

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS**

### **ANÁLISIS Y REINTERPRETACIÓN DE DATOS GRAVIMÉTRICOS DE LA CALDERA DE CHALUPAS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
GEÓLOGO**

**CHILUISA GUAMÁN ANA LUCÍA**  
ana\_chiluisa@hotmail.com

**DIRECTOR: MSC. PATRICIA MOTHE**  
pmothes@igepn.edu.ec

**QUITO, MARZO 2023**

## DECLARACIÓN

Yo, Ana Lucía Chiluisa Guamán, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



---

Ana Lucía Chiluisa Guamán

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ana Lucía Chiluisa Guamán, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink that reads "Patricia A. Mothes". The signature is written in a cursive style with a large initial 'P'.

-----  
MSc. Patricia Ann Mothes

DIRECTORA

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme guiado a lo largo de mi vida, por haberme dado fortaleza para seguir adelante en aquellos momentos de debilidad y por haberme bendecido con personas extraordinarias a lo largo de mi vida.

Agradezco a mi padre y madre por todo el amor, esfuerzo, apoyo y confianza que depositaron en mí, son mi más grande bendición y gracias a ustedes puedo cumplir uno de mi más grande sueño. A mis hermanos y hermana, por sus consejos a lo largo de mi vida. A mi sobrina Maritza por su amor, amistad y apoyo.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional por el apoyo brindado durante estos años de estudio. Agradezco al Instituto Geográfico Militar (IGM) por su amabilidad y ayuda para realizar este trabajo.

Agradezco a mi directora MSc. Patricia Mothes, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo, por su dedicación, tiempo, paciencia y motivación constante. Agradezco a Marco Córdova, Antonina Calahorrano y Elizabeth Gaunt por las enseñanzas, ayuda, guía y consejos para realizar ese trabajo. Agradezco muy profundamente a los propietarios y trabajadores de la Hacienda Yanahurco por su ayuda, cariño y hospitalidad.

Agradezco a mis profesores por los conocimientos compartidos, consejos, paciencia, motivación y amistad a lo largo de esta etapa. Agradezco al Ing. Bernardo Beate por su altruismo, sus enseñanzas, motivación, esfuerzo y dedicación durante estos años de estudio y en especial para este trabajo.

Agradezco a mis amigos Joselyne, Jairo, Tatiana, Stalin, Eliana, Karol, Dayana, Ricardo, Diego, los Teddy amigos, Miguel y Patty que sin duda más que amigos son mis hermanos de corazón, gracias por estar en las buenas y en las malas, gracias por todo su amor, consejos y aventuras. Agradezco a todos mis amigos de la facultad y pasantías por el cariño, apoyo y enseñanzas brindadas. Gracias a todos los requiero.

Y finalmente a mi compañero leal mi perrito Gordito, gracias por acompañarme en las noches de desvelo, por recibirme siempre con alegría y principalmente por el amor incondicional.

## DEDICATORIA

*A Dios porque nunca me ha abandonado.*

*A la memoria de mi padre que siempre me apoyó y alentó a perseguir mis sueños.*

*A mi madre por hacer de mí una mejor persona a través de sus enseñanzas y amor.*

*A mi familia y amigos por estar conmigo frente a cualquier adversidad.*

*A mis profesores por las enseñanzas y valores brindados.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.2.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA .....	4
1.2.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA .....	4
1.2.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	5
1.3 OBJETIVOS .....	5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.3.3 ALCANCE.....	6
1.3.4 METODOLOGÍA.....	6
1.4 ÁREA DE ESTUDIO.....	7
1.4.1 UBICACIÓN.....	7
1.4.2 MORFOLOGÍA.....	9
1.4.3 ACCESO .....	10
1.4.4 CLIMA, FLORA Y FAUNA .....	11
1.4.5 POBLACIÓN.....	12
1.5 TRABAJOS PREVIOS .....	12
1.6 ASPECTOS CONCEPTUALES Y FORMACIÓN DE LA CALDERA .....	14

2	MARCO GEODINÁMICO Y GEOLÓGICO .....	17
2.1	MARCO GEODINÁMICO .....	17
2.2	GEOLOGÍA REGIONAL .....	18
2.2.1	Cuenca Oriente .....	18
2.2.2	Cordillera Real .....	19
2.2.3	Valle Interandino .....	19
2.2.4	Cordillera Occidental.....	19
2.2.5	La Costa .....	20
2.3	VOLCANISMO .....	21
2.4	GEOLOGÍA LOCAL DE LA CORDILLERA REAL .....	23
2.4.1	Divisiones litotectónicas .....	24
2.5	TECTÓNICA REGIONAL.....	27
2.5.1	Falla Peltetec .....	28
2.5.2	Falla Baños .....	28
2.5.3	Falla Llanganates .....	29
2.5.4	Falla Cosanga-Méndez .....	29
3	MARCO CONCEPTUAL.....	30
3.1	MÉTODO GRAVIMÉTRICO .....	30
3.1.1	Ley de Newton .....	30
3.1.2	Campo Gravitacional de la Tierra.....	32
3.1.3	Medición de la Gravedad.....	32
3.1.4	Densidad de las rocas.....	34
3.1.5	Gravedad observada absoluta .....	36
3.1.6	Reducción de Datos.....	36
3.2	Anomalías de gravedad.....	41
3.2.1	Anomalía de aire libre <b>AAL</b> .....	42
3.2.2	Anomalía de Bouguer Simple <b>ABS</b> .....	42

3.2.3	Anomalía de Bouguer Completa o Residual .....	43
4	METODOLOGÍA .....	44
4.1	ADQUISICIÓN DE DATOS GRAVIMÉTRICOS .....	44
4.1.1	Gravímetro utilizado .....	45
4.1.2	Estaciones Base .....	46
4.2	PROCESAMIENTO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS.....	48
5	RESULTADOS.....	51
5.1	ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO.....	51
5.1.1	ANOMALÍA DE BOUGUER SIMPLE.....	51
5.1.2	ANOMALÍA DE BOUGUER RESIDUAL.....	52
5.1.3	MODELO 3D DE LAS ANOMALÍAS DE BOUGUER RESIDUAL .....	59
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	61
6.1	CONCLUSIONES.....	61
6.2	RECOMENDACIONES.....	62
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
	ANEXOS.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Ubicación de la Caldera de Chalupas incluyendo las poblaciones importantes, hidrografía y accesos. Base geográfica Instituto Geográfico Militar (IGM), 2013. ....	8
<b>Figura 2.</b>	Diagrama aproximado del borde topográfico de la caldera de Chalupas. Tomado de: Córdova M., 2018 .....	9
<b>Figura 3.</b>	Mapa hidrográfico de la Caldera de Chalupas. Base geográfica Instituto Geográfico Militar (IGM), 2013.....	10
<b>Figura 4.</b>	Esquema de la formación de la caldera de Chalupas y volcanismo más reciente (Córdova et. al, 2020) .....	16
<b>Figura 5.</b>	Esquema geodinámico de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. En el cuadro negro se muestra las fallas importantes, movimientos relativos de placas según datos de GPS y el modelo cinemático global NUVEL-1, anomalías magnéticas y volcanes activos. Se muestran las ubicaciones de los terremotos de 1906 ( $M_w \geq 8.8$ , círculo abierto muy grande) y de sur a norte, 1953,	



1901, 1942, 1958 y 1979 ( $M \geq 7.8$ , círculos abiertos grandes). GG= Golfo de Guayaquil; DGM= Megacizalla Dolores–Guayaquil. Tomado de Gutscher et al, (1999).....	17
<b>Figura 6.</b> Regiones fisiográficas y fallas principales del Ecuador. Tomado de: Aspden y Litherland, (1992a) .....	21
<b>Figura 7.</b> Volcanes Cuaternarios del Ecuador Continental. (Modificado de Bernard y Andrade, 2011). Recuadro rojo: ubicación de la caldera de Chalupas.....	22
<b>Figura 8.</b> Mapa geológico simplificado de la Cordillera Real según Litherland et al., 1994. Tomado de: Reyes (2006).....	27
<b>Figura 9.</b> Prospección y gravimetría. Tomado de: Griem y Griem (2016). .....	30
<b>Figura 10.</b> Ley de Gravitación Universal de Newton. Tomado de: Seigel (1995) ....	31
<b>Figura 11.</b> Valor de la gravedad en los polos y ecuador.....	32
<b>Figura 12.</b> Caída libre. Tomada de: Portal Académico CCH (2017). .....	33
<b>Figura 13.</b> Principio de un Gravímetro. Tomado de: Griem y Griem (2016).....	34
<b>Figura 14.</b> Corrección de Aire Libre (Modificado de: Martínez, 2014).....	38
<b>Figura 15.</b> Efectos de aire libre, Bouguer y topográfico. (Modificado de: Seigel, 1995) .....	40
<b>Figura 16.</b> Representación gráfica de la curva de deriva total obtenida en una estación. (Tomado de: Martínez P. 2014) .....	41
<b>Figura 17.</b> Ubicación de estaciones gravimétricas (Diseño: Ana Chiluisa).....	44
<b>Figura 18.</b> (A) Hito monumentado en "Hacienda El Tambo". (B) Hito de INECEL, CH-19-12; CH→ Chalupas, 19→ N° Perfil, 12→ N° Estación Topográfica. (Fotografía: Ana Chiluisa).....	45
<b>Figura 19.</b> Gravímetro Worden. Tomado de: National Museum of American History. ....	46
<b>Figura 20.</b> Diagrama del procesamiento utilizado para los datos gravimétricos....	49
<b>Figura 21.</b> Mapa de Anomalías de Bouguer Simple de la Caldera de Chalupas (Diseño: Ana Chiluisa).....	52
<b>Figura 22.</b> Mapa de Anomalías de Bouguer Residual de la Caldera de Chalupas (Diseño: Ana Chiluisa).....	54
<b>Figura 23.</b> Mapa Geológico de la Caldera de Chalupas (Modificado de: Hammersley et al, 2022).....	55
<b>Figura 24.</b> Anomalía de Bouguer Residual vista 3D de la Caldera de Chalupas. En (A) se observa el DEM de 30 m con las zonas por donde pasaría aproximadamente la falla de Peltetec y Baños; en (B) se muestra el mapa geológico tomado de Hammersley et al., (2022) y la proyección de las fallas de Peltetec (línea negra) y falla de Baños (línea rosada) tomado de Aspden y Litherland, (1992a) junto con la proyección de las zonas de falla inferidas en este trabajo; En (C) se muestra la ABR en vista en 3D con la posible trayectoria de la falla de Peltetec y falla de Baños (Diseño: Ana Chiluisa).....	56
<b>Figura 25.</b> Perfiles gravimétricos (Diseño: Ana Chiluisa).....	57

<b>Figura 26.</b> Perfiles topográficos y respuesta de anomalía de Bouguer Residual.....	58
<b>Figura 27.</b> Vista en planta de las Anomalías de Bouguer Residual (Oasis Montaj).	59
<b>Figura 28.</b> Representación gráfica de la Anomalía de Bouguer Residual (Oasis Montaj).....	60

## **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Densidades de tipos de rocas. Tomado de: Seigel (1995) .....	35
<b>Tabla 2.</b> Gravedad absoluta de estaciones gravimétricas bases.....	47
<b>Tabla 3.</b> Constantes para las temperaturas internas del gravímetro WORDEN .....	48

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1.</b> Valores de anomalía de Bouguer residual de la caldera de Chalupas.....	71
--	----

## RESUMEN

El método gravimétrico mide los cambios de la aceleración de la gravedad sobre un terreno con el fin de detectar las variaciones de densidades presentes en el subsuelo y aunque este método no logra igualar la resolución y precisión de las observaciones directas, es un procedimiento rápido, rentable y no invasivo que sirve para realizar modelos geológicos que orienten la investigación.

La caldera de Chalupas se encuentra en la parte centro-oriental de los Andes Ecuatorianos en la provincia de Napo, dentro de los cantones Tena y Archidona a 80 km al sureste de Quito, 35 km al noreste de la ciudad de Latacunga y 80 km al noroeste de Tena. Su formación se debe a una gran erupción riolítica en un solo evento eruptivo que causó el colapso y depósito de la Ignimbrita de Chalupas.

Mediante el uso del método gravimétrico y la integración de la información geológica se pudo obtener resultados geofísicos que muestran las anomalías de Bouguer residual bien definidas que se correlacionan con la estructura de la caldera donde las anomalías de bajos valores gravimétricos tienen forma radial y se asocian al colapso de la caldera, que posteriormente se rellenó con rocas de menor densidad como la ignimbrita de Chalupas y los flujos lávicos post caldera del volcán Quilindaña. Mientras que los altos valores gravimétricos se asocian en la zona Este a rocas de alta densidad correspondientes al basamento metamórfico. Además, enfatiza la presencia de estructuras regionales como la falla de Peltetec como límite occidental y la falla de Baños que pasa por debajo del volcán Quilindaña en dirección N20°E.

