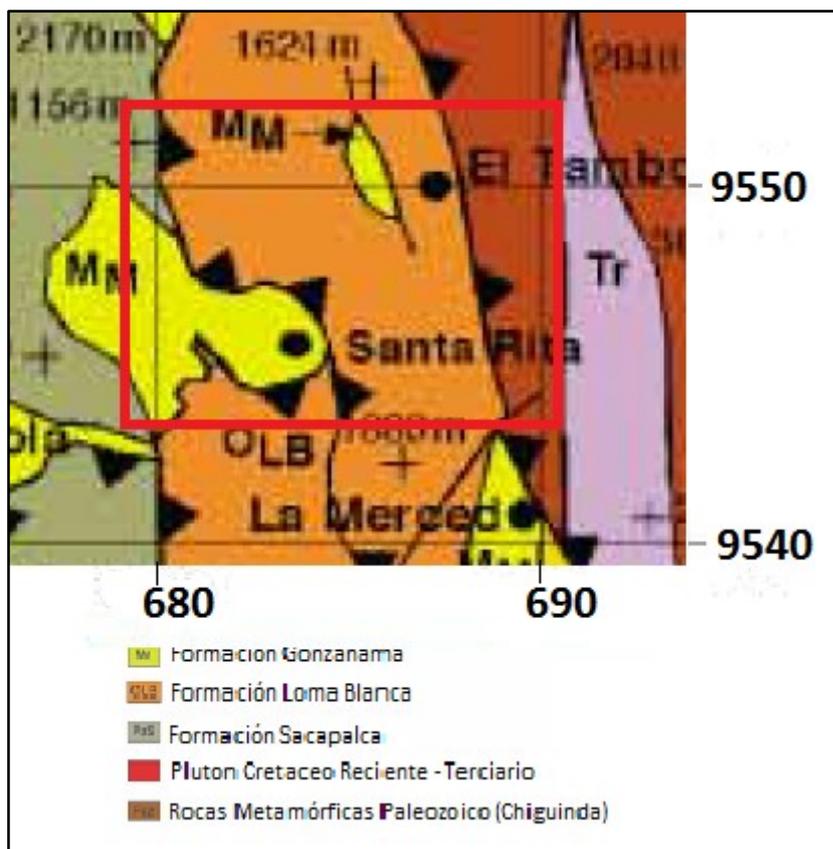
La formación Gonzanamá se presenta en afloramientos discontinuos. Está formada por sedimentos y volcánicos intercalados, bien estratificados con capas de arenisca calcáreas, limolitas arenosas y conglomerados menores, además de presentarse venas de yeso e impregnaciones de azufre, los volcánicos son andesíticos y consisten principalmente en tobas y tobas aglomeráticas con lavas intercaladas. Sobre esta encontramos depositada a la formación Loma Blanca, formando una discordancia angular.

El pórfido de Purunúma o porfiritas de Purunúma, representan una extrusión eocénica y una cuña intercalada de limo y lutita negra que sugiere una sedimentación intercalada.

El pórfido se encuentra descansando discordantemente sobre la zona inferior de la formación Loma Blanca y también sobre el metamórfico perteneciente a la Unidad Chiguinda (Hungerbühler, 1997).

La formación Loma Blanca, lleva su nombre por hacer referencia al cerro Loma Blanca, se constituye por un aglomerado basal cubierta por tobas aglomeráticas, piroclastos intermedios a ácidos mayormente ignimbritas, tobas y brechas volcánicas, las rocas de esta formación están rodeadas por una matriz limosa, y su ambiente de depositación es de tipo continental.

Estudios realizados por (Jaillard , et al., (1991), señala a la formación Catamayo como un afloramiento que tiene un espesor aproximado de 400 m, compuesto por intercalaciones de pizarras, areniscas, calizas y conglomerados, con abundantes venas de yeso, además de fragmentos de rocas metamórficas. Esta formación descansa discordantemente sobre la formación Loma Blanca.



**Figura 2:** Mapa geológico de la cuenca de Catamayo  
**Fuente:** Hungerbühler, et al., 2002.

**CAPITULO II**  
**MARCO CONCEPTUAL**

## **2.1. Prospección gravimétrica.**

La prospección gravimétrica constituye uno de los métodos de investigación para definir la estructura geológica de las capas superiores de la Tierra, se basa en medir las perturbaciones del campo gravitacional terrestre producidos por las variaciones de las diferentes densidades de las rocas y de la profundidad a la que se encuentren estas, es un método muy utilizado para la búsqueda y prospección de minerales útiles.

En la superficie terrestre, el campo de gravedad de las masas rocosas se compone con el campo de la fuerza centrífuga formando el campo de fuerza de la gravedad o gravitatorio (Mirónov, 1977).

Las variaciones que ocurren sobre superficie del campo gravitatorio, se les dará el nombre de anomalías y que se detectan con instrumentos apropiados, tres son los aparatos clásicos empleados en el método gravimétrico: la balanza de torsión que mide las derivadas de la gravedad, el péndulo que mide la gravedad absoluta o relativa, y el gravímetro que mide la gravedad relativa (Cantos, 1987).

## **2.2. Principios físicos.**

### **2.2.1. Ley de Atracción Gravitatoria de Newton.**

Es una de las principales leyes de la física y nos dice que una o más partículas poseen una fuerza de atracción gravitatoria que actúa entre ellos, y que en relación con la tierra es la fuerza que existe entre el centro de la tierra, y dicha partícula.

La ley señala: que todos los cuerpos se atraen con fuerzas proporcionales a sus masas e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que los separa

$$F = \frac{(G)(M_1)(M_2)}{(d)^2}$$

### **2.2.2. Propiedades del potencial de gravitación.**

La fuerza de la gravedad  $g$ , cuya distribución por la superficie terrestre estudia la gravimetría, en cada punto dado es la resultante de la fuerza de atracción de Newton,  $F$ , de toda la masa de la Tierra y de la fuerza centrífuga,  $C$ , motivada por la rotación de la Tierra alrededor de su eje (Mirónov, 1977).

$$g = F + C$$

El campo gravítico terrestre consta de dos partes fundamentales: la primera producida por la tierra de acuerdo con la ley de Newton y la segunda debida a la rotación de la tierra.

Según (Sears, Zemansky, & Young, 1988) la ley de gravitacional universal descubierta por Newton puede enunciarse de la siguiente manera: "Cada partícula de materia del Universo atrae cualquier otra partícula con una fuerza directamente proporcional al producto de las masas de las partículas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas"

Como ambas partes están formadas por fuerzas que actúan directamente sobre ellas en un punto fijo, y además la magnitud de estas fuerzas depende de la distancia a un punto, se define al potencial como al producido debido a la atracción terrestre, y al potencial debido a la rotación de la tierra (Cantos, 1987).

Según (Parasnis, 1970), el gradiente del potencial gravitatorio, es decir la fuerza de gravedad es perpendicular a la superficie en todos los puntos, esto significa que actúa en dirección vertical, la variación que esta presenta con respecto a la latitud al nivel del mar se la calcula con la siguiente formula:

$$g = 9,7804 (1 + 5,28884 \times 10^{-5} \text{sen}^2 \phi - 5,9 \times 10^{-8} \text{sen}^2 2\phi) m/s^2$$

### **2.2.3. Variaciones de la gravedad.**

Las variaciones que se presentan en los diferentes puntos de observación de la gravedad varían entre los límites de 9,78049 y 9,83221  $m/s^2$  desde el ecuador hasta los polos (Parasnis, 1970), las variaciones que se presentan en la gravedad se las denomina como anomalías y estas nos indican cambios en la densidad en el interior de la Tierra, así como las superficies con diferencia de densidades.

#### **2.2.3.1. El esferoide de la Tierra y el Geoide.**

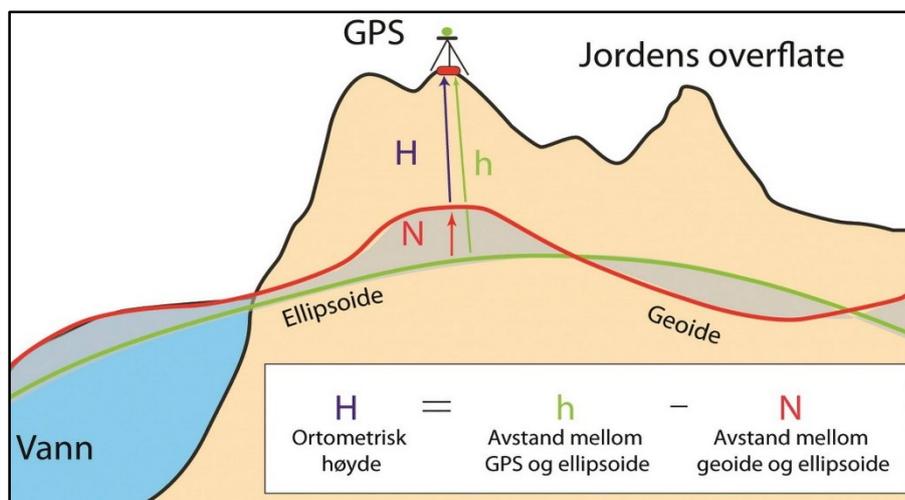
La superficie de la tierra no es totalmente esférica ni homogénea, y a través de medidas geodésicas se ha determinado que la forma de la Tierra es cercana al esferoide, por lo que teóricamente se han definido dos superficies de referencia.

*Esferoide Normal:* es la forma que toma la tierra formada por capas homogéneas concéntricas y sometidas a las fuerzas de la gravedad que la hacen esférica y la acción de la fuerza centrífuga que tiende a aplastarla.

*Geoide*: se define como una superficie de nivel equipotencial del campo gravitatorio terrestre, para este modelo la fuerza de gravedad se la toma perpendicularmente a las superficies con igual magnitud de campo gravitacional (Cantos, 1987).

Dicho de otra forma es la apariencia de la tierra que forma un cuerpo casi esférico y que se encuentra achatado en sus polos.

Por las diversas medidas geodésicas que se han realizado se ha determinado que el geoide se encuentra por encima del esferoide en los continentes, y en los océanos se encuentra debajo de este (Figura 3).



**Figura 3:** Relación Geoide-Elipsoide.  
Fuente: [www.bel-horizon.eu](http://www.bel-horizon.eu)

#### 2.2.4. Elipsoide de Referencia WGS 84.

El elipsoide World Geodetic System 1984, en español Sistema Geodésico mundial 1984 es un sistema de referencia calculado por la NIMA (National Imagery and Mapping Agency), utiliza un sistema convencional único que permite referenciar la posición de un punto observado, es un sistema de referencia geocéntrico fijo en la tierra y que se encuentra orientado positivamente, es decir que su origen está colocado en el centro de masas de la Tierra, incluyendo océanos y atmosfera (Figura 4).