**Palabras clave:** *Caldera de Chalupas, geofísica, modelo gravimétrico, anomalía.*

## ABSTRACT

The gravimetric method measures the changes in the acceleration of gravity over a terrain in order to detect the variations of densities present in the subsoil and although this method does not match the resolution and precision of direct observations, it is a fast, cost-effective and non-invasive procedure that serves to make geological models that guide investigation.

The Chalupas caldera is located in the central-eastern part of the Ecuadorian Andes in the province of Napo, within the Tena and Archidona, 80 km southeast of Quito, 35 km northeast of the city of Latacunga and 80 km to the northwest of Tena. Its formation is due to a large rhyolitic eruption in a single eruptive event that caused the collapse and deposit of the Chalupas Ignimbrite.

Through the use of the gravimetric method and the integration of geological information, it was possible to obtain geophysical results that show well-defined residual Bouguer anomalies that correlate with the caldera structure where anomalies with low gravimetric values have a radial shape and are associated with the collapse of the caldera, which was later filled with less dense rocks such as the Chalupas ignimbrite and post-caldera lava flows from the Quilindaña volcano. The highest gravity levels are associated to the eastern zone with high-density rocks corresponding to the metamorphic basement. In addition, the presence of regional structures such as the Peltetec fault the western limit of the caldera and the Baños fault that passes under Quilindaña volcano in a N20°E direction.

**Keywords:** *Caldera de Chalupas, geophysics, gravimetric model, anomaly.*

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

La exploración geotérmica del Ecuador empezó en 1978. Este estudio estuvo a cargo del ahora extinto Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) que junto con el Instituto Ecuatoriano de Energía (INE, también extinto) desarrollaron estudios de reconocimiento y prefactibilidad de áreas de interés para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos, incluido la generación eléctrica (INECEL) y los usos directos (INE). La exploración estuvo enfocada en la búsqueda de sistemas hidrotermales de alta temperatura, principalmente a lo largo de la región Sierra. El estudio distribuyó las áreas de interés geotérmico en dos grupos principales:

- Grupo A, de Alta Temperatura: incluyó los prospectos Tufiño, Chachimbiro y Chalupas
- Grupo B, de Baja Temperatura: incluyó los prospectos Ilaló, Chimborazo y Cuenca.

En base a estudios geológicos y geoquímicos de superficie por parte de INECEL se recomendó al área de la Caldera de Chalupas como un prospecto geotérmico prioritario. En el informe de Beate (2001) los estudios geofísicos también respaldaron la misma idea.

Asimismo, se han sido realizados varias investigaciones a nivel de tesis en la carrera de Ingeniería Geológica de la Escuela Politécnica Nacional por Córdova (2018) en donde explica la evolución de la caldera de Chalupas, mediante el estudio de los últimos productos eruptivos de su fase resurgente y caracterización del comportamiento magmático de los mismos.

De igual forma, estudios realizados por Hammersley et. al (2022) mediante modelos petrográficos y composiciones isotópicas exponen los factores (el suministro y transporte de magma, las propiedades del silicato líquido y la

estructura de la corteza) que controlan la composición y el volumen de lava y de los materiales piroclásticos de la caldera de Chalupas.

Estos estudios junto con los resultados obtenidos en este trabajo explicarán de mejor manera la distribución de zonas de alta y baja densidad correspondientes al tipo de litología predominante y a la presencia de estructuras.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

### **1.2.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

Para realizar un modelo de inversión gravimétrica es necesario realizar la reducción de datos para cada perfil, una de ella es multiplicar el valor de la constante del instrumento correspondiente a la temperatura medida por el valor obtenido por el gravímetro. De igual forma, se necesita realizar el cálculo según las bases teóricas expuestas en (Telford et. al, 1990) y (Parasnis, 1986) como la corrección de altura, corrección de Bouguer, corrección de la deriva del instrumento, la gravedad teórica, gravedad observada absoluta, anomalía al aire libre y anomalía de Bouguer simple y residual.

Gracias a los avances tecnológicos, estas correcciones se pueden calcular mediante softwares como GSOLVE y Oasis Montaj 9.10, con los cuales se puede procesar los datos gravimétricos y modelar la inversión gravimétrica en la caldera de Chalupas correlacionando la geología y estructuras de esta.

### **1.2.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

Se recopilará la data cruda de las libretas de campo del Ing. Bernardo Beate obtenida en 1980 para el Proyecto Geotérmico de INECEL de la caldera de Chalupas para el procesamiento de datos gravimétricos.

Posteriormente se realizará la reducción de datos, ya que al tomar medidas de gravedad se puede encontrar con diferentes variaciones en los datos tomados con respecto a la estación base debido a que la gravedad varía dependiendo de su latitud, altitud y tiempo. Por lo cual, se tienen que realizar

las siguientes correcciones: Corrección por deriva, latitud, altura, corrección de Bouguer y la corrección topográfica mediante GSOLVE.

GSOLVE es un software desarrollado en Python con una interfaz gráfica de usuario para ayudar con el procesamiento de datos de rutina de las medidas de gravedad relativa. GSOLVE calcula la gravedad en cada sitio de medición de un levantamiento de gravedad relativa. Los efectos de las mareas del sol y la luna, la deriva del gravímetro y la tara en los datos se tienen en cuenta durante el procesamiento de las mediciones del levantamiento (McCubbine et. al, 2018)

La representación de los datos gravimétricos corregidos se realizará con el software OASIS MONTAJ de la empresa Geosoft el cual permite visualizar las anomalías que sirven para realizar el análisis cualitativo y cuantitativo de la exploración gravimétrica y así mediante la correlación geológica es posible realizar el modelo de inversión gravimétrica (Velázquez, 2019).

### **1.2.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

El presente trabajo aportará información que permita establecer con mejor claridad la simetría de la cámara magmática, las masas anómalas del subsuelo y estructuras internas regionales y locales de la caldera de Chalupas mediante el modelamiento inverso de datos gravimétricos, complementando la investigación realizada por Beate (2001).

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Realizar un análisis y reinterpretación de datos gravimétricos de estudios previos realizados en la caldera de Chalupas y mediante un modelo de inversión gravimétrica esclarecer la simetría y profundidad de la cámara magmática, y las estructuras tectónicas profundas de la corteza.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recalcular y procesar 283 datos gravimétricos en un área de 460 km<sup>2</sup> obtenidos en 1980 durante el Proyecto Geotérmico de INECEL.
- Interpretar los datos gravimétricos mediante la correlación geológico-estructural.
- Desarrollar un modelo de inversión gravimétrico de la caldera de Chalupas, de sus estructuras tectónicas, de las diferentes litologías, y las zonas de magma sostenido.

### **1.3.3 ALCANCE**

En este estudio se procesó los datos de gravimetría de la caldera de Chalupas obtenidos durante el Proyecto Geotérmico de INECEL por el Ing. Bernardo Beate con el fin de comprobar la simetría y profundidad de la cámara magmática. Además, conocer la dirección aproximada de las estructuras tectónicas como la Falla de Peltetec y la Falla de Baños.

Se hizo un recalcu de 282 lecturas gravimétricas y correcciones para el análisis de las anomalías gravimétricas presentes en la zona de estudio.

Con la ayuda del programa GSOLVE y un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) de 30 m se realizaron las correcciones topográficas para la obtención de las anomalías de Bouguer Residual y posteriormente con estos resultados realizar el modelo de inversión gravimétrica de la caldera.

### **1.3.4 METODOLOGÍA**

Para desarrollo de este estudio se llevó a cabo las siguientes actividades:

- Recopilación bibliográfica que brinde información geológica y geofísica de la caldera de Chalupas de libros, artículos científicos, tesis doctorales y revistas como Applied Geophysics, Revista Politécnica (2001), AGU Books.
- Trabajo de campo, con la finalidad de conocer las estaciones de gravimetría instalados por el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL). Además de conocer y entender los tipos de depósitos volcánicos, estratigrafía y orden



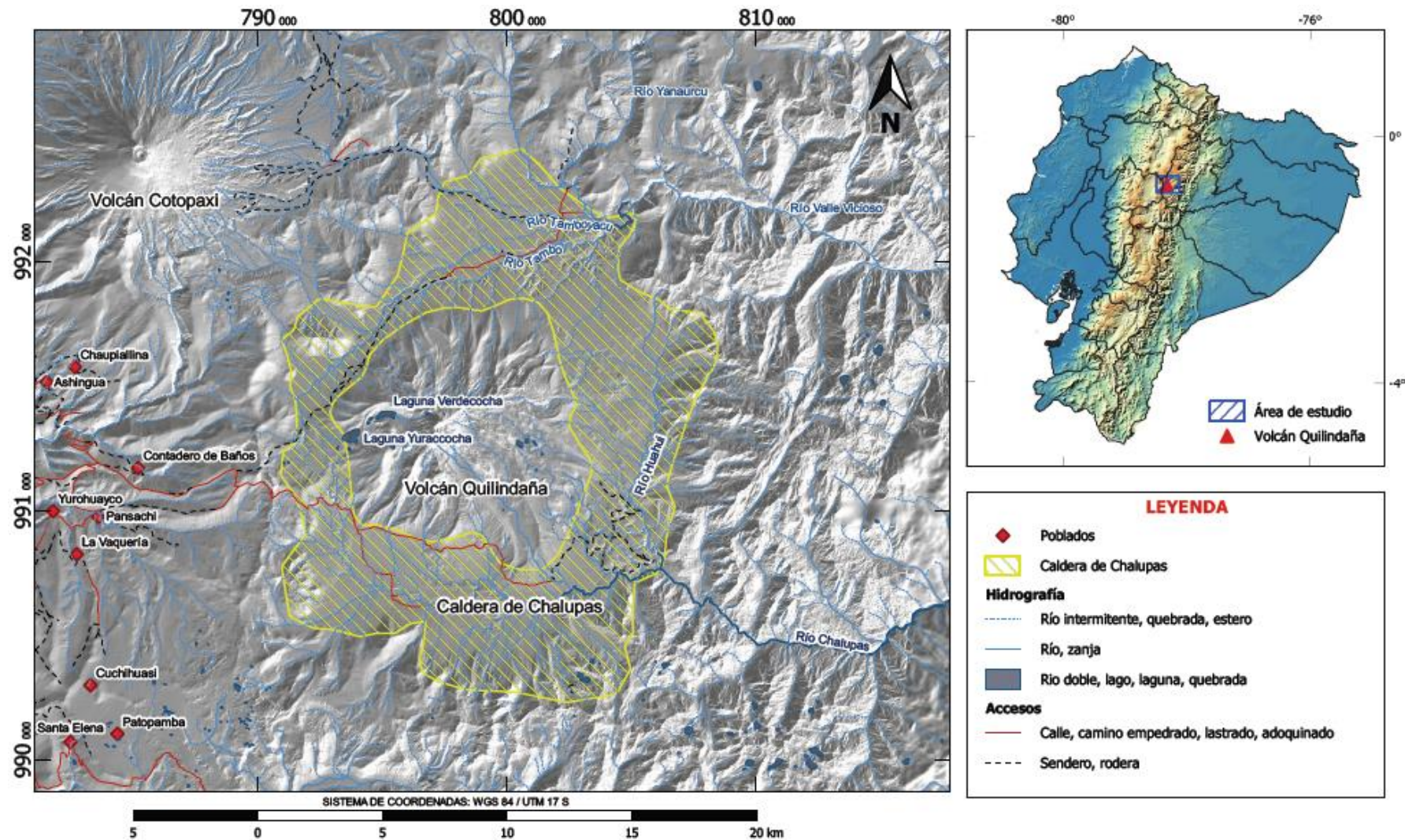
de depositación de los productos eruptivos cercanos como Cotopaxi, Chaupiloma y Quilindaña.

- Cálculo de las correcciones por deriva, latitud, altura, corrección de Bouguer y la corrección topográfica de los datos obtenidos en el Proyecto Geotérmico de INECEL para reducir las variaciones en los datos tomados con respecto a la estación base debido a que la gravedad varía dependiendo de su latitud, altitud y tiempo.
- Procesamiento de la data gravimétrica del INECEL para obtener las anomalías de gravedad, anomalía de aire libre, anomalía de Bouguer simple, y la anomalía de Bouguer residual.
- Correlación de los resultados obtenidos de las anomalías con la Geología de la caldera de Chalupas.
- Desarrollo del modelo de inversión gravimétrico.
- Interpretación de resultados.
- Redacción del trabajo escrito

## **1.4 ÁREA DE ESTUDIO**

### **1.4.1 UBICACIÓN**

La caldera de Chalupas está ubicada en la parte centro-oriental de los Andes Ecuatorianos en la provincia de Napo, dentro de los cantones Tena y Archidona (Fig. 1). Localizada aproximadamente a 80 km al sureste de Quito, 35 km al noreste de la ciudad de Latacunga y 80 km al noroeste de Tena (Córdova et. al, 2020).



**Figura 1.** Ubicación de la Caldera de Chalupas incluyendo las poblaciones importantes, hidrografía y accesos. Base geográfica Instituto Geográfico Militar (IGM), 2013.

## 1.4.2 MORFOLOGÍA

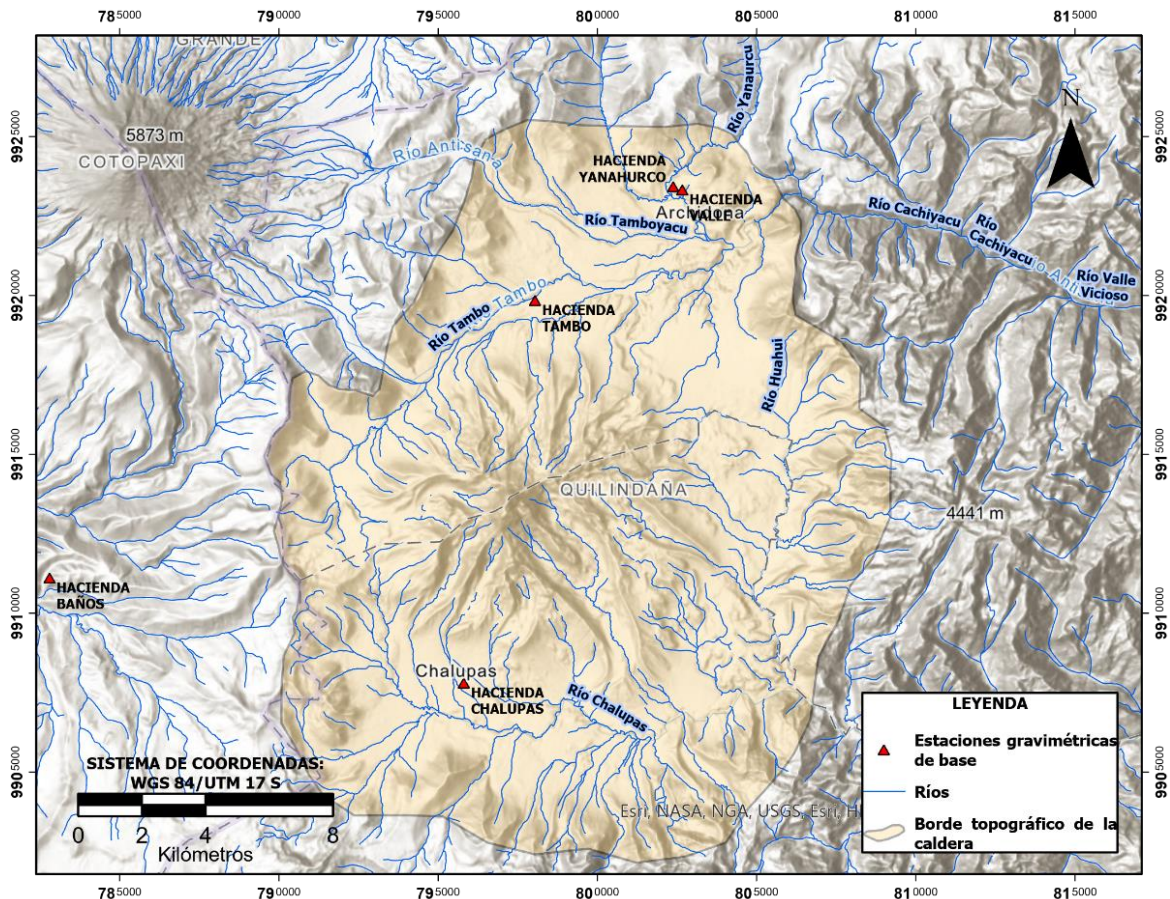
La caldera de Chalupas está dominada por una depresión elíptica cuyo eje mayor tiene una longitud alrededor de 17 kilómetros (Fig. 2) con dirección N25°E y eje menor de 13 kilómetros de largo aproximadamente. En el centro de la caldera se levanta el volcán Quilindaña cuya altura se encuentra a 4878 msnm, y en el fondo de la caldera se encuentra planicies de hasta 3800 msnm (Córdova, 2018).



**Figura 2.** Diagrama aproximado del borde topográfico de la caldera de Chalupas.  
Tomado de: Córdova M., 2018

Los principales drenajes de la caldera al norte, son los ríos El Tambo y Tamboyacu, los mismos que son drenajes naturales del volcán Cotopaxi (Fig. 3). Estos ríos cruzan el borde noroccidente de la caldera y desembocan en el río Napo en la Cuenca Oriente. En la zona nororiental de la caldera se encuentra los ríos Valle Vicioso y al sureste, cruzan los ríos Chalupas y Huahui hasta desembocar en ríos de mayor caudal en la Cuenca Oriente (Fig. 3).





**Figura 3.** Mapa hidrográfico de la Caldera de Chalupas. Base geográfica Instituto Geográfico Militar (IGM), 2013.

### 1.4.3 ACCESO

El acceso a la zona de estudio se puede realizar por el norte, llegando hasta la hacienda El Tambo ubicada al norte del volcán Quilindaña. Esta ruta corresponde a una carretera de tercer orden que se toma desde el interior del Parque Nacional Cotopaxi. El acceso es restringido, excepto para los ganaderos del lugar y turistas, previa autorización.

Existen otros caminos de tercer orden desde Latacunga y Mulaló que se unen arriba de la parroquia de Aláquez y forman uno solo que ingresan a la caldera por el sector de El Morro. Este camino también puede ser tomado desde la carretera Panamericana en el desvío hacia la parroquia de Aláquez; se puede acceder hasta la hacienda Chalupas, ubicada en la zona sur de la caldera. Sin embargo, en este camino es frecuente encontrar derrumbes y permanece en mal estado a causa del clima lluvioso (Córdova, 2018).

#### 1.4.4 CLIMA, FLORA Y FAUNA

La caldera de Chalupas se caracteriza por tener un clima característico del páramo andino (los páramos son zonas húmedas, nubladas y azotadas por el viento). De acuerdo a los pisos altitudinales de Holdridge (1986) clasifica de la siguiente manera las zonas de clima:

- *Bosque muy húmedo Montano (bmh-M):*  
Representa la parte más baja del Parque, entre los 3.400 y 3.900 msnm, con temperaturas entre 6° y 12° C y una precipitación de 1.000 a 2.000 mm. Constituye la “ceja andina o subpáramo”, términos utilizados por Acosta (1977) para designar la zona de transición del verdadero bosque al páramo.
- *Páramo pluvial subalpino (pp.-SA):*  
Comprende entre los 3.900 y 4.400 msnm con temperaturas de 3° a 6° C y pluviosidad de 1.000 a 2.000 mm. En esta zona se encuentran especies como líquenes y licopodios.
- *Tundra pluvial Alpina (tp-A):*  
Se ubica debajo del piso helado o nival y de los arenales, y sobre el páramo pluvial alpino, entre los 4.400 y 4.700 msnm con temperaturas entre 1,5 ° y 3 ° C y 1.000 a 2.000 mm de precipitación. En esta zona la vegetación dominante es de almohadillas y musgo.

La flora típica es la chuquirahua o flor del andinista, también existen gencianas, licopodios, almohadillas y valeriana. En general la vegetación dominante es herbácea pajonal y de almohadilla, así como también bosques de *Polylepis* (Toasa, 2011).

La fauna nativa existente está caracterizada por venados de cola blanca, zorro andino o lobo de páramo, puma, danta montañesa, oso de anteojos, conejos, entre otros; en lo que respecta a aves, se encuentran cóndores, quilicos, gaviotas, quindes, curiangués, la llamada águila andina, pinzones; la ictiofauna está representada por truchas. Por otra parte, dentro de la fauna doméstica y/o introducida, hay gran

cantidad de caballos y ganado perteneciente a los propietarios de las haciendas del sector, los mismos que pastan en terrenos de grandes extensiones (Toasa, 2011).

#### **1.4.5 POBLACIÓN**

Dentro de la zona de estudio hay pocos habitantes, corresponden a hacendados y sus trabajadores. Las principales actividades económicas de las haciendas Yanahurco, El Tambo son la ganadería y turismo. Mientras que, las haciendas El Valle, Chigtapamba se dedican únicamente a la ganadería.

#### **1.5 TRABAJOS PREVIOS**

Se han realizado varios estudios en la zona de estudio, cuyas referencias son presentadas a continuación:

- José Manuel Navarro pertenecía al grupo de geólogos del Proyecto Geotérmico de INECEL de Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos de la República del Ecuador, descubren la caldera de Chalupas en 1979 (INECEL, 1983).
- INECEL (1980) realizó trabajos de exploración de recursos geotérmicos del Ecuador en el cual se hizo un levantamiento gravimétrico a detalle de la caldera de Chalupas para estudios de Prefactibilidad del Proyecto Geotérmico.
- Beate (1985) describe el flujo piroclástico de Chalupas como causante de un desastre natural en el cuaternario de los andes septentrionales del Ecuador, debido a que estima un volumen de  $100 \text{ km}^3$  de material piroclástico cubrió un área entre  $2000$  y  $3000 \text{ km}^2$ .
- Beate (2001) presenta el mapa de anomalías de Bouguer simples de la caldera de Chalupas en donde se tomaron 283 medidas gravimétricas en un área de  $460 \text{ km}^2$  donde se manifiesta el rasgo caldérico y la sutura de Peltetec.
- Hammersley (2003 y 2005) realizó descripciones petrográficas y análisis geoquímicos en las fases de la caldera y varias dataciones que junto a la estratigrafía de las zonas aledañas de la caldera de Chalupas llega a la conclusión de que la edad de la Ignimbrita de Chalupas es de aproximadamente de 211 mil años.
- Beate et. al (2006) describió las características principales del depósito del evento Chalupas comparando con las edades radiométricas obtenidas por Hammersley llegando a la conclusión que es un objetivo válido para a exploración de recursos geotérmicos.

- Hall y Mothes (2008c) describen una visión general del vulcanismo dacítico del Quilotoa en una caldera, donde se observó poca variación mineralógica y química de los productos eruptivos lo que sugiere que a fuente es un cuerpo de magma homogéneo a poca profundidad.
- MEER (2010) presenta un plan para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos del Ecuador, en donde se evalúa a la caldera de Chalupas como potencial geotermoeléctrico basándose en datos geológicos de superficie suponen que la cámara magmática de aproximadamente 6 km de alto, 8 km de largo y 6 km de ancho, está emplazada en el basamento metamórfico con régimen conductivo de transferencia de calor; su techo está a 4 km de profundidad medido desde el piso de la caldera. También asume un reservorio de alta temperatura (205° C), con una forma elíptica de 10 x 8 km, un espesor de 0.4 km y con su techo a una profundidad media de 1900 m. La capa sello puede sobrepasar los 1000 m de espesor y tiene una cobertura que incluye acuíferos fríos, los cuales enmascaran cualquier fuga de fluidos geotérmicos profundos. Los parámetros térmicos y de permeabilidad, inferidos de otros campos geotérmicos, sustentan la evaluación, la cual da como resultado un potencial desarrollo de 283 MW para Chalupas.
- Mothes et. al (2015) realizaron la identificación de los controles estructurales a lo largo del tiempo de la Caldera de Chalupas mediante un DEM de 4 m de resolución, en donde se sugiere que las estructuras tectónicas alrededor de la caldera desempeñaron un papel importante en la morfología, colapso y evolución posterior de la caldera.
- Mothes et. al (2017) realizaron un estudio de geomorfología, estratigrafía y geocronología de tefra ubicada al noreste de la caldera de Chalupas, donde el represamiento de agua producido por flujos de lava en el drenaje de la zona norte de la caldera generó cuatro niveles de terrazas, cada una con su marcador estratigráfico principal.
- Córdova (2018) identifica y caracteriza los últimos productos eruptivos de la fase resurgente de la caldera de Chalupas donde la edad estimada de los productos eruptivos está entre 35 y 40 mil años. Además, que el último periodo eruptivo de actividad del Quilindaña tiene carácter bimodal.
- Bablon et. al (2020) realizaron dataciones de K-Ar en fragmentos de vidrio de piedra pómez juvenil indica que la ignimbrita de Chalupas uno de los principales

marcadores de tefra del Pleistoceno del arco ecuatoriano fue emplazada a los  $216 \pm 5$  ka.

- Córdova et. al (2020) mediante observaciones y muestreos geológicos, análisis geoquímico y sensores remotos destacaron la actividad post-caldera en Chalupas, comenzando con el crecimiento del estratovolcán Quilindaña ( $\sim 0.170$  Ma), seguido por la formación del domo de Buenavista. También sugiere que la procedencia de los montículos puede haberse originado a partir de flujos de brechas gravitacionales del domo de lava de Buenavista. También se realizaron simulaciones numéricas para representar el tránsito y el emplazamiento del flujo de brechas sobre el paisaje actual de la caldera y para ver las posibles huellas de peligro de un futuro colapso del domo de Buenavista. Tras el colapso parcial del domo de lava de Buenavista, su rejuvenecimiento está representado por capas de tefra de varias erupciones pequeñas que datan de alrededor de 40 ka. Estas tefras representan algunas de las actividades eruptivas más jóvenes reconocidas en la caldera de Chalupas. Estos resultados demuestran que las erupciones de la caldera son más recientes de lo que se informó anteriormente.