Las características que presenta el Elipsoide son:

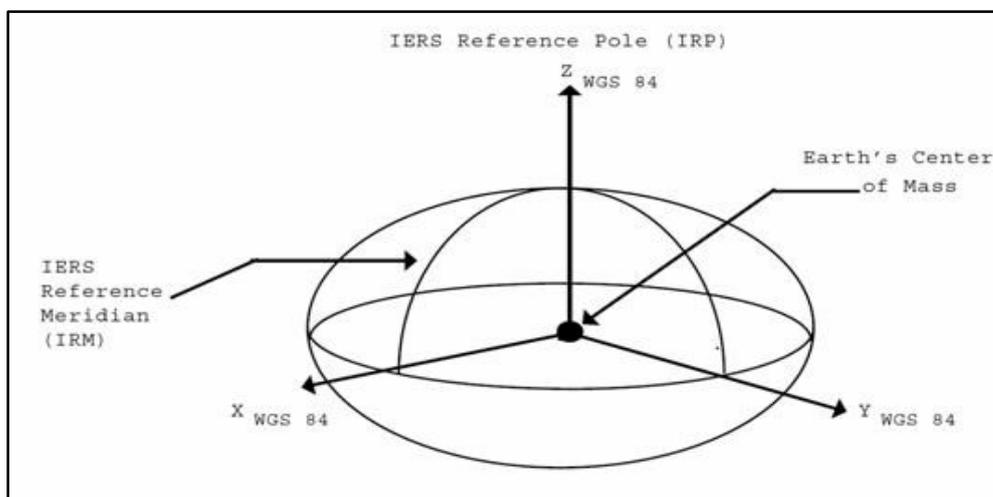
Semieje mayor:  $a = 6,378\,137\text{ km}$

Semieje menor:  $b = 6,356\,752\text{ km}$

Aplanamiento:  $(a-b)/a = 1/298,257223563$

Constante de Gravitación Terrestre:  $GM = 3,98600418 \times 10^{-4}\text{ m}^3/\text{s}^2$

Velocidad angular de la Tierra  $W_e = 7\,292\,115 \times 10^{-11}$  rad/s



**Figura 4:** Definición de WGS84.  
Fuente: NIMA.

## 2.2.5. Variaciones de la gravedad con la superficie terrestre.

### 2.2.5.1. Con la latitud.

Debido a que la forma de la tierra no es esférica, si no que forma un geoide achatada en los polos, y con una distancia máxima en su centro (Ecuador) la gravedad varia de un punto a otro, de esta manera en los polos la gravedad alcanza si valor máximo de gravedad, y en el Ecuador su valor mínimo.

Por lo tanto en cada hemisferio la gravedad cambia conforme nos acercamos al polo respectivo, lo que provoca una diferencia normal de gravedades entre los puntos tomados y la base, por la diferencia de latitud entre ellas, se la corrige con la siguiente formula: (Parasnis, 1971).

$$\Delta g_{\Phi} = 0,081 \text{ sen}2\Phi u. g. (= 0,0081 \text{ sen}2\Phi mgal)$$

Por cada 10 m de distancia Norte-Sur

### **2.2.5.2. Con la altitud.**

#### *2.2.5.2.1. Corrección de Aire Libre.*

Esta corrección se la realiza debido a la diferencia que existe entre la altura de la base por encontrarse más alejada al centro de la tierra.

El campo gravitatorio terrestre decrece con la altura de la estación sobre la superficie terrestre, si la base y los puntos tomados no se encuentran a la misma altura, existirá una variación en la gravedad aun si su variación con la altitud es nula, y debe añadirse a la diferencia de la gravedad entre la base y los puntos tomados, si los puntos están a mayor cota que la base, y restarse si se encuentran a menor altura (Parasnis, 1971).

Para realizar esta corrección se aplica la siguiente formula:

$$3,086 h \text{ u. g} = 0,3086 h \text{ mgal} \text{ (h en metros)}$$

#### *2.2.5.2.2. Corrección de Bouguer.*

La corrección de Bouguer toma en cuenta la diferencia de gravedades que se producen entre los puntos que se encuentran topográficamente a mayor altura del punto que tomamos como estación de base gravimétrica.

Esta corrección fue propuesta por primera vez por Bouguer en 1745 con motivo de sus mediciones de la desviación de la plomada en las proximidades del monte Chimborazo. Esta corrección debe restarse de la diferencia de gravedades de medida, si la estación está situada por encima de la base, y sumarse si está por debajo. Esta corrección depende de la densidad de la rocas que se encuentren por debajo de los puntos tomados (Parasnis, 1971).

Se calcula hallando el efecto gravífico del terreno comprendido entre el nivel de la estación y el nivel del mar, esta corrección supone que el terreno es horizontal.

El valor de esta corrección es:

$$0,4191 \delta h \text{ u. g.} = 0,04191 \delta h \text{ mgal} \text{ (h en metros)}$$

#### *2.2.5.2.3. Corrección Topográfica.*

Esta corrección tiene en cuenta el efecto gravífico de las masas por encima y por debajo de la altura de la estación y de cada uno de los puntos donde se tomó el valor de la gravedad.

Para hallar esta corrección se emplean unos gráficos que consisten en una serie de círculos concéntricos alrededor de la estación y divididos en sectores, y con la ayuda de unas tablas calculadas por Hammer se hallan los efectos gravíficos debidos a cada uno de los prismas

de la base y la altura, y la altura media, y esto se sobrepone sobre el mapa topográfico para poder determinar esta altura media. (Cantos, 1987).

La corrección topográfica siempre es positiva independientemente de la topografía próxima, para el cálculo de esta corrección no existe una fórmula general y se debe interpretar cada zona por separado y se utilizan una serie de anillos concéntricos con un cierto número de radios trazados a intervalos angulares adecuados.

## **2.2.6. Con el Tiempo.**

### **2.2.6.1. Efecto de las mareas.**

Las atracciones gravíticas del sol y de la luna causan el efecto de las mareas, y esta depende de la posición astronómica de estos cuerpos, además de que es variable con el tiempo, y provocan una deformación de la superficie marina, influyendo de manera directa sobre las mediciones que realiza el gravímetro (Cantos, 1987).

Estas fuerzas actúan sobre la superficie terrestre sólida deformándola, al igual que con las aguas, causando pequeñas variaciones en la gravedad debido a la variación de la distancia con respecto al centro de la tierra y a la nueva distribución de masas en el interior de la tierra.

Las atracciones del Sol y de la Luna pueden hacer cambiar climáticamente el valor de la gravedad en una estación con amplitud que puede llegar a ser de 0,3 miligales, durante el transcurso de un día, pero su variación máxima es solamente de unos 0,05 mgal/hora.

### **2.2.6.2. Deriva instrumental.**

La deriva instrumental es la variación que se da en las medidas tomadas por un instrumento en un intervalo de tiempo, cuando se repite una medición por el gravímetro en un mismo lugar e iguales condiciones estas lecturas varían ligeramente, esto se debe a que los resortes y fibras de torsión que conforman el equipo y que son afectados por la temperatura, presión atmosférica y el efecto de las mareas.

## **2.3. Mediciones de la gravedad.**

(Carenas, Giner, González, & Manuel, 2014), señalan que para calcular la gravedad terrestre se parte de la Ley de Gravitación Universal de Newton y de la fórmula de la fuerza, el valor que se obtiene depende de la masa, del radio terrestre y de la constante de la

gravitación universal, y de la velocidad angular del giro de la tierra además de la latitud en la que nos encontremos.

En geofísica aplicada el conocimiento de la gravedad absoluta no es lo más relevante si no las mediciones relativas, ya que estas dan la diferencia entre la gravedad en el punto de observación y en otro tomado como base (Parasnis, 1970).

Las mediciones de la gravedad se las puede realizar a través de varios métodos que se han venido desarrollando y modificando a través de los tiempos como son los péndulos reversibles del tipo Kater, que son los instrumentos más antiguos, actualmente se utiliza los denominados gravímetros o gradiómetros que toman medidas absolutas y relativas.

Un gravímetro puede considerarse como una balanza de muelle extremadamente sensible, que es capaz de medir las pequeñas variaciones de la gravedad sobre la superficie terrestre, su principio prácticamente consiste en determinar el cambio de un peso que se encuentra suspendido en el extremo de un cable o un muelle helicoidal, donde la fuerza de gravedad se encuentra equilibrada por la fuerza de reacción del muelle, al desplazarse el conjunto peso y muelle desde un lugar a otro cuando es mayor, aparecerá una fuerza gravitatoria adicional sobre el peso, que lo acelerará hacia abajo, lo cual provocará el alargamiento del muelle que será la medida que tomara el gravímetro, el peso vuelve a quedar en equilibrio cuando el aumento de la fuerza adicional que produce el alargamiento iguala al exceso de gravedad, de igual manera al desplazarse a un lugar con menor gravedad el muelle se contraerá y el peso ascenderá (Parasnis, 1971).

### **2.3.1. Unidades de Gravedad.**

Según (Cantos, 1987), la fuerza de la gravedad es igual a la aceleración de la gravedad medida en las mismas unidades, y su valor absoluto varía aproximadamente de 978.000 miligales en el Ecuador a 983.000 miligales en el Polo.

El valor medio de la gravedad en la superficie de la tierra es de  $9.8 \text{ m/s}^2$ , y las variaciones que se producen en este son ocasionadas por las variaciones de densidad en el subsuelo son del orden de  $110 \text{ mm/s}^2$  (gu) que corresponde a la unidad de la gravedad. (Kearey, Brooks, & Hill, 2002).

La unidad de la gravedad utilizada es el gal:  $1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$  pero se trabaja con miligales, donde 1mgal equivale a la milésima parte de 1 gal.

### 2.3.2. Medidas de Gravedad.

Las medidas de gravedad nos ayudan a explorar el interior de la tierra, y determinar las variaciones del subsuelo referido a su profundidad y a su densidad, para tomar estas medidas se utiliza un instrumento llamado gravímetro que consta de una masa suspendida de una cuerda muy sensible que registra hasta las pequeñísimas diferencias en la atracción gravitacional (Alva Valdivia, 2005).

Esto implica que el valor de la gravedad va a ser distinto tomado de un punto a otro, ya que incurrir en varios factores como que la tierra no es completamente esférica, sino que es achatada en los polos, dando una forma llamada Geoide, los efectos producidos por la latitud, altitud, el efecto de las mareas, y la deriva instrumental.

Según (Carenas , Giner , González, & Manuel, 2014), las pequeñas variaciones entre la gravedad teórica en un punto calculada a partir de la fórmula de la gravedad, y la que medimos directamente en ese mismo punto con un gravímetro, se denomina anomalía gravimétrica. Estas anomalías permiten establecer los excesos o defectos de masa existentes debajo de la superficie terrestre. El estudio de las anomalías gravimétricas permite establecer las variaciones existentes en el espesor de la corteza.

Las anomalías pueden ser negativas o positivas, cuando son negativas son producidas por atracciones menores que el valor teórico, y son ocasionadas por rocas o sedimentos de densidades relativamente bajas, las anomalías positivas son producidas por rocas con una alta densidad relacionadas a cuencas oceánicas, y también pueden revelar cuerpos de minerales metálicos.

Se pueden tomar dos clases de medidas: las medidas absolutas y las medidas relativas.

Las medidas absolutas son muy complicadas de determinar ya que se requiere estimar la gravedad con una aproximación de una millonésima de gal, es decir con 1 miligal.

Estas medidas se las puede determinar con: El péndulo reversible, o de doble brazo, que mide el número de oscilaciones de orden de millares. Y la caída libre de los cuerpos que consiste en fotografiar a intervalos regulares la caída libre de una regla graduada en una cámara de vacío. La precisión de lectura de tiempos de orden de 1 millonésima de segundo se consigue con un oscilador de cuarzo (Cantos, 1987).

Las medidas relativas miden la diferencia que existe en la gravedad entre la estación base y un punto o varios tomados en diferentes lugares de una zona, y se las realiza con aparatos que han sido mejorados a través del tiempo como el gravímetro.