- Hammersley et. al (2022) evalúa cómo el suministro de magma, las propiedades del líquido de silicato y la estructura de la corteza controlan la composición y el volumen de lava y materiales piroclásticos en el sistema de caldera de Chalupas. De igual forma, denota cómo las composiciones isotópicas de Sr, Nd y O de las andesitas (55 a 57% en peso de  $\text{SiO}_2$ ) indican que son productos de asimilación y cristalización fraccionada de basalto derivado del manto, con 13 a 25% en masa derivado de la corteza. Indica como la ignimbrita riolítica se generó principalmente por cristalización fraccionada de andesita e infiere que la asimilación de la corteza ocurre principalmente a 45 km de profundidad, en un límite entre rocas de la corteza que son más y menos densas que el basalto hidratado.

## **1.6 ASPECTOS CONCEPTUALES Y FORMACIÓN DE LA CALDERA**

Una caldera volcánica es una gran depresión causada como resultado de subsidencia o hundimiento del techo de la cámara magmática durante o inmediatamente después de una intensa y voluminosa actividad eruptiva que evacúa gran cantidad de magma (Instituto Geofísico EPN, 2020).



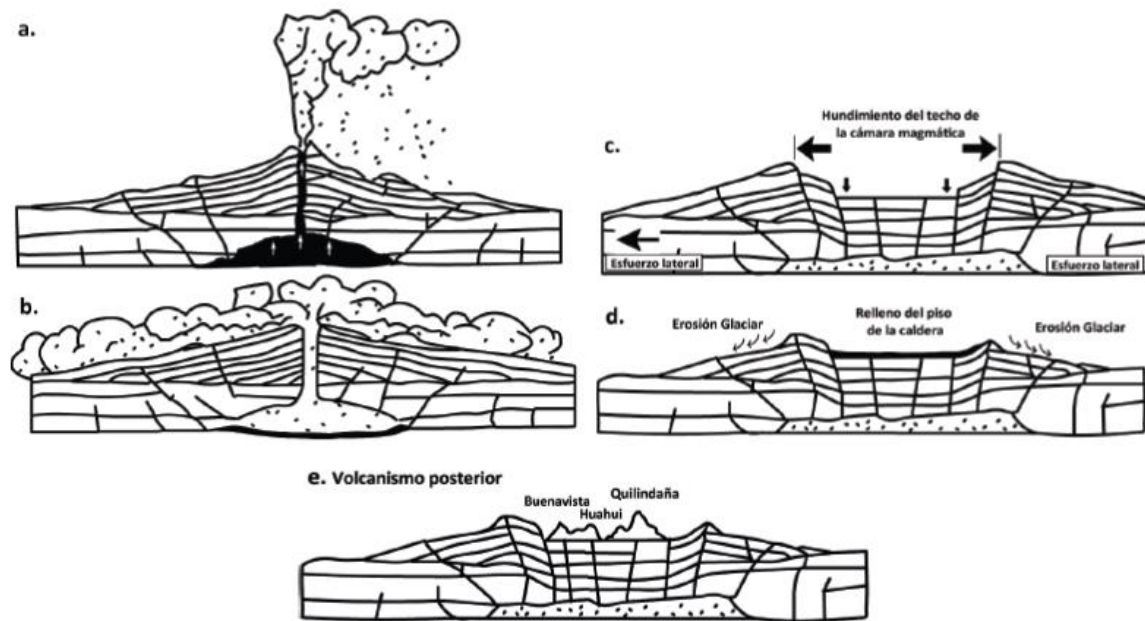
La significancia de la caldera de Chalupas fue reconocida en 1979 por el grupo de geólogos del Proyecto Geotérmico de INECCEL durante investigaciones en la búsqueda de potenciales recursos geotérmicos (Instituto Geofísico EPN, 2020).

### **Formación de la Caldera de Chalupas.**

La formación de la caldera de Chalupas está asociada a una gran erupción riolítica (72-74 wt % SiO<sub>2</sub>) de unos ~100 km<sup>3</sup> de volumen (Instituto Geofísico EPN, 2020). El depósito asociado a esta gran erupción tiene una distribución radial desde la caldera, exponiéndose ampliamente en el Valle Interandino, donde varios afloramientos muestran hasta 200 m de espesor de este depósito (Instituto Geofísico EPN, 2020).

A continuación, se muestra un esquema de los procesos geológicos que dominaron la formación de la caldera (Córdova et. al, 2020) (Fig. 4):

- a. Inicio de una erupción Pliniana en la zona central de la caldera, también puede producirse emisión en el borde de la caldera, con direcciones tanto radiales como tangenciales.
- b. Gran evacuación de magma, grandes emisiones de ceniza y corrientes de densidad piroclástica, con dispersión radial desde el centro de la caldera.
- c. Colapso, hundimiento del techo del reservorio magmático por la evacuación de un gran volumen de magma de la cámara.
- d. Relleno del piso de la caldera, seguido por procesos de erosión glacial.
- e. Construcción del estratovolcán Quilindaña, además migración del punto de emisión a lo largo de un lineamiento y sistema de diques hacia el este y formación del domo de Buenavista y el viento Huahui.



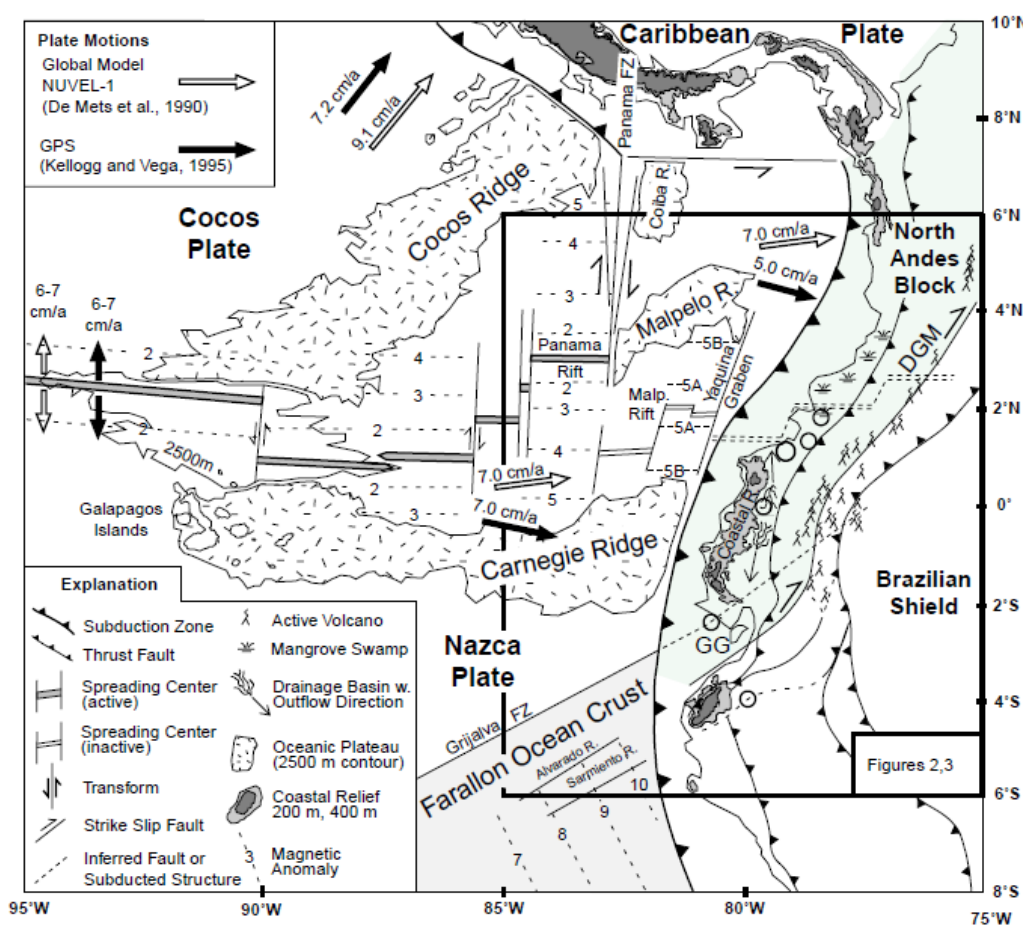
**Figura 4.** Esquema de la formación de la caldera de Chalupas y volcanismo más reciente (Córdova et. al, 2020)

## CAPÍTULO 2

### 2 MARCO GEODINÁMICO Y GEOLÓGICO

#### 2.1 MARCO GEODINÁMICO

El Ecuador forma parte de un sistema geodinámico convergente activo cuya subducción oceánica bajo el margen continental ecuatoriano, a los  $0.5^{\circ}\text{N}$ , cambia de dirección N-S a NE mostrando una convergencia oblicua (Fig. 5), donde el magmatismo, vulcanismo, deformación y sismicidad están caracterizados por la subducción de la placa Nazca bajo la placa de América del Sur (Gutscher et. al, 1999).



**Figura 5.** Esquema geodinámico de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. En el cuadro negro se muestra las fallas importantes, movimientos relativos de placas según datos de GPS y el modelo cinemático global NUVEL-1, anomalías magnéticas y volcanes activos. Se muestran las ubicaciones de los terremotos de 1906 ( $M_w \geq 8.8$ , círculo abierto muy grande) y de sur a norte, 1953, 1901, 1942, 1958 y 1979 ( $M \geq 7.8$ , círculos abiertos grandes). GG= Golfo de Guayaquil; DGM= Megacizalla Dolores-Guayaquil. Tomado de Gutscher et. al, (1999).

Alvarado et. al, (2014) indica que la placa de Nazca se mueve hacia el Este en relación con la placa Sudamericana a  $\sim 56$  mm/año en dirección  $N83^{\circ}E$ , valores próximos a los mencionados por Collot et. al (2009) y posteriormente comprobado por Nocquet et. al (2014).

Por otro lado, hace 8 Ma el Ridge de Carnegie entra en subducción según Gutscher et. al (1999), mientras que para Spikings et. al (2001) menciona que ha estado subduciendo hace  $\sim 15$  Ma y Collot et. al (2009) dice que fue hace  $\sim 5-4$  Ma. La subducción del Ridge de Carnegie produjo el levantamiento de la superficie costera y juega un rol muy importante sobre el desarrollo y evolución del arco volcánico cuaternario, lo que permite explicar las zonas de volcanismo, así como su marcada geoquímica (Hidalgo et. al, 2012; Michaud et. al, 2009; Hall et. al, 2008c; Bourdon et. al, 2003; Gutscher et. al, 1999; Hall y Beate 1991; Barberi et. al, 1988; Lonsdale y Klitgord, 1978).

## **2.2 GEOLOGÍA REGIONAL**

Ecuador continental está conformado por dos cadenas montañosas sub-lineares de dirección N-S aproximadamente, denominadas como Cordillera Real en el Este y Cordillera Occidental en el Oeste los cuales se encuentran separados por el Valle Interandino. Estas cordilleras limitan las principales regiones geomorfológicas del país las cuales de Este a Oeste son: Cuenca Oriente, Cordillera Real, Valle Interandino, Cordillera Occidental y Costa (Fig. 6) (Aspden y Litherland, 1992a).

### **2.2.1 Cuenca Oriente**

La cuenca oriente está constituido por el basamento del escudo de Guayanés de edad Precámbrica sobre la cual se depositan sedimentos del Paleozoico al reciente. El basamento pre-cretácico contiene rocas marinas del Paleozoico y Jurásico inferior, seguidas de aportes continentales del Jurásico superior (Tschopp, 1953).

Mayor interés comercial tiene el ciclo de depositación cretácico con secuencias fluvio-deltaicas y marinas de la formación Hollín y Napo, cubiertas por aportes continentales de la Fm. Tena (Dashwood y Abbotts, 1990). El basamento y las secuencias sedimentarias principalmente en la zona Subandina son intruídas por

grandes batolitos graníticos, ocasionando cabalgamientos y sobre corrimientos que marcan el límite entre la cuenca Oriente y la Sierra.

Varios cuerpos ígneos alcalino-basálticos han sido identificados en la sección sedimentaria cretácica de la cuenca oriente ecuatoriana (110-80 Ma) (Barragán et. al, 2005). Durante el Paleógeno y Neógeno, en la cuenca oriente se depositaron secuencias sedimentarias tanto de origen marino como continental (Jaillard y Toro, 2005).

### **2.2.2 Cordillera Real**

La Cordillera Real representa el segmento del Este de los Andes ecuatorianos. Está constituida por un núcleo metamórfico, emplazado por plutones de tipo I y S y con una cubierta volcánica. Los mayores granitoides calco-alcalinos fueron emplazados en 100-150 Ma (Aspden y Litherland, 1992a). Se reconocen cinco divisiones litotectónicas: Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora separadas la falla de Baños al Oeste y el sistema de fallas Palanda-Méndez-Cosanga en el Este (Aspden y Litherland, 1992a; Pratt et. al, 2005).

### **2.2.3 Valle Interandino**

El Valle Interandino está limitado estructuralmente por la falla Calacalí-Pujilí-Pallatanga al Oeste y la falla de Peltetec al Este. Estas fallas representan suturas entre las cuales se ha generado una cuña estrecha de material alóctono. El basamento del Valle Interandino está constituido por rocas volcánicas del dominio de la Cordillera Occidental que están mejor expuestas en el Norte y por rocas metamórficas expuestas en el Sur (Aspden y Litherland, 1992a). El relleno del Valle Interandino lo constituyen materiales volcano-sedimentarios con aportes de las dos cordilleras.

### **2.2.4 Cordillera Occidental**

La Cordillera Occidental de los Andes ecuatorianos comprende dos terrenos: el terreno más viejo, Pallatanga, formado por un plateau oceánico del Cretácico temprano a tardío; y el más joven, Macuchi, cuya edad corresponde a Eoceno temprano y posiblemente Paleoceno. La Cordillera Occidental consiste en

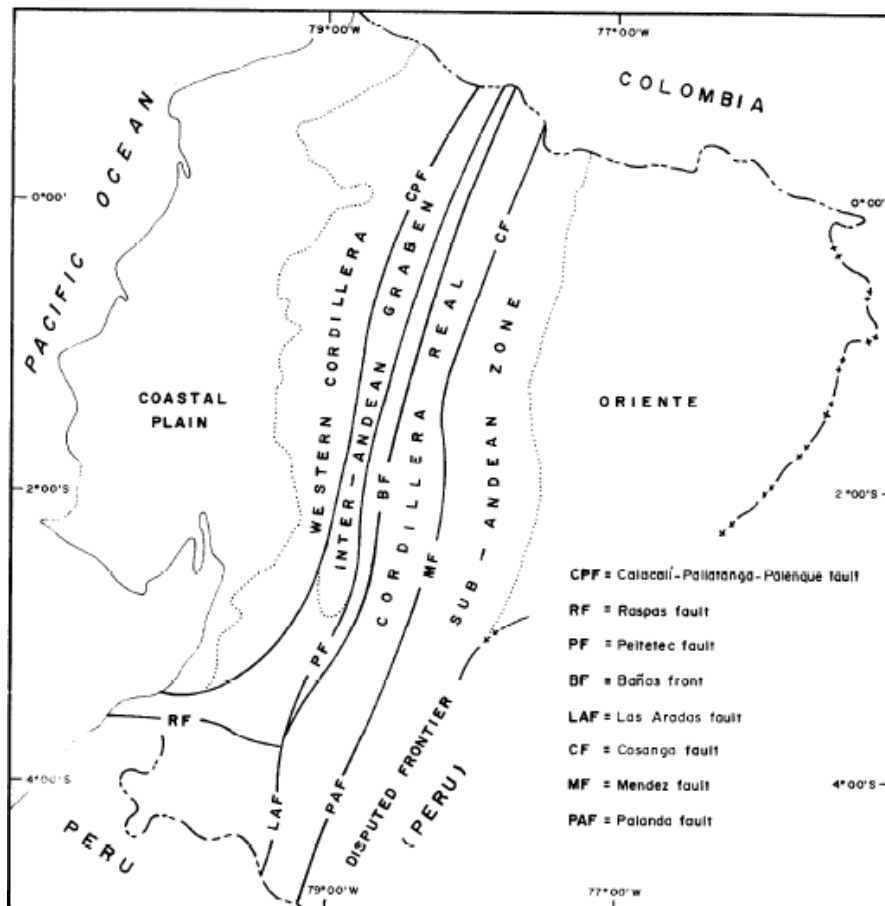
secuencias volcano-sedimentarias de arco de islas, las mismas que han sido derivadas de distintas fuentes, tanto basálticas como andesíticas (Hughes y Pilatasig, 2002).

La Cordillera Occidental está intruída por plutones terciarios y posee una gran cobertura de productos volcánicos del Neógenos y Cuaternario.

### **2.2.5 La Costa**

La cuenca de antearco del Ecuador o Costa sobreyace a un basamento de corteza oceánica conocido como el terreno Piñón que se formó en el Aptiano-Albiano (Jaillard et. al, 1997). Está limitada hacia el Oeste por una zona de melange ofiolítico llamada la Sutura Cauca Pallatanga (Daly, 1989). Los sedimentos más jóvenes de la sobreyacente formación Cayo son Danianos, los cuales son tomados como la edad máxima para la acreción de Piñón (Daly, 1989).

Las rocas ígneas del Cretácico superior al Paleoceno inferior de la formación San Lorenzo tienen afinidades calco-alcalinas y son interpretadas como rocas de arco de islas (Reynaud et. al, 1999). Debido a un régimen tectónico (compresivo-distensivo) se desarrollaron cuencas sedimentarias Jambelí, Progreso, Manabí y Borbón.

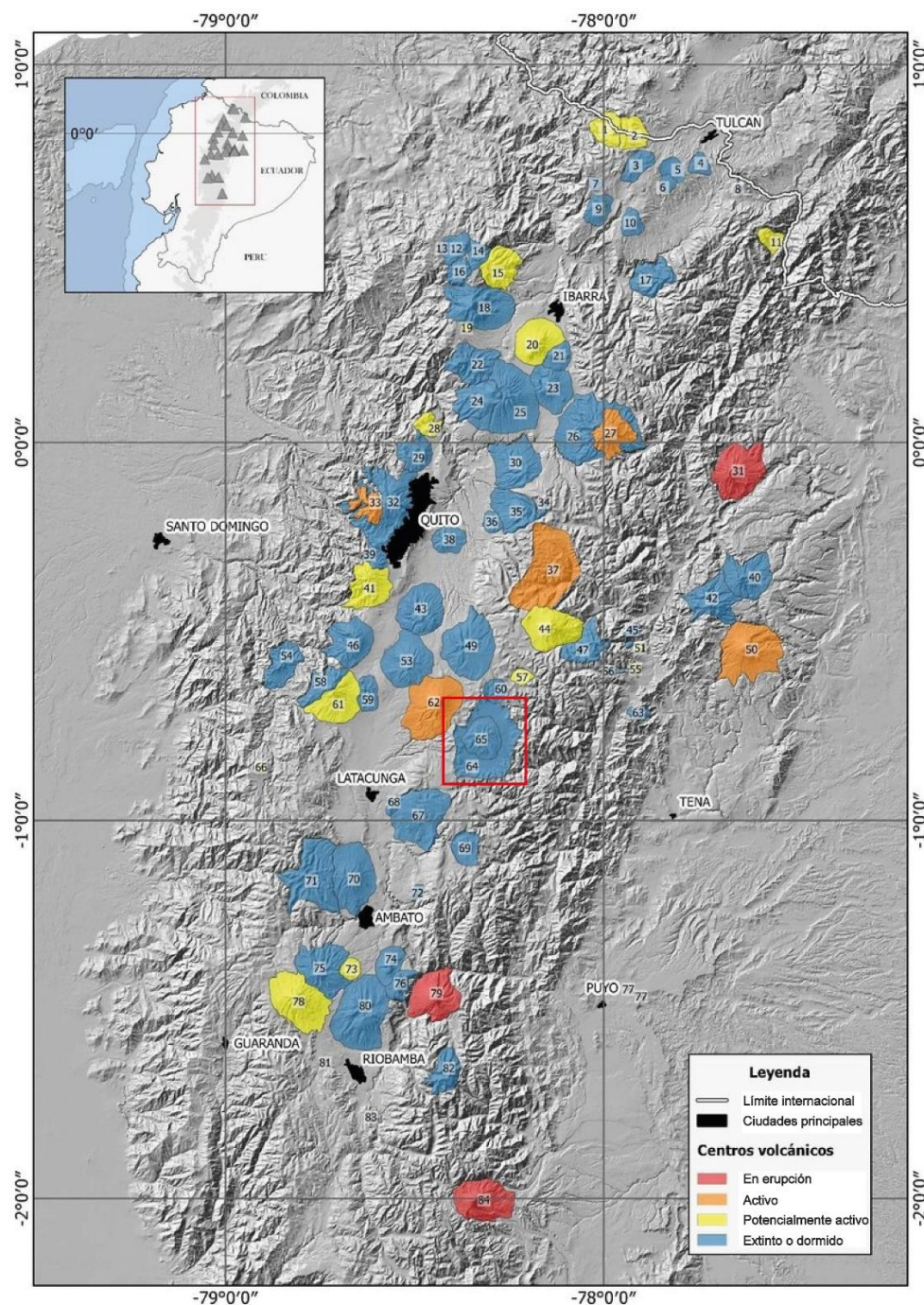


**Figura 6.** Regiones fisiográficas y fallas principales del Ecuador. Tomado de: Aspden y Litherland, (1992a)

### 2.3 VOLCANISMO

Los Andes del Ecuador son parte de la "Zona Volcánica del Norte" (NVZ), está compuesto por dos cadenas montañosas paralelas en dirección N-S aproximadamente, al este se encuentra la Cordillera Real y al oeste la Cordillera Occidental separados por el Valle o Depresión Interandina, una estructura extensiva delimitada por escarpes de fallas activas (Barberi et. al, 1988).





**Figura 7.** Volcanes Cuaternarios del Ecuador Continental. (Modificado de Bernard y Andrade, 2011). Recuadro rojo: ubicación de la caldera de Chalupas.

En el Ecuador continental se han identificado tres cadenas o filas de volcanes, con 84 volcanes distribuidos de oeste-este (Fig. 7). Dichas cadenas se caracterizan por: los centros dacítico-andesíticos de la Cordillera Occidental, la actividad alcalina básica de un grupo tras arco y los estratovolcanes andesíticos de la Cordillera Oriental (Hall y Mothes, 2008c)



Sin embargo, se desconoce el gran volumen de magmatismo silícico que ha estado ocurriendo desde el Pleistoceno temprano en la Cordillera Oriental. Esta, también se encuentra compuesta por un grupo de centros riolíticos y dacíticos dispersos que incluyen tanto grandes estructuras de calderas como edificios más pequeños, construidos sobre un basamento metamórfico Paleozoico y Mesozoico.

Además, la actividad de fallas mayores y la presencia de zonas de sutura (Alvarado et. al, 2016) en la corteza continental, han favorecido el ascenso del magma y han participado en el desarrollo del arco volcánico continental ecuatoriano desde los 400–300 Ka (Bablon et. al, 2020).

El Ecuador, al encontrarse en el margen de convergencia de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, es un país con alta actividad sísmica y volcánica es donde el volcanismo del Pleistoceno Tardío hasta el presente, está restringido a un rango de latitud entre 1°N y 2°S (Hall y Mothes 2008c; Hidalgo et. al, 2012).

Dicho volcanismo activo forma parte de un frente volcánico de ~80 km de ancho, con volcanes dispersos a lo largo de la Cordillera Occidental, el límite oriental de la Depresión Interandina, en la Cordillera Oriental y en sus estribaciones orientales (Hall y Mothes 2008c; Ancellin et. al, 2017). A su vez se caracteriza por la presencia de estratovolcanes grandes formados por lavas básicas e intermedias alternadas, domos silícicos y productos piroclásticos (Hall y Mothes 2008c; Ancellin et al., 2017), así como dos calderas desarrolladas en la cresta de la Cordillera Oriental (Hall y Mothes, 2008c; Bablon et. al, 2020).

La Cordillera Real que tiene una dirección NNE-SSW, una longitud de 650 km y está cubierto por depósitos volcánicos, sobre los cuales se construyen grandes edificios volcánicos como Tungurahua, Chalupas-Quilindaña, Antisana, Chacana y Cayambe (Villares, 2010). Así como también, el Valle Interandino donde se han identificado varias estructuras tectónicas en compresión, muchas de ellas activas desde el Pleistoceno.

## **2.4 GEOLOGÍA LOCAL DE LA CORDILLERA REAL**

La Cordillera Real constituye un cinturón alargado de rumbo NNE (Fig. 6) formado por terrenos metamórficos de naturaleza autóctona y alóctona de edad Paleozoica -

Mesozoica (Litherland et. al, 1994). Los cinturones metamórficos fueron descritos en 1994 por Litherland et al., en términos de cinco divisiones litotectónicas informales separadas por sistemas de fallas regionales (Fig. 6).

## **2.4.1 Divisiones litotectónicas**

### ***2.4.1.1 Terreno Guamote***

El terreno Guamote consiste de una secuencia sedimentaria de origen continental depositada en ambiente marino, constituida por cuarcitas intercaladas con pizarras o filitas de bajo grado. Está delimitado por la falla Ingapirca al oeste y con la falla de Peltetec al este que sirve de límite con el terreno Jurásico Alao.

Las rocas de la división Guamote están divididas en tres unidades: la unidad Punín que comprende cuarcitas y en menor cantidad filitas y las unidades Cebadas y Guasuntos que incluyen principalmente filitas negras y pizarras con menor proporción de cuarcitas (Litherland et. al, 1994) (Fig. 8).

### ***2.4.1.2 Terreno Alao***

El terreno Alao se subdivide en varias unidades: la unidad Alao-Paute que comprende un cinturón de esquistos verdes y rocas verdes de composición andesítica de aproximadamente unos 15 km de ancho; la unidad Maguazo comprende una faja de turbiditas ricas en clastos volcánicos y rocas verdes de composición andesítica de 5 - 10 km de ancho; la unidad El Pan forma un cinturón de unos 70 km de largo por 7 km de ancho constituido por esquistos de cuarzo - calcita - clorita y filitas cuarzo - sericita, formados a partir de facies volcano - sedimentarias de origen marino (Litherland et. al, 1994). Los límites estructurales coinciden al este con la falla Baños que lo separa del terreno Loja (Paleozoico - Triásico) y al oeste con la falla de Peltetec (Aspden y Litherland, 1992a) (Fig. 8).