## 2.4. Anomalías Gravimétricas.

Las grandes estructuras geológicas producen anomalías que pueden ser:

**Anomalía Gravimétrica**, que considera: Gravedad observada + corrección aire libre – corrección de Bouguer + corrección topográfica ± corrección isostática – gravedad teórica

**Anomalía de Bouguer**, que considera: gravedad observada + corrección aire libre – corrección de Bouguer + corrección topográfica – gravedad teórica.

Para esta investigación se considerara la Anomalía de Bouguer que se caracteriza por la tendencia regional y residual, las anomalías producidas por estructuras geológicas con mayor forma y localizadas a grandes profundidades que son observables, evidentes a mayores distancias y con una componente de gran amplitud de onda se las denomina anomalías regionales, y aquellas que son producidas por estructuras geológicas pequeñas y localizadas a profundidades pequeñas son conocidas como anomalías locales.

El interés de la interpretación se encuentra en las anomalías locales o residuales, para lo que se debe eliminar el efecto de la anomalía regional.

Las anomalías regionales nos permiten identificar estructuras a nivel regional como límites y contactos de placas y discontinuidades, en cambio las anomalías residuales o locales nos permite identificar estructuras someras como fallas y profundidad de relleno de cuencas sedimentarias.

**CAPITULO III**  
**METODOLOGÍA**

La metodología utilizada en esta investigación consiste en la toma de datos gravimétricos en dos perfiles previamente seleccionados en el polígono de estudio así como la obtención de coordenadas georreferenciadas de dichos puntos. Con los datos obtenidos y las correcciones posteriores realizadas, se determina valores de la gravedad para cada punto de medida, que luego permiten obtener un modelo 2D para su posterior interpretación, y determinación de la profundidad del relleno sedimentario y estructura tectónica.

### **3.1. Validación de información existente.**

Consiste en la recopilación de información ya existente de la cuenca de Catamayo, que corresponde a mapas geológicos regionales y topográficos con la ubicación de la zona de estudio, investigaciones gravimétricas realizadas manuales de operaciones de los equipos (Autograv CG-5 de Scintrex y Trimble R6) y softwares a utilizar para la corrección y modelamiento de los datos y perfiles (Arcgis, Global Mapper 11, Surfer 10, GravMaster, Gravmag).

La base topográfica del área fue obtenida del portal del Instituto Geográfico Militar, que corresponde a las hojas de Catamayo y Gonzanamá a escala 1:50 000, georreferenciado al datum WGS 84, zona 17 del hemisferio sur.

La geología del sector fue obtenida de los mapas geológicos de la hoja de Gonzanamá-57 a escala 1:100 000, elaboradas por Kennerley, (1975) y descripciones geológico estructurales realizadas por Hungerbühler, et al., (2002).

#### **3.1.1. Instrumentos de medición.**

Los instrumentos utilizados para obtener las medidas de la gravedad consistió de un gravímetro Scintrex CG-5 Autograv, para la posición de coordenadas (x, y, z), se utilizó el GPS diferencial Trimble R6.

##### **3.1.1.1. Gravímetro SCINTREX CG-5 AUTOGRAV.**

Es un gravímetro relativo de tipo lineal, con una resolución de 1  $\mu$ Gal, su diseño incluye una serie de microprocesadores, los cuales posibilitan la automatización de las mediciones y su procesamiento en tiempo real, el elemento sensor se basa en un sistema elástico de cuarzo fundido en el cual la fuerza de la gravedad actúa sobre la masa y esta es balanceada por un resorte y vuelve a restaurarse a través de una pequeña fuerza electroestática.

La deriva instrumental debido al inevitable estiramiento del resorte bajo tensión y su imperfecta recuperación, alcanza unas décimas de miligales por día (Scintrex Limited, 2010).

El Autograv CG-5 obtiene la lectura al promediar una serie de lecturas tomadas en un segundo, y esta es mostrada en la pantalla directamente en miligales, los cuales son almacenados directamente en la memoria del equipo para luego ser descargados a través de una computadora.

El gravímetro dispone de una excelente protección antes los cambios de temperatura y presión atmosférica a través de una cámara estabilizadora. El amplio rango de operación en cuanto a la temperatura esta entre  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+45^{\circ}\text{C}$  permite que el equipo sea eficiente en diferentes ambientes. (Reinoza Gómez, 2006).

### **3.1.1.2. GPS diferencial Trimble R6.**

El GPS diferencial nos permite determinar las coordenadas (x, y, z) exactas de un punto en diferentes lugares sobre la superficie terrestre, con una precisión de milímetros, contiene dos antenas de precisión GPS, que actúan como receptor y móvil, controlador Trimble TSC2, Software de campo Trimble, Trimble Business Center, que es el software para obtener los datos GNSS para el procesamiento de datos.

Para la toma de coordenadas en los puntos de observación de la gravedad, se configuro el GPS en modo fast-static que permite una precisión horizontal de  $3\text{ mm} \pm 0,5\text{ ppm RMS}$  y en vertical de  $5\text{ mm} \pm \text{ppm RMS}$ , georreferenciado al elipsoide WGS84, se configuró el equipo para que establezca un ángulo de elevación de  $10^{\circ}$ , con un mínimo de 5 satélites, y se estableció un tiempo de 5 minutos.

### **3.2. Trabajo de Campo.**

El trabajo de levantamiento de información de campo se realizó en dos etapas. La primera consiste en la toma de las medidas gravimétricas y coordenadas exactas en cada uno de los puntos marcados en los perfiles previamente determinados, y la segunda etapa en el mapeo geológico a detalle a lo largo de los perfiles y complementación de datos en los lugares de fácil acceso tratando de cubrir el área de investigación. En cada afloramiento se realizó la identificación y descripción de las litologías presentes, así como de estructuras geológicas observadas.

### 3.2.1. Toma de datos Topográficos.

Para la toma de las coordenadas en los puntos de los perfiles se estableció una base GPS en la parroquia El Tambo, cantón Catamayo, que posteriormente fue corregida con la Red GNSS de monitoreo continuo ubicado en la UTPL, que son parte de la red GPS del Ecuador.

Para obtener las coordenadas exactas de la base GPS ubicada en el Tambo, fue necesario realizar una corrección previa con los datos obtenidos de la base UTPL (Estación LJEC). El punto GPS de El Tambo con coordenadas conocidas se ubicó como estación base para el registro continuo de datos durante el tiempo de medida y con un GPS móvil (Robert), se tomaron los puntos en (x,y,z), que posteriormente fueron corregidos con los datos obtenidos de la estación base de El Tambo (Figura 5). La ubicación del punto base se lo realizó con la finalidad de obtener un margen de error mínimo ya que el rango de medida para correcciones está en un perímetro de 10 km de longitud, por lo tanto la Base ubicada en la UTPL, se encuentra fuera del área de cobertura sugerido.

Los datos proporcionados por la Red GNSS referidas al Elipsoide WGS 84, Zona 17 S, de las bases son:

#### Estación LJEC, Base UTPL:

**Tabla 1** Coordenadas Estación LJEC, Base UTPL, referidas al WGS84 Zona 17S.

Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)
700008.336	9558951.395	2143.532

Fuente: Capa, 2015.

#### Base El Tambo:

**Tabla 2** Coordenadas Base el Tambo, referidas al WGS84 Zona 17S.

Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)
687903.136	9549596.243	1609.741

Fuente: Capa, 2015.



**Figura 5:** Equipo de GPS Diferencial, ubicado en la Estación Base El Tambo.  
**Fuente:** Capa, 2015.

### 3.2.2. Toma de Datos Gravimétricos.

Para la toma de los datos gravimétricos se estableció como base, el punto de gravedad absoluta conocido ubicado en la base de la cruz de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Los datos de la estación gravimetría absoluta se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3** Datos de la Base Gravimétrica ubicada en la Universidad Técnica Particular de Loja.

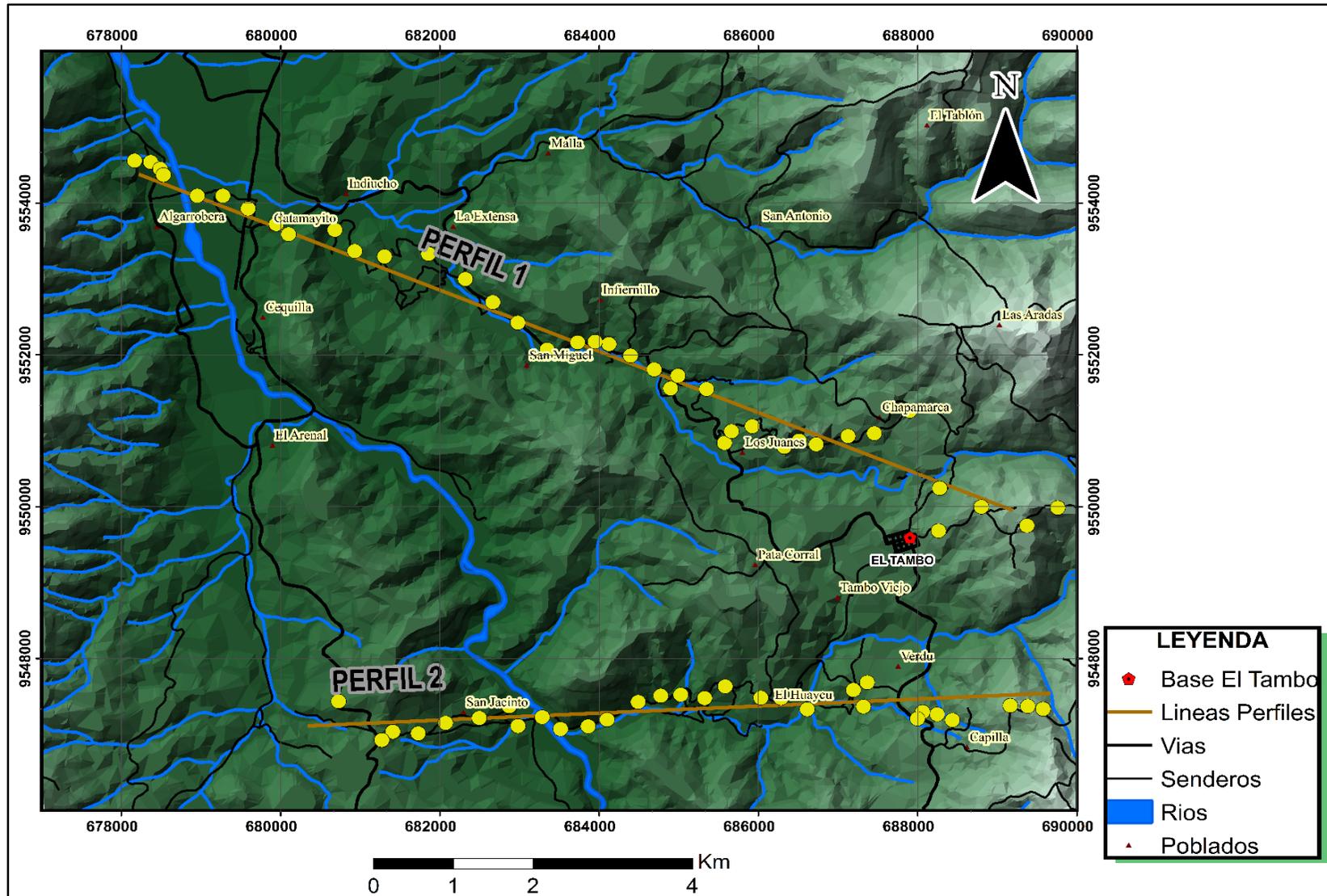
Coordenadas UTM referidas al WGS84, Zona 17S			Gravedad Absoluta (mGal)
Norte (m)	Este (m)	Altura (m)	
9559100,015	699915,77	2110,8	977432,010

**Fuente:** Galindo, 2010.

En el área de estudio se estableció dos perfiles para la toma de datos gravimétricos: perfil 1 con una orientación NW – SE tiene una longitud de 12 Km aproximadamente, se extiende hacia los márgenes de rocas de basamento atravesando todo el relleno sedimentario de la

cuenca. El perfil 2, tiene una orientación W-E, con una longitud de 8 km aproximadamente (Figura 6), los mismos que se encuentran separados cerca al Tambo aproximadamente 2,5 Km entre cada perfil.