### ***2.4.1.3 Terreno Loja***

El terreno Loja forma una faja metamórfica que se extiende a lo largo de toda la Cordillera Real y se caracteriza por la cerrada asociación entre metasedimentos semipelíticos posiblemente paleozoicos pertenecientes a la unidad Chigüinda-

Agoyán y los granitoides triásicos de la unidad Tres Lagunas (Litherland et. al, 1994) (Fig. 8).

Los límites estructurales de este terreno hacia el este coinciden con la falla Llanganates que sirve de límite con el terreno Salado al norte y la falla Palanda que actúa de límite con la división Zamora al sur y hacia el oeste limita con el terreno Alao a través de la zona de cizalla Baños. Las rocas del terreno Loja se subdividen en varias unidades:

La unidad Chigüinda se encuentra principalmente al sur de la Cordillera Real formando un cinturón de unos 30 km de ancho y comprende esencialmente una secuencia semipelítica de cuarcitas intercaladas con filitas negras (Litherland et. al, 1994).

La unidad Agoyán consiste de esquistos pelíticos y paragneises que afloran principalmente al norte de la Cordillera Real en conjunto con las rocas de la unidad Tres Lagunas en reemplazo de la unidad Chigüinda (Litherland et. al, 1994).

Las anfibolitas Monte Olivo forman un conjunto de esquistos anfibolíticos con hornblenda- cuarzo-calcita-epidota-biotita de afinidad metabasáltica que representan a una fase de dique máficos los cuales cortan a los metasedimentos Chigüinda - Agoyán (Litherland et. al, 1994).

La unidad Tres Lagunas está formada por granito con “cuarzo azul” y presenta una cerrada asociación con la unidad Chigüinda-Agoyán a lo largo de toda la Cordillera Real. La unidad Sabanilla está constituida por orto-paragneises de medio a alto grado metamórfico y en algunos casos llegan hasta gneises migmatíticos, formando un cinturón de unos 7 km de ancho ubicado en la parte sur de la Cordillera Real principalmente en el carretero Loja - Zamora en contacto tectónico con la unidad Chigüinda e Isimanchi (Litherland et. al, 1994).

#### ***2.4.1.4 Terreno Salado***

El terreno Salado comprende rocas volcánicas máficas, rocas verdes y metasedimentos. Limita al oeste con el terreno Loja por medio de la falla

Llanganates y al este con la división Zamora por medio de la falla Cosanga-Méndez (Reyes, 2006). Este terreno se encuentra subdividido en varias unidades:

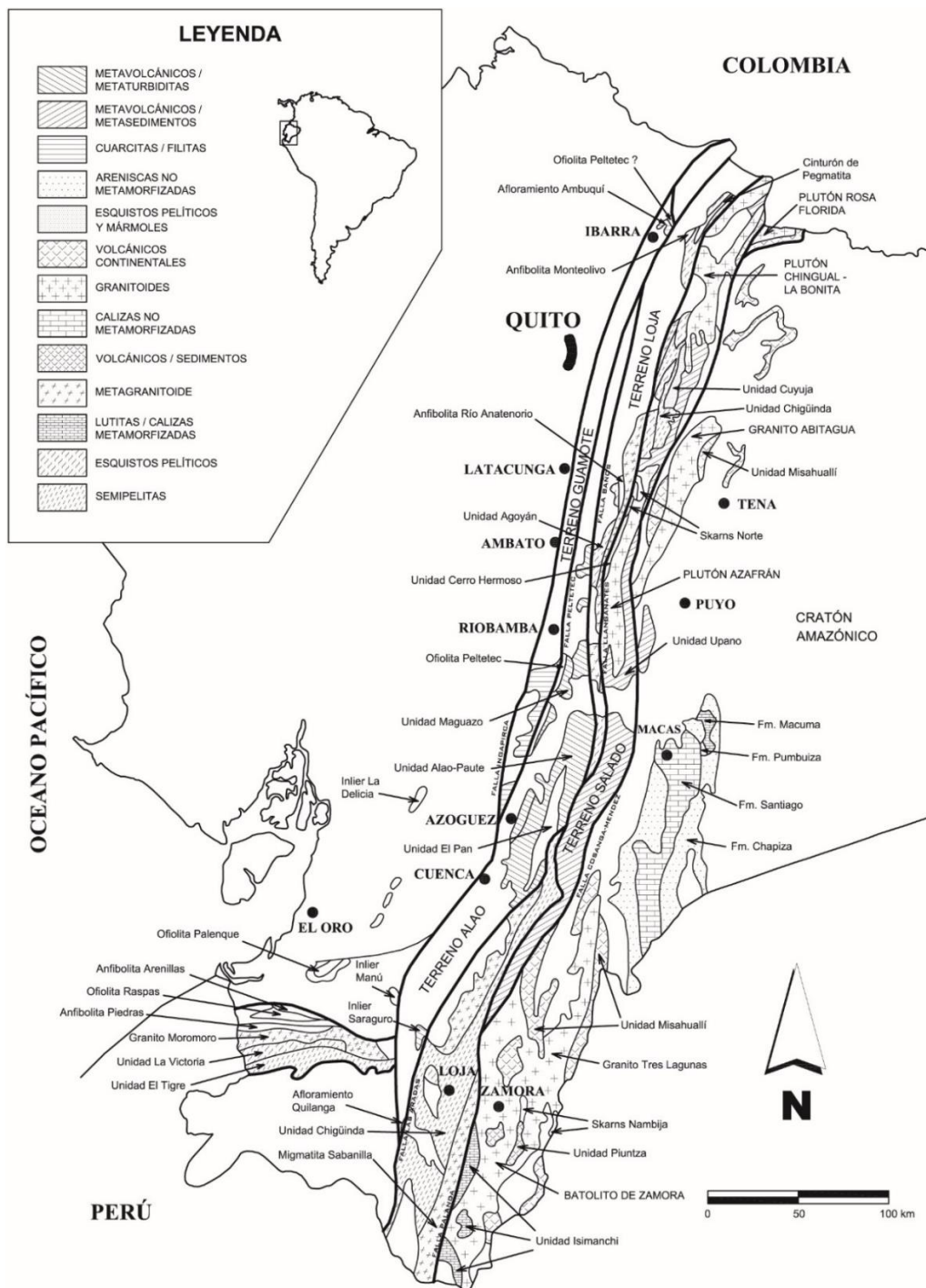
La unidad Upano comprende un cinturón continuo de unos 15 km de ancho formado por rocas verdes andesíticas, metagrawacas y esquistos verdes intercalados con esquistos pelíticos grafitosos, con aporte de cuarzo azul proveniente del granitoide Tres Lagunas y afinidad calco - alcalina en las rocas volcánicas pudiendo ser cogenético con el granito de Azafrán y transicional con los volcánicos continentales de Misahuallí (Litherland et. al, 1994).

La unidad Cuyuja forma un cinturón de unos 10 km de ancho y aflora en la parte norte de la Cordillera Real dentro del complejo de “napas” de Cuyuja y además forma la base de la unidad Cerro Hermoso, está formada por esquistos de grafito-muscovita, esquistos pelíticos e intercalaciones de esquisto verde, representando facies distales de agua profunda de la facies turbidítica / volcánica de la unidad Upano (Litherland et. al, 1994).

La unidad Cerro Hermoso es esencialmente una secuencia carbonatada constituida por mármoles, calizas negras, filitas calcáreas y calco - arenitas. El granitoide de Azafrán constituye un cinturón deformado de dioritas -granodioritas con un ancho de 10 km, se asocia a las rocas metasedimentarias y volcánicas de las unidades Upano, Cuyuja y Cerro Hermoso, linealmente puede ser correlacionable con el batolito Jurásico de Chingual ubicado al norte (Litherland et. al, 1994) (Fig. 8).

#### ***2.4.1.5 Terreno Amazónico***

La división Amazónica o también conocida como Zamora, es la más oriental de la Cordillera Real, está limitada al oeste por la Falla Cosanga Méndez y al este por la Cuenca Oriente. Las rocas que constituyen esta división son depósitos volcánicos no diferenciados de la subdivisión Misahuallí, metasedimentos de origen continental de la subdivisión Isimanchi y varias secuencias volcano-sedimentarias tanto continentales como marinas de la subdivisión Piuntza. Además, esta división está intruída por dioritas y granodioritas tipo I perteneciente al Complejo de Batolitos Zamora (Aspden y Litherland, 1992a) (Fig. 8).



**Figura 8.** Mapa geológico simplificado de la Cordillera Real según Litherland et al., 1994. Tomado de: Reyes (2006)

## 2.5 TECTÓNICA REGIONAL

Ecuador se subdivide en zonas tectonoestratigráficas que se extienden paralelas a la longitud de la cordillera de los Andes del Norte. La región costera y la Cordillera Occidental comprenden los diversos terrenos oceánicos acumulados, separados

entre sí por sistemas de fallas del Cretácico (Fig. 5) (Luzieux et. al, 2005; Jaillard et. al, 2008).

A lo largo de la Cordillera Real cruza un sistema de fallas transpresivas regionales ocasionadas por un ambiente tectónico regional compresivo. Este sistema de fallas tiene una dirección preferencial NNE-SSW, y mayormente se distingue el sistema Puná-Pallatanga-Cosanga, que empieza en el golfo de Guayaquil y pasa a Colombia en el segmento Chingual (Alvarado et. al, 2014).

De oeste a este las principales fallas regionales de la Cordillera Real son las siguientes:

### **2.5.1 Falla Peltetec**

La falla Peltetec considerada como una de las estructuras fundamentales del basamento metamórfico, representa el paleo margen jurásico-cretácico temprano (Spikings et. al, 2014) y es el límite estructural occidental de la Cordillera Real. Es interpretada como la falla más antigua que separa los terrenos Guamote y Alao y está marcada por el melange ofiolítico de Peltetec que comprende elementos jurásicos (Litherland et. al, 1994). Constituye un lineamiento neotectónico (activo en el Cenozoico) donde rocas ofiolíticas jurásicas están falladas con rocas volcánicas del Neógeno (Fig. 6 y 8).

### **2.5.2 Falla Baños**

La falla de Baños o frente de Baños separa los terrenos de Alao y Loja. Se manifestó en el campo como una importante zona de cizalla de hasta 2 km de ancho con tendencia NNE-SSW dentro de las rocas metamórficas, pero a diferencia de la falla Peltetec, es difícil de rastrear bajo la cubierta cenozoica debido a la aparente ausencia de movimiento neotectónico (Litherland et. al, 1994) (Fig. 6 y 8).

La estructura se notó por primera vez cerca de Baños en forma de hiatos que marcan tanto un cambio en la litología como un aumento en el grado metamórfico hacia el este desde el actual terreno Alao hasta el terreno Loja (Litherland et. al, 1994).

En Sigsig, la falla Baños se presenta como un cinturón milonítico de 2 km, donde la lineación mineral indica cabalgamiento hacia el este (Litherland et. al, 1994).

En el extremo suroeste de la cordillera, este segmento se une al sistema de fallas Frente Baños-Las Aradas y separa tectónicamente las rocas terciarias de la Cordillera Occidental, de las rocas metamórficas de los Terrenos Alao y Loja (Aspden y Litherland, 1992a).

### **2.5.3 Falla Llanganates**

Corresponde a la división entre los Terrenos Loja y Salado. Tiene un buzamiento hacia el oeste y marca el cabalgamiento del Granito Tres Lagunas sobre la subdivisión Upano (Litherland et. al, 1994) (Fig. 6 y 8).

### **2.5.4 Falla Cosanga-Méndez**

Corresponde al límite oriental de la Cordillera Real. Tiene un buzamiento hacia el oeste y es un sistema de fallas de alto ángulo. Marca en contacto de las rocas volcánicas de la Unidad Misahuallí con las rocas metamórficas de la Unidad Upano. (Pratt et. al, 2005) (Fig. 6 y 8).

Esta falla fue muy activa durante el Jurásico Medio-Tardío, en forma de falla lístrica (Aspden y Litherland, 1992a).

## CAPÍTULO 3

### 3 MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1 MÉTODO GRAVIMÉTRICO

El método gravimétrico consiste en la medición de la aceleración de la gravedad sobre un terreno con el fin de detectar las variaciones de densidades en las unidades geológicas presentes en el subsuelo y debido que las unidades geológicas no están distribuidas de manera homogénea en la Tierra, la aceleración gravitatoria no es constante sobre la superficie de la Tierra (Telford et. al, 1990).