Los datos de medidas gravimétricas fueron levantados a distancias de 300 m entre cada punto, para esto se ayudó de las vías y caminos existentes en la zona por donde se realizó los recorridos respectivos. Los datos fueron levantados con un Gravímetro Scintrex CG-5 de propiedad de la UTP.



**Figura 6:** Mapa de los perfiles para la toma de datos gravimétrico.  
**Fuente:** Capa, 2015.

### 3.2.3. Levantamiento de datos geológico – estructurales.

Paralelo al levantamiento de datos gravimétricos se realizó el levantamiento de datos geológico-estructurales tomando como base topográfica las hojas de Catamayo y Gonzanamá a escala 1:50 000, en base a la cual se levantaron datos geológico estructurales con mayor detalle en los perfiles gravimétricos seleccionados, completando el mapeo en afloramientos de fácil acceso para poder cubrir todo el polígono de estudio, además fue necesario la utilización de fotos aéreas y modelos digitales del terreno (MDT), para definir las zonas de contacto litológico que no han podido ser definidos en campo (Anexo 1).

La descripción litológica de los afloramientos se lo realizó a lo largo de cortes de vías y en afloramientos naturales como quebradas, donde se procedió a realizar la descripción y caracterización litológica, toma de medidas estructurales, ubicación geográfica con un navegador GPS portátil (Garmin eTrex H) determinando la posición de coordenadas de cada punto, y la respectiva documentación fotográfica (Figura 7). Por razones que la zona de estudio se encuentra en gran parte cubierta de vegetación, sumado a la falta de accesos y afloramientos que permitan hacer una descripción detallada no ha sido posible determinar estructuras en superficie dificultando la toma de datos estructurales.

De esta manera se trató de cubrir toda el área de estudio, con la finalidad de encontrar la mayor cantidad de datos estructurales, y litología que permitieron definir las diferentes formaciones geológicas existentes que fueron referenciadas al DATUM WGS84, zona 17S.



**Figura 7:** Descripción del afloramiento de roca sedimentaria. Sector: San Miguel (coordenadas UTM X: 683730; Y: 9552164)  
**Fuente:** Capa, 2015.

### **3.3. Trabajo de Gabinete.**

#### **3.3.1. Procesamiento de datos gravimétricos.**

Los datos obtenidos en cada perfil gravimétrico se procedieron a realizar las correcciones posteriores adecuadas, mismas que corresponden a: correcciones topográficas, de aire libre y de Bouguer. El procesado de las medidas gravimétricas de campo se realizó con los programas CICLOS (versión 11, 1996-2010), ANOMALÍA (versión 11, 1996-2010) y PERFIL (versión 11, 1996-2010), desarrollados por J. Galindo Zaldívar, Departamento de Geodinámica de la Universidad de Granada, las anomalías residuales obtenidas se realizaron mediante modelos 2D, para lo cual fue necesario utilizar el programa GRAVMAG V1.7. del British Geological Survey.

##### **3.3.1.1. Descarga de datos de gravedad.**

Los datos tomados en cada ciclo de medida fueron almacenados en la memoria del gravímetro Scintrex CG5, la descarga de los datos se realizó mediante el programa SCTUTIL que fueron transferidos a un ordenador en formato texto donde se indica la hora y fecha de toma de cada medida gravimétrica.

##### **3.3.1.2. Descarga de datos topográficos.**

Las coordenadas tomadas en cada punto de medición de la gravedad se realizaron con el GPS diferencial Trimble R6, tomando los puntos en modo fast-static que fueron almacenadas directamente en la memoria del equipo.

La descarga se realizó a través del software Trimble Business Center, el cual nos permite obtener las coordenadas tomadas directamente en el campo, y corregirlas a través de la discriminación de los satélites con problema de señal y del ajuste de cada punto con la base colocada.

Luego de que las coordenadas fueron corregidas, el archivo es guardado en el formato deseado, con el nombre y fecha de medida.

#### **3.3.2. Procesamiento de datos.**

Se deben preparar los datos descargados tanto del gravímetro como del GPS diferencial, para esto utilizamos el programa de UltraEdit Professional Text/Hex Editor (versión 1.4), que nos permite manipular de una mejor manera los archivos de tipo texto.

Con los datos de la gravedad obtenidos en campo se realizaron las correcciones de: deriva instrumental, aire libre, topográfica y Bouguer.

Para la corrección de la deriva instrumental se la realizó mediante el software CICLOS versión 11 (1996-2010), que corrige el valor de la anomalía a través de la corrección de la deriva tomando en cuenta los datos de inicio y cierre del ciclo de medida que considera la variación de la gravedad con respecto al tiempo y elimina el efecto de las mareas en base a la hora y la latitud de la estación de medida.

Con ayuda de software ANOM versión 11 (1996-2010) se realiza la corrección de aire libre y se calcula la anomalía de Bouguer, para que los cálculos efectuados por el programa sean los correctos, necesitamos el valor de la gravedad absoluta de la estación base, y las coordenadas UTM y geográficas, así como el valor de la densidad media del terreno, para nuestro caso se ha considerado una densidad de  $2.3 \text{ g/cm}^3$  para el relleno sedimentario y de  $2.67 \text{ g/cm}^3$  para las rocas de basamento.

Luego se realiza la corrección topográfica utilizando el software GravMaster versión 1.42a, que utiliza un método gráfico de círculos de Hammer. La corrección topográfica se realizó con el modelo digital de terreno SRTM3 realizado por la NASA con una rejilla cada 90 metros, tomando un radio de hasta 23 km, en referencia a la zona de estudio. Con esto obtenemos un valor que nos permite calcular la anomalía de Bouguer, realizamos este proceso para cada uno de los ciclos de medida, posteriormente procedemos a unir los datos procesados en cada ciclo de medida con la finalidad de definir el perfil completo de la medida gravimétrica, esto permitirá posteriormente generar los modelos gravimétricos 2D para su interpretación.

Con el software PERFIL versión 11 (1996-2010), realizamos el procesamiento para obtener los perfiles que relaciona linealmente los valores obtenidos de la anomalía de Bouguer, tomando la distancia desde el punto inicial hasta el punto final, según la orientación que fueron tomados los datos, con la finalidad de obtener un gráfico de la anomalía observada y calculada, a partir del cual se genera el modelo gravimétrico tomando en cuenta las densidades correspondientes para el relleno sedimentario y roca de basamento.

### **3.3.3. Generación de Modelos.**

Para generar los modelos utilizamos el programa Gravmag V.1.7 ® desarrollado por el British Geological Survey, que nos permite graficar los perfiles en dos dimensiones, arrojándonos dos anomalías: la anomalía residual teórica o calculada y la anomalía residual real u observada, las cual debe ser ajustada para obtener un modelo grafico más acertado.

Para poder ajustar estas dos anomalías, es necesario inhibir el efecto de la anomalía regional, que es causada por la presencia de estructuras regionales, en este caso sumando este valor debido a que los valores obtenidos de la anomalía de Bouguer son negativos.

Luego se procede a ajustar las anomalías observada y calculada, de manera que queden sobrepuestas o cercanas, tomando en cuenta los datos geológicos, la litología y las estructuras presentes, utilizando los valores de densidad de  $2,67 \text{ g/cm}^3$  para el basamento, y  $2,3 \text{ g/cm}^3$  para el relleno sedimentario.

**CAPITULO IV**  
**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### 4.1. Geología.

El levantamiento geológico-estructural de la zona, permitió realizar el mapeo geológico de campo, que consistió en la descripción de afloramientos representativos en los cortes de vías, y afloramientos naturales, demarcando las litologías presentes para la correlación y corroboración de lo expuesto por los autores anteriormente mencionados (Kennerley, 1975 y Hungerbühler, et al., 2002), los resultados del trabajo realizado se representan en el mapa geológico del polígono de estudio a escala 1: 50 000. (Anexo1). A continuación se muestra la descripción de las litologías encontradas.

##### 4.1.1. Rocas Metamórficas.

Las rocas metamórficas, corresponden a la cordillera Real de los Andes y está formada por rocas de metamorfismo de bajo grado, compuestas principalmente por cuarcitas y filitas, además dentro del área de estudio se observa esquistos micáceos.

Estas rocas afloran en la zona noreste del polígono de estudio, la tendencia de la foliación de las rocas tiene una dirección N 29°E con buzamiento de 55°SE.

En el sector noreste del polígono en una vía alterna por el poblado Las Aradas -El Tambo \_ Loja afloran rocas metamórficas, por lo que la continuidad del metamorfismo es evidente en el borde este de la cuenca de Catamayo. Esta litología corresponde a la Unidad Chiguinda, y forma parte del basamento de la cuenca de Catamayo por el lado oriental (Figura 8).



**Figura 8:** Afloramiento de rocas metamórficas.  
Coordenadas UTM: X= 689758; Y= 9549986.  
**Fuente:** Capa, 2015.

#### 4.1.2. Rocas Ígneas.

Se localizan en la zona sureste del área de estudio, se encuentran altamente meteorizadas. En su mayoría presentan una composición riolítica-andesítica, constituidas por andesitas porfíricas, y tobas riolítica con impregnaciones de pirolusita, producto de lavas consolidadas. Presentan una tonalidad rojiza debido a la oxidación de los minerales de hierro, además contiene fragmentos de cuarzo, plagioclasas y feldespatos potásicos (Figura



**Figura 9:** A la izquierda, Toba Riolítica con impregnaciones de Pirolusita. Coordenadas UTM (X: 689383; Y: 9547376), a la derecha Rocas Intrusivas de composición riolítica Andesítica. Sector (X: 689372; Y: 9549752)

**Fuente:** Capa, 2015.

9).

#### 4.1.3. Rocas Volcano-sedimentarias.

Las rocas de tipo volcano sedimentarias presentes en la zona corresponde a la formación Loma Blanca, Sacapalca y Gonzanamá, se formaron como consecuencia de la actividad volcánica de la cual se transportaron por medio de flujos piroclásticos dando lugar a rocas de menor densidad.

Dentro de las litologías presentes tenemos: areniscas tobáceas compactas con gran cantidad de carbonatos, con láminas de yeso correspondientes a la formación Gonzanamá con dato estructural N 54° E / 44° SE (Figura 10). Aglomerados volcánicas formados por fragmentos de lavas volcánicas, de color blanquecino de gran potencia, que predomina casi toda la zona de estudio correspondientes a la formación Loma Blanca (Figura 11), y lavas volcánicas correspondientes a la formación Sacapalca que se ubican hacia el oeste de la cuenca de Catamayo.



**Figura 10:** Lentes de Conglomerados con clastos volcánicos y areniscas correspondientes a la formación Gonzanamá, Coordenadas UTM: (X: 678630; Y: 9551817).

**Fuente:** Capa, 2015.



**Figura 11:** Aglomerados correspondientes a la formación Loma Blanca. Sector: El Huayco. Coordenadas UTM (X: 687320; Y: 9547368).

**Fuente:** Capa, 2015.

#### **4.1.4. Depósitos Aluviales.**

Dentro del área de investigación se ubica el río Catamayo y varias quebradas que conforman el sistema fluvial, en los márgenes de estos se localizan depósitos de tipo aluvial, constituidos por material superficial de tipo detrítico como arcilla, limos, arenas, gravas y cantos de rocas volcánico y metamórfico, mal clasificado y poco consolidado. Los depósitos aluviales se encuentran dispuestos en terrazas.

## 4.2. Estratigrafía y Estructuras.

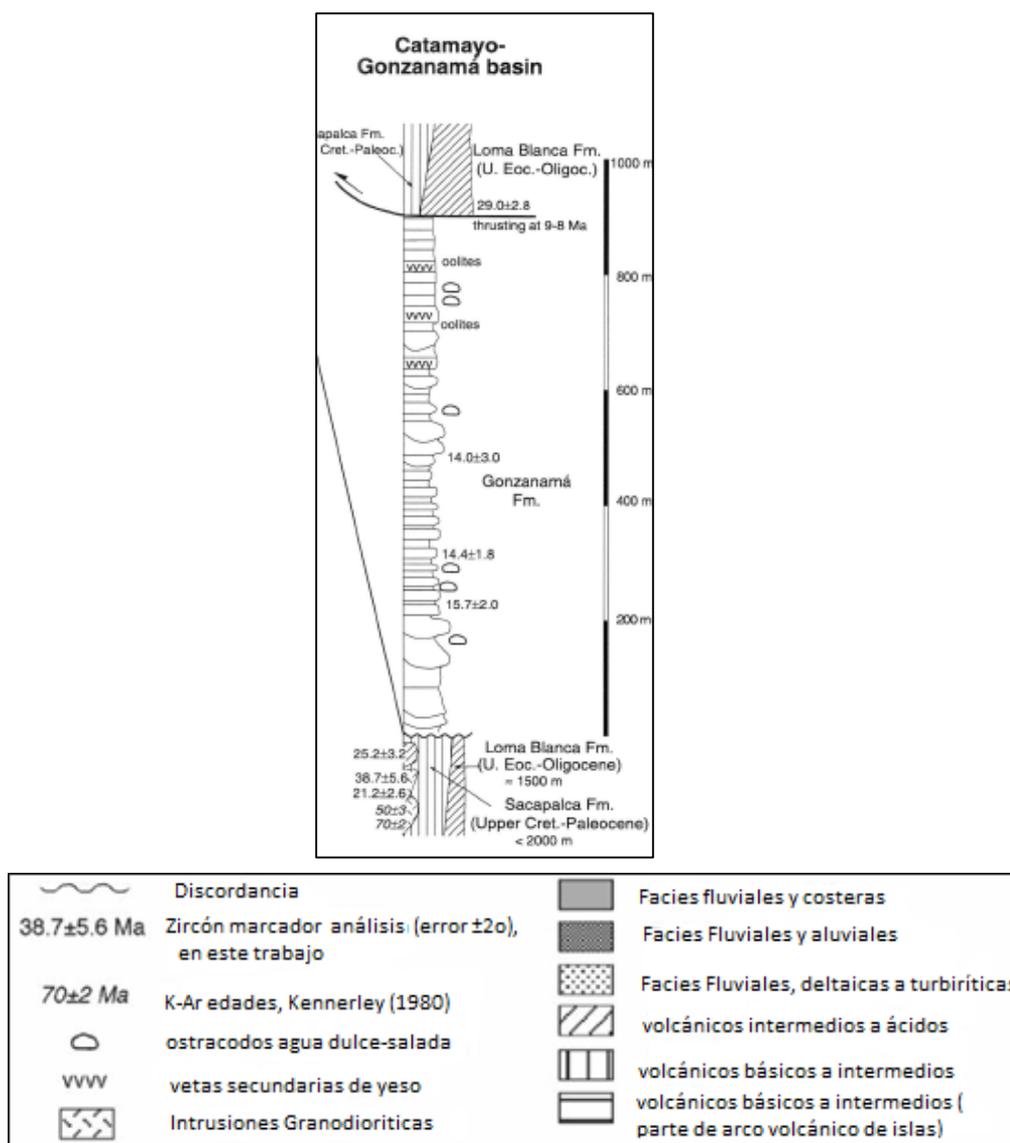
(Hungerbühler, et al., 2002), realiza la interpretación de la columna estratigráfica para la cuenca de Catamayo y Gonzanamá (Figura. 12), mediante el cual propone que la formación Sacapalca y Loma Blanca forman parte del basamento de la cuenca que estaría afectada por intrusiones granodioríticas, sobre el cual se deposita discordantemente los sedimentos de la formación Gonzanamá, cuyo espesor está entre los 500 y 1000 metros. La formación Sacapalca tiene un espesor aproximado de 2000 m, mientras que la formación Loma Blanca puede alcanzar espesores hasta 1500 metros. Hacia el borde este de la cuenca (Hungerbühler et al., 2002), indica que la formación Loma Blanca se encuentra sobrepuesta a los sedimentos de la formación Gonzanamá por efecto de una falla inversa que estaría afectando la actual posición de los sedimentos formando una discordancia angular.

En la zona de estudio la formación Gonzanamá se encuentran buzando hacia el este, que indica la actividad tectónica extensiva y compresiva de la cuenca, siendo evidente cuevas estructurales como resultado de inclinación de los estratos. Los datos estructurales tienen un azimut de buzamiento entre 37°N a 110°S, con buzamientos entre 34° a 44° de inclinación.

Según el levantamiento geológico del área de estudio y en base a los modelos gravimétricos obtenidos, se ha podido determinar fallas de borde en el límite de la cuenca, y fallas inferidas que están definiendo la estructura deposicional de los sedimentos. Las fallas determinadas son de tipo normal con buzamiento hacia el este en el borde occidental y buzamiento hacia el oeste en el borde oriental de la cuenca, formando una estructura tipo graben que se extiende al sur hasta la cuenca de Malacatos.

Las estructuras definidas no son observables en superficie, por el recubrimiento de sedimentos volcánicos de la formación Loma Blanca, en el perfil geológico A-A', en el borde occidental la formación Sacapalca y Gonzanamá están limitadas por una falla regional que limita la cuenca, mientras que al este entre el Pórfido de Purunúma y la formación Loma Blanca se ha determinado una falla normal entre estas dos litologías que han definido la actual posición de los sedimentos. En el perfil geológico B-B' hacia el oeste de la cuenca entre la formación Sacapalca y Loma Blanca existe una falla normal que separa estas dos formaciones y hacia el borde este la formación Loma Blanca y el Pórfido de Purunúma se encuentran limitados por una falla normal, Estas fallas se interpretan como una continuidad entre el perfil geológico A-A' y B-B', que corresponden a las fallas de borde mapeadas en el mapa geológico de la hoja de Gonzanamá según Kennerley, 1975, y definidas como una inversión posterior de estas fallas según Hungerbühler et al., (2002). Estas fallas en conjunto

definen la actual posición de los estratos y profundidad del relleno sedimentario, formando un graben con mayor profundidad del relleno hacia el sur de la cuenca (Anexo 1).



**Figura 12:** Columna Estratigráfica de la cuenca de Catamayo-Gonzanamá.

**Fuente:** Hungerbühler, 2002.

### 4.3. Modelos gravimétricos y modelos geológicos.

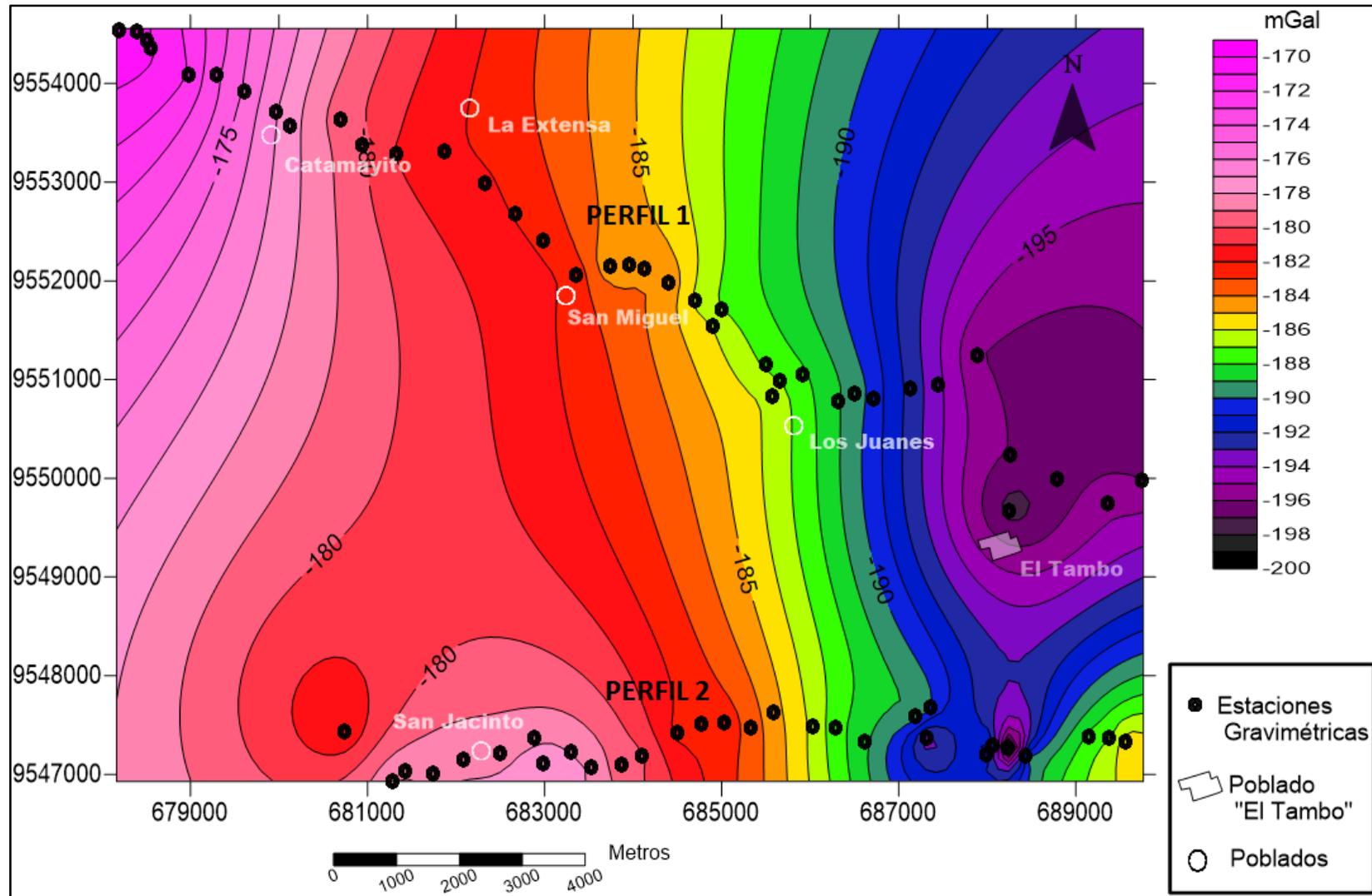
En esta sección se presenta las interpretaciones de la anomalía gravimétrica realizada en cada perfil con la posterior correlación geológico-estructural de la zona de estudio.