**Figura 9.** Prospección y gravimetría. Tomado de: Griem y Griem (2016).

#### 3.1.1 Ley de Newton

La “Ley de Gravitación Universal de Newton” establece que la fuerza ( $F$ ) de atracción mutua entre dos masas  $M_1$  y  $M_2$  es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia ( $r$ ) entre ellas como se indica en la ecuación (1):

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2} \quad (1)$$

Donde  $G$  es la constante de la gravitación universal, la cual determina la intensidad de la fuerza de atracción gravitatoria entre los cuerpos. Su valor aproximado es:

$$G = 6.670 \times 10^{-8} \left[ \frac{cm^3}{gr s^2} \right] \quad (2)$$



La aceleración o atracción gravitacional es la fuerza de gravitación que actúa sobre una masa, y corresponde a la medición del campo gravitacional actuando en cualquier punto: El resultado de la aceleración  $a$  de la masa  $M_1$ , está dado por la ecuación (3):

$$a = g = \frac{F}{M_2} = \frac{GM_1}{r^2} \quad (3)$$

La masa  $M$  (gr) de un objeto está dada por la ecuación (4), la cual está relacionada con su volumen  $V$  por una constante  $d$ , donde  $d$  es la densidad del objeto en  $gr/cm^3$

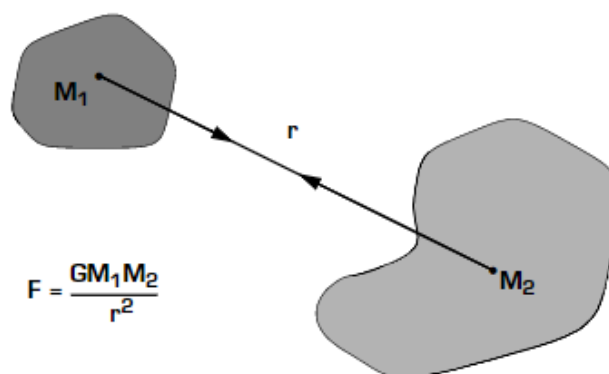
$$M = dV \quad (4)$$

Si un objeto no tiene una densidad uniforme, la aceleración gravitacional que ejerce sobre otra masa viene dada (vectorialmente) por la ecuación (5):

$$\vec{a} = G \int \frac{d \cdot \vec{r}}{r^3} dv \quad (5)$$

Integrando sobre el volumen  $V$  del objeto.

Así, la atracción gravitatoria de un cuerpo de densidad no homogénea variará de un punto a otro, en respuesta a la distribución de la densidad dentro del cuerpo. Por esta razón, las mediciones de la variación, con la ubicación, de la atracción gravitatoria de la Tierra pueden proporcionar información valiosa sobre la geología del subsuelo. Esta es la base para la ciencia y la práctica de las mediciones gravimétricas (Seigel, 1995).



**Figura 10.** Ley de Gravitación Universal de Newton. Tomado de: Seigel (1995)

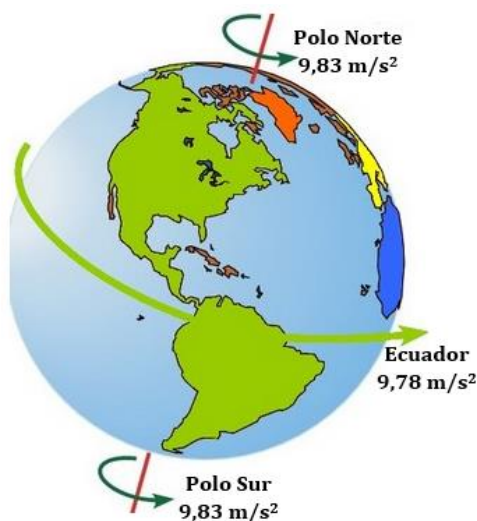
En el Sistema Cegesimal de Unidades (CGS), la gravedad se mide en  $cm/s^2$  que equivale a un “gal” (en honor a Galileo). Mientras que la unidad estándar en geofísica

para gravimetría es en “miligales” ( $mGal$ ) que es igual a  $10^{-3}$  gales, las variaciones de estos valores pequeños o anomalías tienen importancia científica o económica.

### 3.1.2 Campo Gravitacional de la Tierra

La forma de la Tierra es una elipse de rotación debido a las acciones existentes entre la aceleración gravitacional y la aceleración centrífuga. Las cuales provocan un ligero aplanamiento en los polos, teniendo 6356.77 km como radio polar y 6378.16 km como radio ecuatorial (Martínez, 2014).

Analizando la ecuación (3) y reemplazando los valores de los radios de la Tierra se tiene que la aceleración de la gravedad,  $g$ , en los polos es ( $9.83 \text{ m/s}^2$ ) y la del ecuador es ( $9.78 \text{ m/s}^2$ ) (Fig. 11). Por lo tanto, la intensidad de la atracción gravitatoria de la Tierra será más intensa cuanto más se aproxima a los polos e irá disminuyendo conforme se aproxime al ecuador y va variando sistemáticamente con la latitud geográfica (Martínez, 2014).



**Figura 11.** Valor de la gravedad en los polos y ecuador.

### 3.1.3 Medición de la Gravedad

Se pueden encontrar tres distintas formas para medir las anomalías de la gravedad: mediciones de la caída libre de un cuerpo (Fig. 12), la cual consiste en tirar un objeto y calcular directamente la aceleración que el cuerpo toma, midiendo la distancia recorrida y el tiempo al caer el objeto; mediciones con el péndulo, en donde se estima la aceleración gravitacional midiendo la oscilación periódica de un péndulo;

y mediciones de una masa suspendida de un resorte o fibras de torsión, en donde se calcula la aceleración gravitacional con la deformación vertical del resorte bajo la fuerza de gravedad (Fig. 13) (Fragoso, 2011).



**Figura 12.** Caída libre. Tomada de: Portal Académico CCH (2017).

El instrumento con el que miden los cambios de gravedad que son prácticamente despreciables se le llama gravímetro. La precisión de los gravímetros es muy alta, ya que son capaces de medir variaciones muy pequeñas de una estación a otra (Campos, 1998).

El gravímetro mide las variaciones verticales de atracción gravitatoria del suelo que están asociadas a cambios de densidad con una masa suspendida a un resorte sensible (Fig. 13). Por ejemplo, los altos estructurales, o un depósito de mineral de alta densidad, harán aumentar localmente la fuerza de la gravedad en sus proximidades (siempre que su densidad media sea mayor que la circundante), mientras que los domos de sal, de densidad baja, la disminuirán (Fragoso, 2011).



**Figura 13.** Principio de un Gravímetro. Tomado de: Griem y Griem (2016).

### 3.1.4 Densidad de las rocas

La Tierra está constituida por diferentes tipos de rocas y minerales por lo que cada uno tiene rango característico de densidades. Las densidades de las rocas que se encuentran en la corteza terrestre están entre 2.0 y 2.9 g/cm<sup>3</sup>, se adoptó una densidad de 2.67 g/cm<sup>3</sup> como una medida estandarizada para la corteza superior (Mota, 2020).

Normalmente las rocas sedimentarias son menos densas que las rocas ígneas y metamórficas (Telford et. al, 1990) debido a la variación en la porosidad y los fluidos que se encuentran en la roca, de igual forma influye el ambiente geológico y la profundidad en la que se encuentra, ya que a mayor profundidad la densidad aumenta por el grado de compactación por efecto de la carga litostática.

Las rocas ígneas se vuelven más densas conforme disminuye el contenido de sílice por lo tanto las rocas ígneas básicas son más densas que las ácidas.

En las rocas metamórficas la densidad aumenta conforme aumenta el grado de metamorfismo y conforme disminuye la acidez de la roca, sin embargo, en este tipo de rocas las variaciones de la densidad son más erráticas que en las rocas ígneas y sedimentarias (Mota, 2020)

La Tabla 1 proporciona una lista de tipos de rocas, con su rango de densidad y valores medios.

**Tabla 1.** Densidades de tipos de rocas. Tomado de: Seigel (1995)

<b>Tipo Roca</b>	<b>Rango (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio de la densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Sedimentos</b>		
<b>Suelo</b>	1.20 – 2.40	1.92
<b>Arcillas</b>	1.63 – 2.60	2.21
<b>Grava</b>	1.70 – 2.40	2.00
<b>Arena</b>	1.70 – 2.30	2.00
<b>Arenisca</b>	1.61 – 2.76	2.35
<b>Lutita</b>	1.77 – 3.20	2.40
<b>Caliza</b>	1.93 – 2.90	2.55
<b>Dolomita</b>	2.28 – 2.90	2.70
<b>Rocas sedimentarias</b>		2.50
<b>Rocas Ígneas</b>		
<b>Riolita</b>	2.35 – 2.70	2.52
<b>Andesita</b>	2.40 – 2.80	2.61
<b>Granito</b>	2.50 – 2.81	2.64
<b>Granodiorita</b>	2.67 – 2.79	2.73
<b>Pórfido</b>	2.60 – 2.89	2.74
<b>Cuarzodiorita</b>	2.62 – 2.96	2.79
<b>Diorita</b>	2.72 – 2.99	2.85
<b>Lavas</b>	2.80 – 3.00	2.90
<b>Diabasa</b>	2.50 – 3.20	2.91
<b>Basalto</b>	2.70 – 3.30	2.99
<b>Gabro</b>	2.70 – 3.50	3.03
<b>Peridotita</b>	2.78 – 3.37	3.15
<b>Rocas ígneas ácidas</b>	2.30 – 3.11	2.61
<b>Rocas ígneas básicas</b>	2.09 – 3.17	2.79
<b>Rocas metamórficas</b>		
<b>Cuarcita</b>	2.50 – 2.70	2.60

<b>Esquisto</b>	2.39 – 2.90	2.64
<b>Grauvaca</b>	2.60 – 2.70	2.65
<b>Mármol</b>	2.60 – 2.90	2.75
<b>Serpentina</b>	2.40 – 3.10	2.78
<b>Pizarra</b>	2.70 - 2.90	2.79
<b>Gneiss</b>	2.59 – 3.00	2.80
<b>Anfibolita</b>	2.90 – 3.04	2.96
<b>Eclogita</b>	3.20 – 3.54	3.37
<b>Roca metamórfica</b>	2.40 – 3.10	2.74

### 3.1.5 Gravedad observada absoluta

Para la determinación del valor absoluto de la aceleración de la gravedad se necesita que los procedimientos de medición sean muy precisos y cuidadosos. Sin embargo, no es necesario cada vez que se inicia un estudio gravimétrico realizar una medición de gravedad absoluta ya que existe una red mundial de estaciones gravimétricas donde los valores de gravedad absoluta han sido determinados y se puede vincular a cualquier levantamiento de gravedad regional a valores de gravedad absoluta por referencia al Instituto Geográfico Militar (IGM) e Instituto Geológico Minero (IGEMI) y su estación Chasqui en el Minitrack, Cotopaxi.

Así se puede establecer una red secundaria de estaciones gravimétricas en la que todos los datos gravimétricos obtenidos pueden ser enlazados a la estación-base y así obtenerse sus valores en unidades absolutas de gravedad. Si no hay necesidad de obtener valores absolutos de  $g$ , entonces el valor de la gravedad de la estación-base puede ser designado de forma arbitraria como cero (nivel base o *datum*).

### 3.1.6 Reducción de Datos

El valor observado de la gravedad ( $g_{obs}$ ) se obtiene al multiplicar la lectura del gravímetro por un factor de calibración del instrumento, a este datum común se le debe corregir para ser interpretado en términos geológicos. De esta forma se eliminará, de los valores observados de gravedad, aquellos efectos procedentes de elementos que no tienen un interés directo sobre nuestros propósitos (Mirónov,

1977). Este proceso de corrección es conocido como reducción de datos gravimétricos, reducción al datum o reducción al geoide.

La magnitud de la gravedad depende de cinco factores: latitud, elevación, topografía del terreno circundante, mareas terrestres y variaciones de densidad en la superficie. La exploración de la gravedad se ocupa de las anomalías debidas al último factor, y estas anomalías generalmente son mucho más pequeñas que los cambios debidos a la latitud y la elevación, aunque más grandes que las anomalías debidas a los efectos de las mareas y, por lo general, topográficos (Telford et. al, 1990).

### **3.1.6.1 Corrección por latitud**

La corrección por latitud se realiza debido a los cambios que surgen de las diferencias en la gravedad observada tomada en diferentes latitudes, o a distancias del ecuador. Debido a la rotación de la Tierra, la fuerza centrífuga ejercida da como resultado un máximo hacia afuera en el ecuador y un mínimo en los polos. El abultamiento ecuatorial también causado por la rotación da como resultado que la aceleración debida a la gravedad también sea menor en el ecuador. Estos dos efectos varían en las latitudes de la Tierra. La distancia N-S solo se tiene en cuenta en la corrección de latitud. Esta corrección se suma por cada km que una estación se encuentra hacia el ecuador de la estación base (Musset y Khan, 2000).