Los resultados obtenidos de la anomalía de Bouguer se encuentran en rangos de -190 a -200 mGal, que indican anomalía negativa en relación a la corteza continental gruesa. Valores entre -183 a -190 mGal, indican la extensión de la simetría del relleno sedimentario,

mientras que hacia el oeste valores obtenidos entre -170 a -183 mGal, indican depósitos de rocas volcánicas y volcáno-sedimentarias (Figura 13).

Los modelos gravimétricos fueron realizados mediante el ajuste de la anomalía calculada y la anomalía observada, considerando el valor de  $2,3 \text{ g/cm}^3$  como densidad para el relleno sedimentario, y  $2,67 \text{ g/cm}^3$  para las rocas de basamento, el relleno sedimentario se lo muestra entre las tonalidades amarillo, y las rocas de basamento ubicados tanto al este y oeste de la cuenca, distinguidos por diferentes tonalidades de rangos de densidades que hacen referencia a los tipos de litología presentes en la zona.

Los perfiles gravimétricos se los ha correlacionado con la geología de la zona, y con el mapa de anomalía de Bouguer generada.



**Figura 13:** Mapa de contornos de la anomalía de Bouguer de la zona de estudio.

Fuente: Capa, 2015.

#### **4.4. Interpretación del perfil 1 (A-A').**

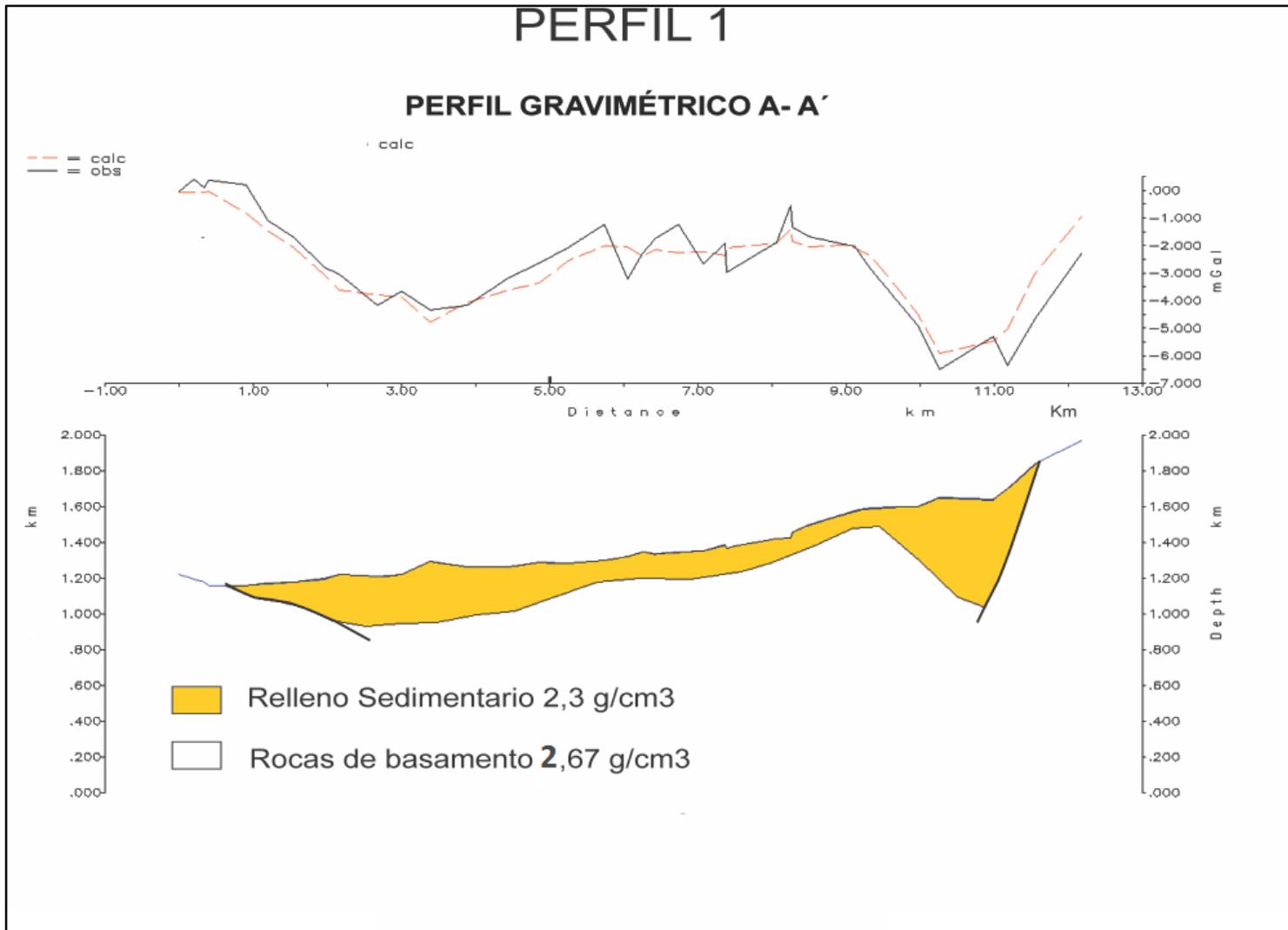
El perfil se encuentra ubicado al norte de la zona de estudio, con una orientación Noroeste – Sureste, iniciando en la coordenada UTM N: 95545580, E: 678166, tiene una longitud de 12 Km (Anexo 1). Este perfil empieza en la formación Sacapalca (NW), y finaliza al extremo del polígono con el Pórfido de Purunúma (SE). Topográficamente, presenta una superficie irregular con elevaciones sobre los 1800 m.

Según el modelo gravimétrico generado, la anomalía residual alcanza valores mínimos de hasta -6 mGal en la zona oriental, donde se induce que la cuenca alcanza una profundidad, máxima de aproximadamente 700 metros (Figura 14).

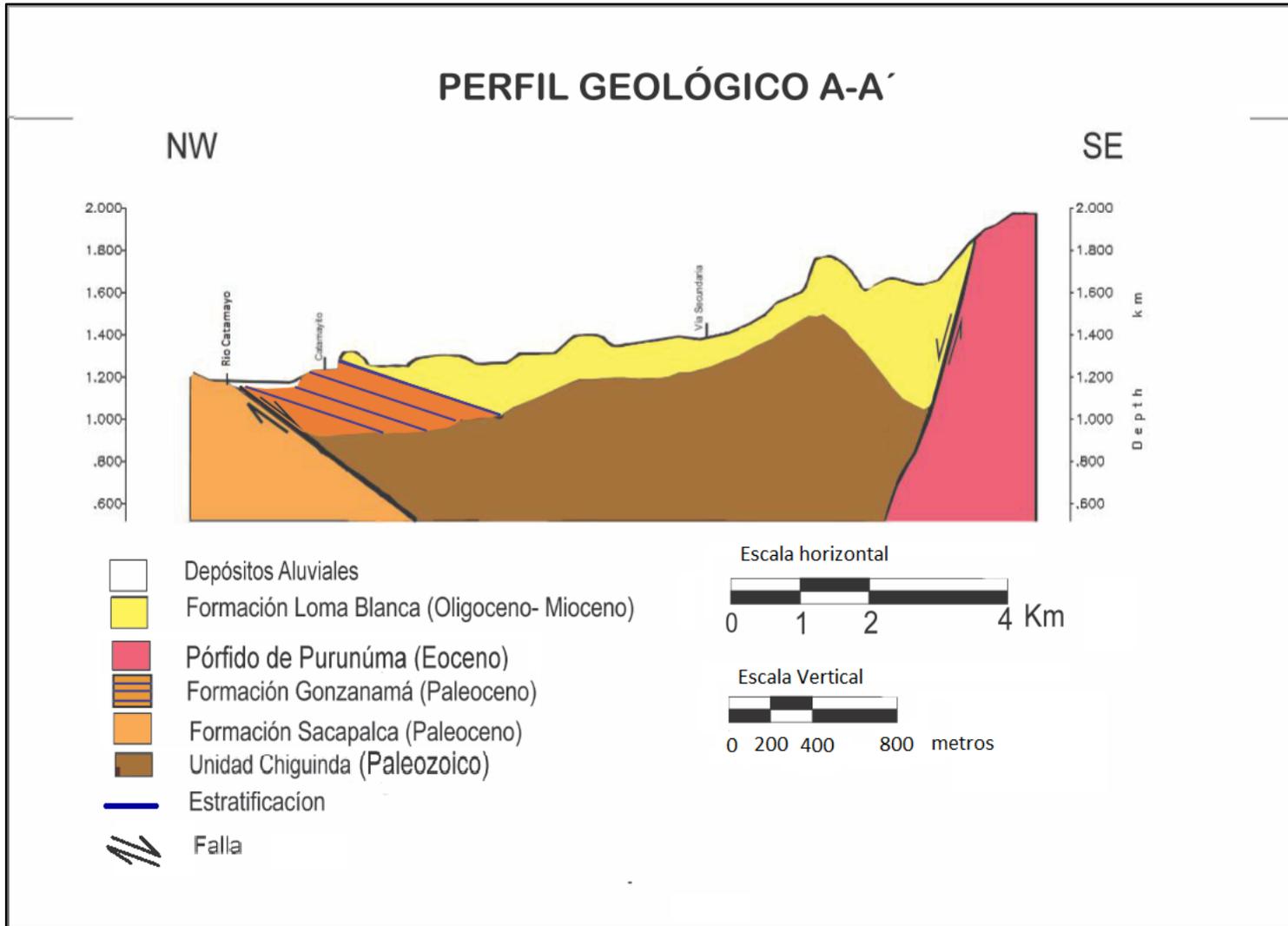
Correlacionando el modelo gravimétrico con el modelo geológico, se establecen dos fallas normales de borde como resultado de fuerzas de extensión y compresión que provocaron el hundimiento de la cuenca formando una estructura tipo graben.

Estas fallas se correlacionan con las propuestas por (Kennerley, 1975) y (Hungerbühler, et al., 2002), la falla ubicada en el borde occidental forma parte del contacto entre la formación Sacapalca y la formación Gonzanamá, que se prolongaría en profundidad con las rocas metamórficas de la Unidad Chiguinda, la falla que se extiende por el borde oriental en este perfil está en contacto entre el Pórfido de Purunúma y la formación Loma Blanca, esta falla continúa hacia el norte en contacto con rocas metamórficas y los depósitos sedimentarios de la cuenca.

En este perfil la formación Loma Blanca ocupa una mayor superficie, con profundidades entre 100 a 300 metros hacia el NW, variando la profundidad de 500 a 700 metros hacia el SE que ha sido determinado en el modelo gravimétrico. Hacia el noroeste se ubica la formación Gonzanamá que muestra una estratificación definida con una dirección N 54° E / 44° SE de inclinación, con un espesor aproximado de 200m. (Figura 15).



**Figura 14:** Curva de anomalías residuales observada y calculada, Modelo Gravimétrico A-A'.  
**Fuente:** Capa, 2015.



**Figura 15:** Modelo Geológico A-A'.  
**Fuente:** Capa, 2015.

#### **4.5. Interpretación del perfil 2 (B-B').**

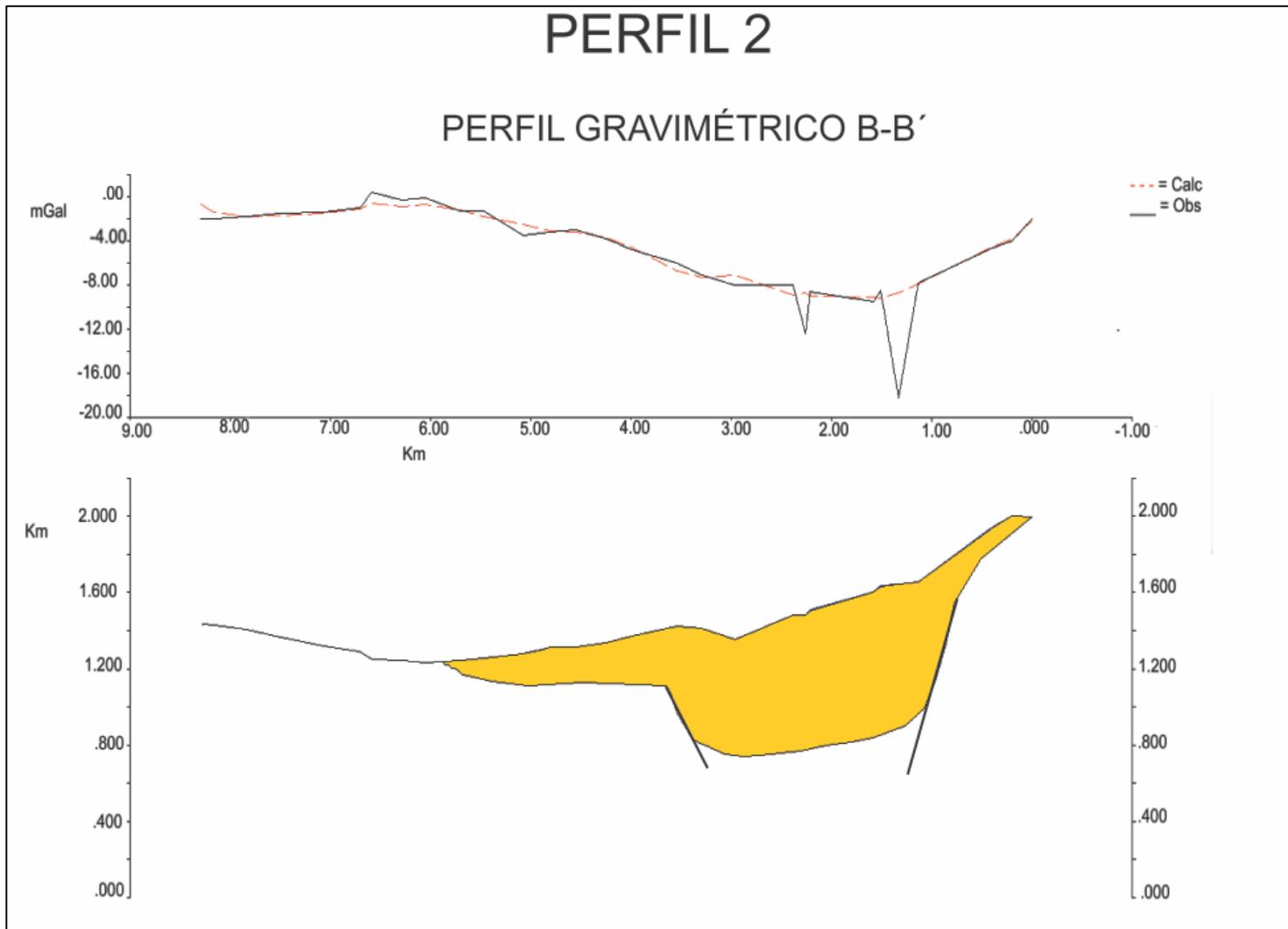
El perfil se encuentra ubicado al sur del polígono de estudio, con una orientación Oeste – Este, iniciando en la coordenada UTM N: 95474370, E: 680727. (Anexo 1), con una longitud de 8 Km, atraviesa rocas volcánicas de la formación Sacapalca, Loma Blanca y el Pórfido de Purunúma hacia el este de la cuenca. Topográficamente, el perfil se muestra con una superficie irregular con elevaciones sobre los 1400 a 2000 m.

Basándonos en el modelo gravimétrico generado, los valores cambian gradualmente de oeste a este, la anomalía residual alcanza mínimos en la zona oriental, dando valores de hasta -8 mGal, que indica la zona de mayor profundidad, donde el relleno sedimentario tiene aproximadamente 800 m (Figura 16).

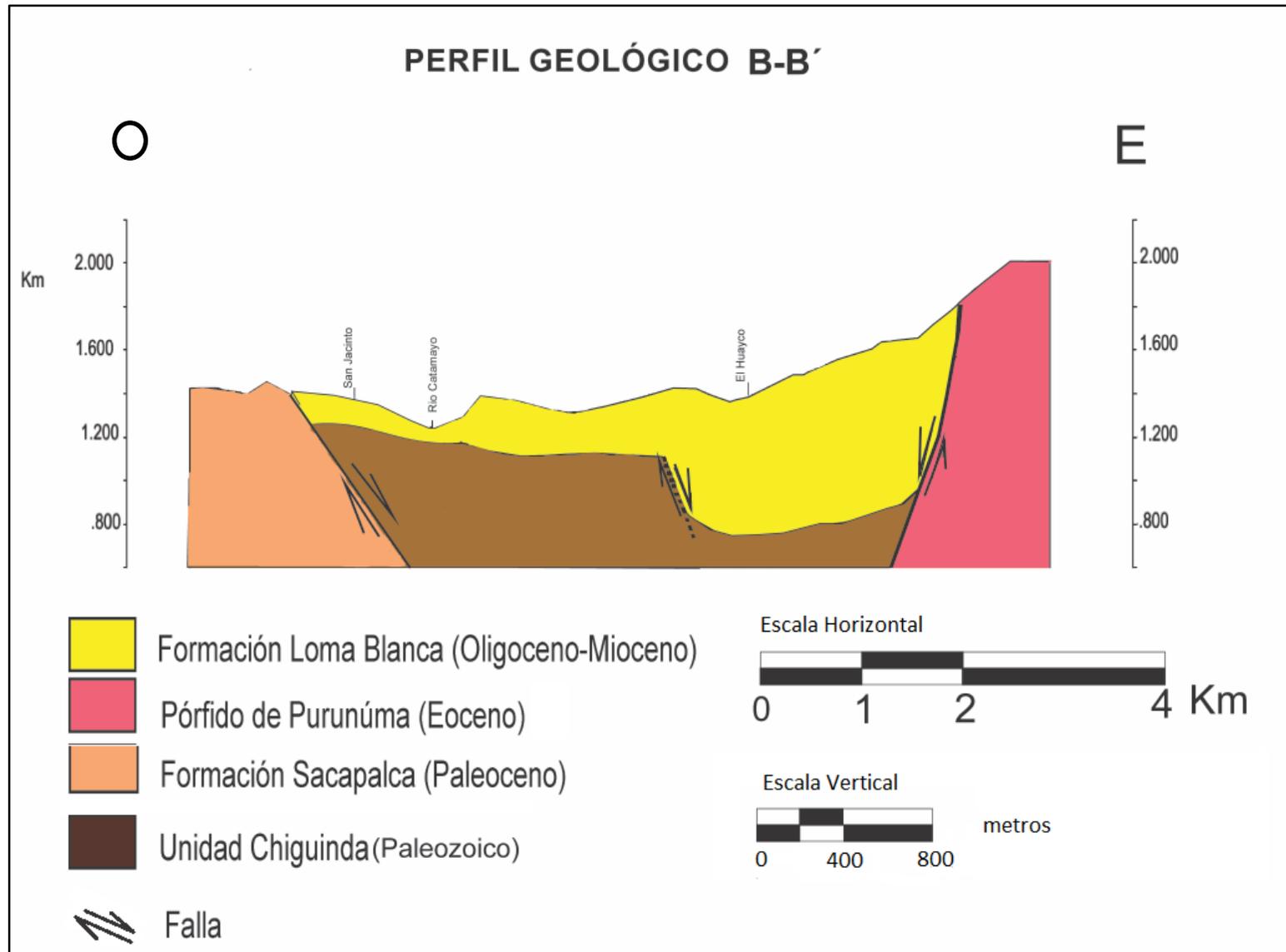
Correlacionando el modelo gravimétrico con el modelo geológico, se interpretan dos fallas de borde de tipo normal, que coinciden con las determinadas en el mapa geológico de la hoja de Gonzanamá (Kennerley, 1975), (Hungerbühler, et al., 2002), así como la interpretación realizado en el perfil 1, existiendo una continuidad entre estos dos perfiles, que daría paso a la formación de una estructura tipo graben.

La falla ubicada en el borde occidental forma parte del contacto entre la formación Sacapalca y los depósitos sedimentarios de la formación Gonzanamá y las rocas metamórficas de la Unidad Chiguinda, la falla del borde oriental forma parte del contacto entre el Pórfido de Purunúma y la formación Loma Blanca. Estas fallas descritas se correlacionan con las fallas interpretadas en el perfil 1.

La formación Loma Blanca ocupa la mayor superficie en el perfil, su profundidad aproximada es de 150 metros en el extremo oeste. Al centro del perfil se puede ver que el modelo gravimétrico cambia dando un mayor espesor, donde se puede interpretar un salto de falla de tipo normal que indica la simetría del relleno de la cuenca en este sector. (Figura 17).



**Figura 16:** Curva de anomalías residuales observada y calculada, Modelo Gravimétrico B-B'.  
**Fuente:** Capa, 2015.



**Figura 17:** Modelo Geológico B-B'.  
**Fuente:** Capa, 2015.

#### **4.6. Discusión de resultados.**

(Feininger & Seguin, 1983), señalan que los valores regionales en la anomalía de Bouguer para el sur de Ecuador se encuentran en un rango de -250 y -222 mGal, los cuales corresponden a corteza continental netamente engrosada, mismo que se correlacionan con los valores de gravedad obtenidos en la zona de estudio.

Con los datos obtenidos de las medidas gravimétricas, se procedió a calcular los modelos gravimétricos que posteriormente fueron correlacionados con los datos geológicos levantados. A partir del modelo gravimétrico y mapa geológico de la zona de estudio se determinó la profundidad del relleno sedimentario. El perfil uno, registra una mayor profundidad en la parte oriental, alcanzando aproximadamente 700 metros. Los valores de la anomalía residual en esta zona dan un valor mínimo de -6 mGal.

Con la interpretación del modelo gravimétrico, se ha identificado fallas geológicas ubicadas al borde este y oeste de la cuenca. Los saltos registrados en los modelos gravimétricos definen la posición de las fallas geológicas así como su proyección en profundidad. Estas fallas marcan el contacto entre los depósitos sedimentarios, volcánicos sedimentarios (formaciones Gonzanamá y Loma Blanca) de las rocas metamórficas y volcánicas (Unidad Chiguinda y Formación Sacapalca), formando una estructura tipo graben que se correlaciona con lo expuesto por Hungerbühler et al., (2002) y Kennerley (1975).

La formación Loma Blanca ocupa la mayor parte de superficie del polígono extendiéndose desde el sur al norte de la cuenca. La formación Gonzanamá presenta una potencia de aproximadamente 200 m, se encuentra buzando hacia el este-sureste, y se extiende hacia el suroeste en contacto con la formación Sacapalca. Según el mapeo geológico realizado por (Kennerley, 1975), en la Hoja 57, entre estas dos formaciones se localiza una falla, la misma que ha sido comprobado en el respectivo modelo gravimétrico.

De acuerdo al modelo gravimétrico las fallas de borde son de tipo normales misma que forman una depresión importante debido a la acción de fuerzas de extensión y posterior compresión ejercido en la cuenca que originaron la actual posición de los sedimentos y la profundidad del relleno alcanzando un espesor aproximado de 800 m. Este proceso tectónico basado en los modelos gravimétricos se ha interpretado a la cuenca como una estructura tipo graben que dio paso a la formación de la cuenca sedimentaria de Catamayo.

## CONCLUSIONES

- La geología de la zona está formado por rocas metamórficas de la Unidad Chiguinda, Pórfido de Purunúma, rocas volcánicas de la formación Sacapalca, formaciones volcano-sedimentarias de la formación Loma Blanca y sedimentos de la formación Gonzanamá.
- La interpretación y correlación de los modelos gravimétricos, permitieron determinar la profundidad del relleno sedimentario, y la disposición en las que se encuentran las formaciones volcano-sedimentarias.
- La formación Loma Blanca ocupa la mayor extensión del área y su profundidad alcanza un máximo de 800 m.
- Las fallas identificadas en los bordes de la cuenca y que han sido definido por los modelos gravimétricos son de tipo normal, formado por proceso de extensión y posterior compresión de la cuenca, que dio paso a la actual posición de los sedimentos y formación de una estructura tipo graben.
- Estructuras monoclinales que forman los estratos de la formación Gonzanama donde el buzamiento tiene tendencia hacia el E-SE, indican un posterior evento tectónico de la cuenca donde fuerzas de compresión han tenido una dirección W-E,
- Los valores de la anomalía de Bouguer para los perfiles determinados en la zona de estudio se encuentran entre -170 mGal y -190 mGal.
- Los valores de las anomalías residuales tuvieron valores mínimos de hasta -8 mGal, que indican una corteza continental netamente engrosada definiendo la profundidad y estructura del relleno sedimentario.
- La estructura tipo graben determinada en la zona de estudio es más profunda y estrecha al sureste y más extensa hacia el norte donde la profundidad del relleno sedimentario disminuye.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio geológico – estructural más a detalle de la zona para poder definir con mayor exactitud las estructuras presentes, y su continuidad a profundidad.
- Realizar el mapeo geológico paralelo al levantamiento de toma de datos gravimétricos para correlacionar los datos obtenidos en campo, y luego de las correcciones realizadas.
- Realizar estudios de micro-gravimetría de la zona, estableciendo más líneas gravimétricas, para la obtención de mejores resultados en la determinación de la distribución del relleno sedimentario, estructuras, y continuidad de las mismas.
- Al realizar la correlación de los modelos gravimétricos con los modelos geológicos, se debe revisar la topografía, ya que el programa utilizado para la modelación gravimétrica no considera el valor de las cotas a detalle.
- Finalmente se recomienda realizar un análisis cuantitativo del relieve con índices geomórficos que pueden ser a través de análisis de sinuosidad del frente montañoso para determinar rasgos estructurales activos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva Valdivia, L. M. (2005). *Del Instante de la Creación a la Formación y Estructura de la Tierra*. . México: Instituto de Geofísica, UMAN. 04510 México, D.F.
- Cantos, J. (1987). *Tratado de Geofísica Aplicada*. Madrid: Sección de Publicaciones de la E.T.S de Ingenieros de Minas.
- Carenas , M. B., Giner , J. L., González, J., & Manuel, P. (2014). Geología . En *Geología* (págs. 79-80). Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Feininger , T., & Seguin , M. K. (1983). *Simple Bouguer gravity anomaly field and the inferred crustal structure of continental Ecuador*. *geology*, 11.
- Galindo, J., Soto, J., Ruano , P., Tamay, J., Lamas, F., Guartán , J., . . . Paladines , A. (2010). Geometría y estructuras de la cuenca neógena de Loja a partir de datos gravimétricos (Andes Ecuatorianos) . *Geogaceta*, 48.
- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler , W., Seward, D., Egüez, A., Peterson , D. E., . . . Hammer, C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews* 57, 75-124.
- Hungerbüler, D. (1997). *Neogene basin in the Andes of southern Ecuador: evolution, deformation and regional tectonic implications*. A dissertation submitted to the SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH.
- Jaillard , E., Benitez, S., Berrones, G., Huaman , C., Ordoñez, M., & Rivadeneira , M. (1991). *Análisis de Cuencas Sedimentarias e Historias precoz de los Andes* . Quito : Petroproducción- Orstom .
- Kearey, Brooks, & Hill. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration* (Tercera ed.). Osney Mead: Blackwell Science I.td.
- Kennerley, J. y. (1975). 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., & Jemielita, R. A. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*. *Overseas Memoir 11* . Keyworth, United Kingdom : BGS.
- Mirónov, V. (1977). *Curso de Prospección Gravimétrica*. Barcelona : Reverté,S.A.

Parasnis, D. (1970). *Principios de Geofísica Aplicada*. (E. Orellana, Trad.) Madrid: Paraninfo

Parasnis, D. (1971). *Geofísica Minera*. (E. Orellana, Trad.) Madrid: Paraninfo.

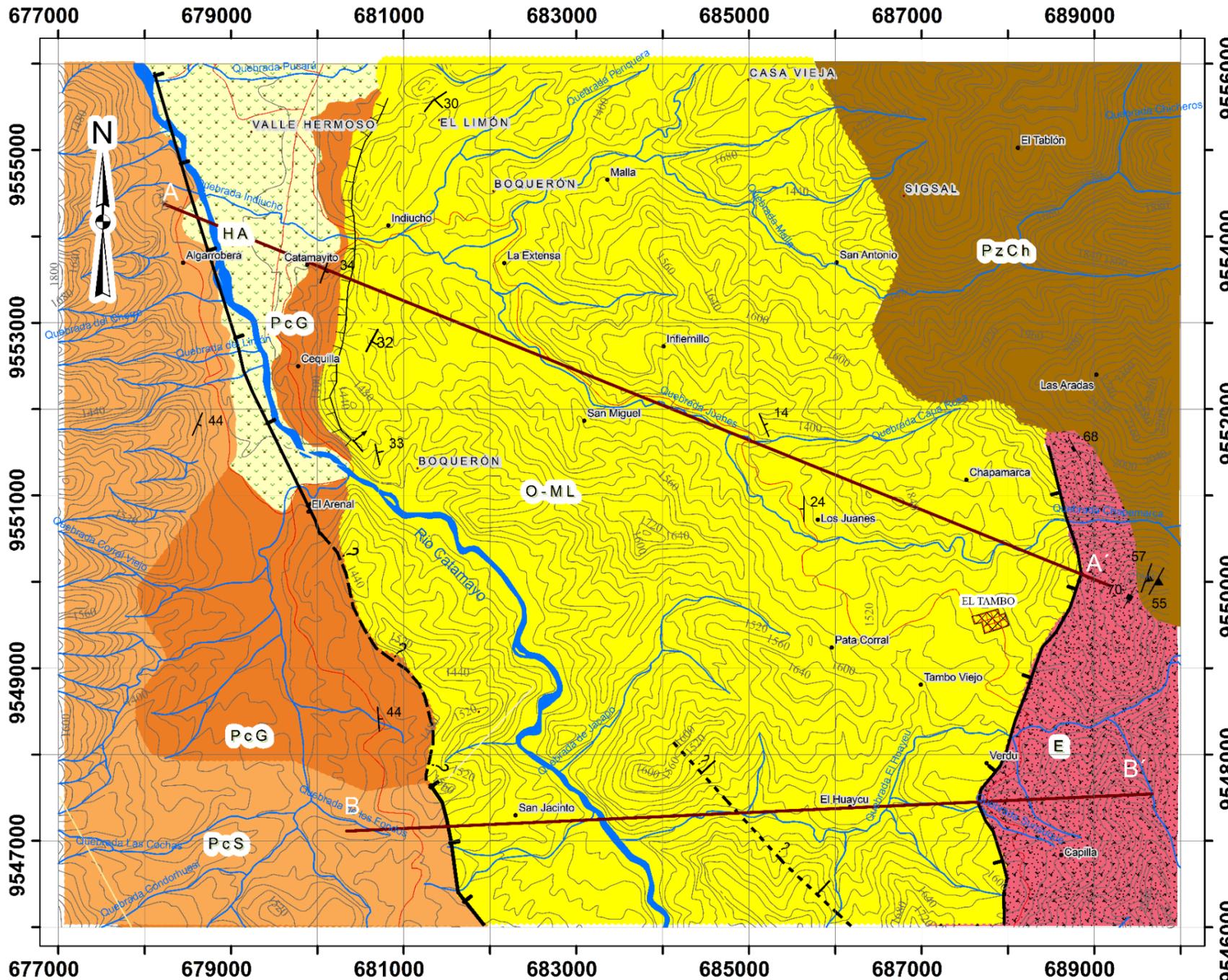
Reinoza Gómez, C. E. (Marzo de 2006). *Modelado Geofísico del basamento del área metropolitana de la ciudad de Mérida, estado Mérida*. Obtenido de [http://www.researchgate.net/profile/Carlos\\_Reinoza/publication/44721640\\_Modelado\\_geofisico\\_del\\_basamento\\_del\\_rea\\_metropolitana\\_de\\_la\\_ciudad\\_de\\_Mrida\\_Estado\\_Mrida\\_\\_Carlos\\_Eduardo\\_Reinoza\\_Gmez/links/0046351bf2c430fdb4000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Carlos_Reinoza/publication/44721640_Modelado_geofisico_del_basamento_del_rea_metropolitana_de_la_ciudad_de_Mrida_Estado_Mrida__Carlos_Eduardo_Reinoza_Gmez/links/0046351bf2c430fdb4000000.pdf)

Scintrex Limited. (2010). *CG-5 Scintrex Autograv System Operation Manual*. Canada: SCINTREX Limited.

Sears, Zemansky, & Young. (1988). *Física Universitaria*. Estados Unidos: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A.

## **ANEXOS**

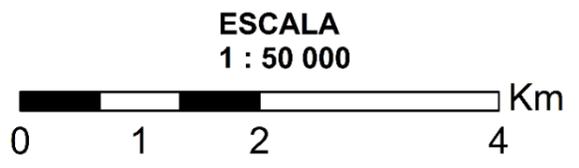
# MAPA GEOLÓGICO ZONA SUR DE LA CUENCA DE CATAMAYO



## Leyenda

- Geología**
- HA ALUVIALES | HOLOCENO
  - O-MI Fm. LOMA BLANCA | MIOCENO
  - PcG PÓRFIDO PURUNÚMA | EOCENO
  - PcS Fm. GONZANAMÁ | PALEOCENO
  - E Fm. SACAPALCA | PALEOCENO
  - PzCh UNIDAD CHIGUINDA | PALEOZOICO

- Simbología**
- Perfiles**
- A-A'
  - B-B'
  - Poblados
  - Curva de Nivel
  - Vias
  - Falla
  - - - Falla inferida



SISTEMA DE COORDENADAS UTM  
SISTEMA DE REFERENCIA WGS84  
ZONA 17S

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULA DE LOJA</b> <i>La Universidad Católica de Loja</i>
CONTIENE: <b>MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA SUR DE LA CUENCA DE CATAMAYO</b>	
Sistema de Coordenadas:	UTM Zona 17S
Datum:	WGS 84
Escala de Impresión:	1:50 000
Autor:	Ximena Katherine Capa Camacho
Revisado por:	M.Sc. José Vidal Tamay Granda

La base topográfica de la cuenca sedimentaria de Catamayo es elaborada a partir de las cartas a escala 1:50.000: GONZANAMÁ (CT-NVII-B3-3781-III) del Instituto Geográfico Militar (actualización digital - Enero 2013). La base Geológica es tomada a partir de la HOJA 57 - GONZANAMÁ escala 1:100.000 Kennerley 1975.