Como ambos efectos varían con la latitud, de la estación de gravedad, se pueden combinar en una fórmula (6), (conocida como Fórmula Internacional de Gravedad):

$$\Delta g_L = 978031.8 \cdot (1 + 0.0053024 \sin^2 \theta - 0.0000058 \sin^2 2\theta) [mgal] \quad (6)$$

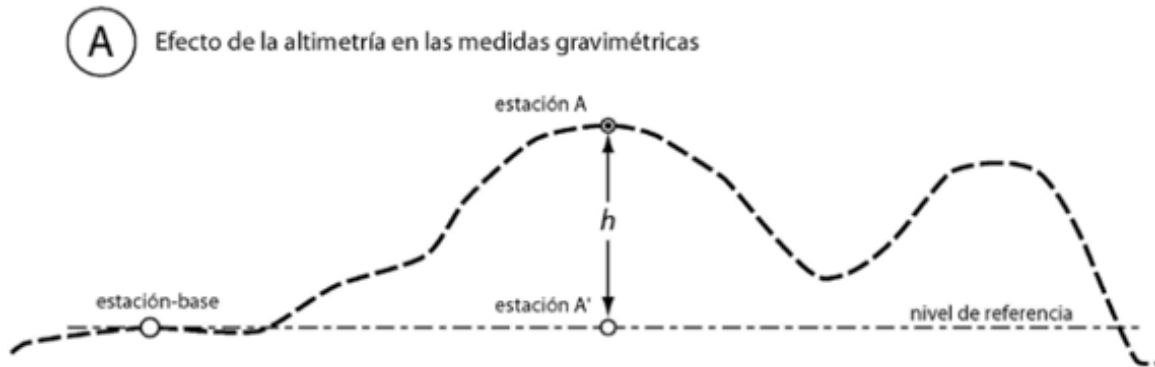
Donde:

$$\begin{aligned} \Delta g_L &= \text{corrección por latitud} \\ \theta &= \text{latitud en grados decimales} \end{aligned}$$

### **3.1.6.2 Corrección por altitud o aire libre $\Delta g_f$**

Esta corrección se refiere a la intensidad de la gravedad que varía de acuerdo con la distancia del punto de medición con respecto al centro de la Tierra, es decir, cómo varía la fuerza de gravedad con la elevación (H) de la estación base a la estación

medida, sin tomar en cuenta el tipo de material existente entre la estación y este nivel de referencia. Para ello, se considera la elevación de la estación base como referencia, y se le resta a la obtenida en la estación en la cual se quiera hacer la corrección, obteniendo así la altura  $H$  de separación entre ellas (Fig. 14).



**Figura 14.** Corrección de Aire Libre (Modificado de: Martínez, 2014)

La corrección de aire libre se obtiene de la siguiente fórmula:

$$g = \left(\frac{dg}{dr}\right) \frac{G \cdot m}{R^2} = -2 \frac{G \cdot m}{R^3} = -\frac{2g}{R} = -0.3086 \left[ \frac{mgal}{m} \right] \quad (7)$$

$$\Delta gf = g_o - g_h = \frac{2g_o}{R} \times h \quad (8)$$

Donde:

$m$  = masa de la Tierra

$R$  = radio de la Tierra

$G$  = constante universal de la gravitación

$g_o$  = valor de la gravedad en la estación base

$g_h$  = valor de la gravedad en la estación A

$h$  = diferencia de cota (m)

Reemplazando la ecuación (7) en (8) se tiene que la corrección por altitud o aire libre está dada por la ecuación (9):

$$\Delta gf = 0.3086 \cdot h \left[ mgal \right] \quad (9)$$

La corrección es positiva si el punto de medición está sobre el nivel de la estación base, en caso contrario es negativa.



### 3.1.6.3 Corrección de Bouguer $\Delta g_B$

Toma en cuenta el material entre la estación base y la estación medida, aproximando todas las masas arriba o abajo del plano de referencia con una base homogénea de extensión lateral infinita y de espesor igual a la altura  $h$  de la estación respecto al plano de referencia (una placa de roca de longitud infinita y de densidad  $d$ ) (Beate, 2001). La corrección de Bouguer viene dada por la ecuación (10):

$$\Delta g_B = 0.04188 dH \text{ [mgal]} \quad (10)$$

Si consideramos que la densidad  $d$  estándar para la corteza es  $2,67 * 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ , entonces la ecuación (10) queda:

$$\Delta g_B = 0.1118 \cdot H \text{ [mgal]} \quad (11)$$

Por lo tanto, la corrección de Bouguer se obtiene con la ecuación (11) y es negativa si la estación medida está por encima del nivel de referencia, ya que la densidad del cuerpo aumenta la atracción, entre mayor sea la altura mayor será.

### 3.1.6.4 Corrección topográfica $C_{Top}$

Esta corrección toma en cuenta el contraste topográfico en el punto de medición, debido a que las irregularidades locales en la topografía alrededor de una estación de gravedad pueden dar lugar a efectos significativos. Las colinas que se elevan por encima de la estación provocarán una reducción de la gravedad (tirón hacia arriba), al igual que los valles que caen por debajo de la estación también provocarán una reducción de la gravedad debido al déficit de masa que se incluiría en el supuesto de Bouguer de un slab infinita (Fig. 15) (Seigel, 1995). Por lo tanto, todas las irregularidades topográficas causarán una reducción en los valores de gravedad observados. Se requiere un conocimiento de la topografía local y de la gravedad específica de las rocas de la superficie para calcular el efecto de terreno resultante en una estación de gravedad.



**Figura 15.** Efectos de aire libre, Bouguer y topográfico. (Modificado de: Seigel, 1995)

El cálculo del valor de la corrección por terreno para cada estación gravimétrica se realiza por medio de programas de cómputo especializado que utilizan principalmente el método de Hammer donde únicamente es necesario contar con la información de posición de la estación y un modelo digital de elevación y el software realiza el proceso matemático.

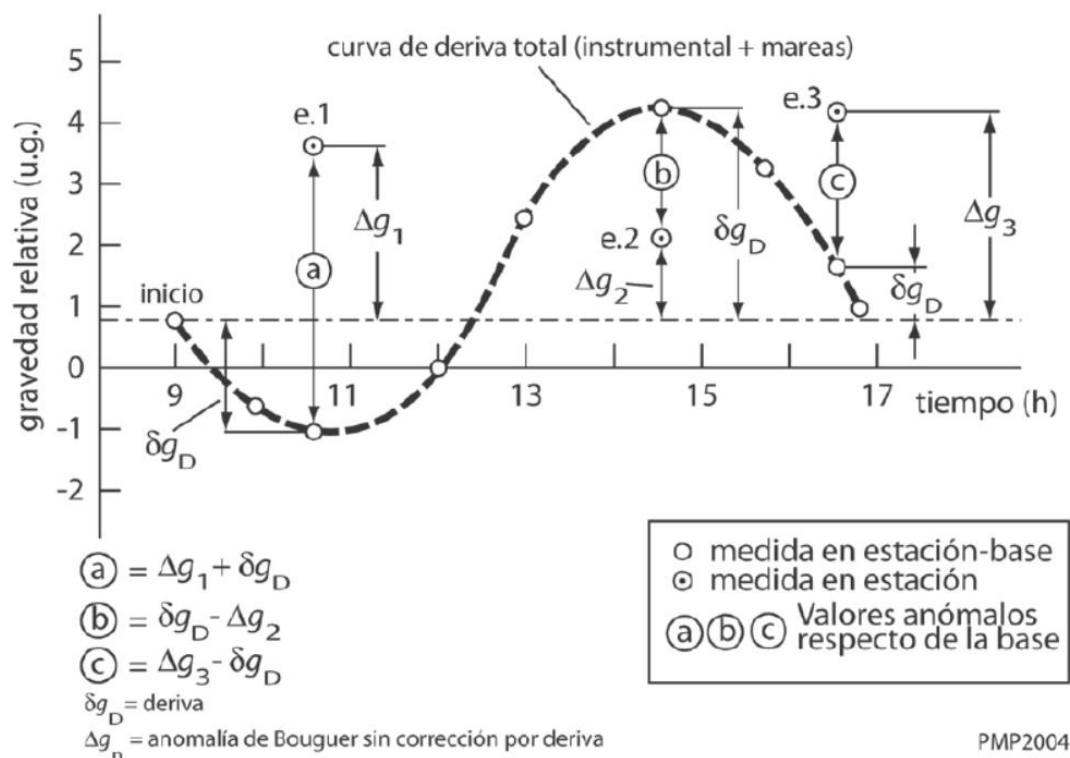
### 3.1.6.5 Corrección de deriva o por tiempo

La deriva instrumental, son variaciones que se dan debido a las características del gravímetro, éstas pueden ser ocasionadas por la fatiga del sistema de muelles (resorte), variaciones en temperatura o también cambian con el tiempo debido a los efectos de las mareas.

El resultado neto de los efectos de la deriva y las mareas es que las lecturas repetidas en una estación dan valores diferentes. El tiempo máximo entre lecturas repetidas depende de la precisión deseada, pero generalmente es de 3 o 4 horas. En la figura 16, se muestra una curva de deriva, su forma oscilatoria está determinada por los efectos de las mareas. No es necesario utilizar la misma estación para comprobar la deriva porque cualquier estación puede volver a ocuparse. Las estaciones de gravedad intermedia ocupadas solo una vez pueden corregirse por la deriva que ocurrió.

Si el movimiento del medidor no está sujeto entre lecturas o está sujeto a movimientos repentinos o sacudidas (como durante el transporte), se pueden producir cambios algo erráticos (llamados rasgaduras o taras). Si el instrumento se golpea, es aconsejable volver a leer una estación conocida inmediatamente. Dado

que no existe la posibilidad de permitir cambios erráticos, solo podemos corregir aquellos puntos ocupados mientras la curva de deriva es suave.



**Figura 16.** Representación gráfica de la curva de deriva total obtenida en una estación. (Tomado de: Martínez P. 2014)

### 3.2 Anomalías de gravedad

Las anomalías de gravedad indican la existencia de un cuerpo o una estructura de densidad anómala que es afectada por las dimensiones, el contraste de densidad y la profundidad del cuerpo (Pérez, 2017).

Las anomalías gravimétricas se clasifican en anomalía de aire libre y de Bouguer, las cuales se diferencian por su alta y baja densidad respectivamente. Estas dos anomalías gravimétricas son el resultado de la diferencia del valor teórico de la gravedad en el elipsoide de referencia gravedad teórica ( $g_t$ ) y del valor de la gravedad medido sobre el geoide gravedad observada ( $g_{obs}$ ) (ecuación (12)) (Velásquez, 2019).

$$\Delta g = g_t - g_{obs} [mgal] \quad (12)$$

### 3.2.1 Anomalía de aire libre $A_{AL}$

Corresponde a la diferencia entre el valor de gravedad observado (corregido por deriva), menos el valor teórico, más la corrección de aire libre como se observa en la ecuación (13):

$$A_{AL} = g_{obs} - g_t + \Delta gf \text{ [mgal]} \quad (13)$$

Dónde:

$A_{AL}$ : Anomalía de aire libre

$g_{obs}$ : Gravedad observada

$g_t$ : Gravedad teórica

$\Delta gf$ : Corrección de aire libre

### 3.2.2 Anomalía de Bouguer Simple $A_{BS}$

Dada por la ecuación (14), es el valor obtenido después de la corrección de latitud, corrección de elevación (incluyendo correcciones de aire libre y de Bouguer), corrección Eötvös (para aerogravimetría y marina), aplicadas en datos de gravedad, exceptuando la corrección topográfica.

$$A_{BS} = g_{obs} - (g_t - \Delta gf + \Delta gB) \text{ [mgal]} \quad (14)$$

Dónde:

$A_{BS}$ : Anomalía de Bouguer Simple

$g_{obs}$ : Gravedad observada

$g_t$ : Gravedad teórica

$\Delta gf$ : Corrección de aire libre

$\Delta gB$ : Corrección de Bouguer

La interpretación de la anomalía gravimétrica permite hacer una evaluación de la probable profundidad y en algunos casos la forma del cuerpo anómalo (Kearey et al, 2002).

### 3.2.3 Anomalía de Bouguer Completa o Residual

La anomalía de Bouguer completa o residual refleja el exceso o déficit de masas con respecto al valor de la densidad promedio de la corteza ( $2.67 \text{ g/cm}^3$ ). Es decir, considera la topografía real a partir de la corrección topográfica (Velásquez, 2019).

La obtención de la anomalía de Bouguer completa ( $A_{BC}$ ) está dada por la ecuación (15):

$$A_{BC} = A_{BS} + C_{Top} [mgal] \quad (15)$$

Dónde:

$A_{BC}$ : Anomalía de Bouguer Completa

$A_{BS}$ : Anomalía de Bouguer Simple

$C_{Top}$ : Corrección Topográfica

## CAPÍTULO 4

### 4 METODOLOGÍA

#### 4.1 ADQUISICIÓN DE DATOS GRAVIMÉTRICOS

El Departamento de Topografía de INECCEL instaló 347 hitos topográficos en un área de 460 km<sup>2</sup> a lo largo de 23 perfiles distribuidos radialmente a la caldera de Chalupas en 1980. Los perfiles CH-02 hasta CH-21 se distribuyeron en forma rectilínea más o menos perpendicular a los perfiles CH-10, CH-15, CH-25 y VT son paralelos a las rutas de acceso. Estos perfiles no exceden los 15 km en línea recta y los hitos topográficos fueron colocados a distancias de 500 m entre sí a lo largo del perfil correspondiente (Fig. 17).

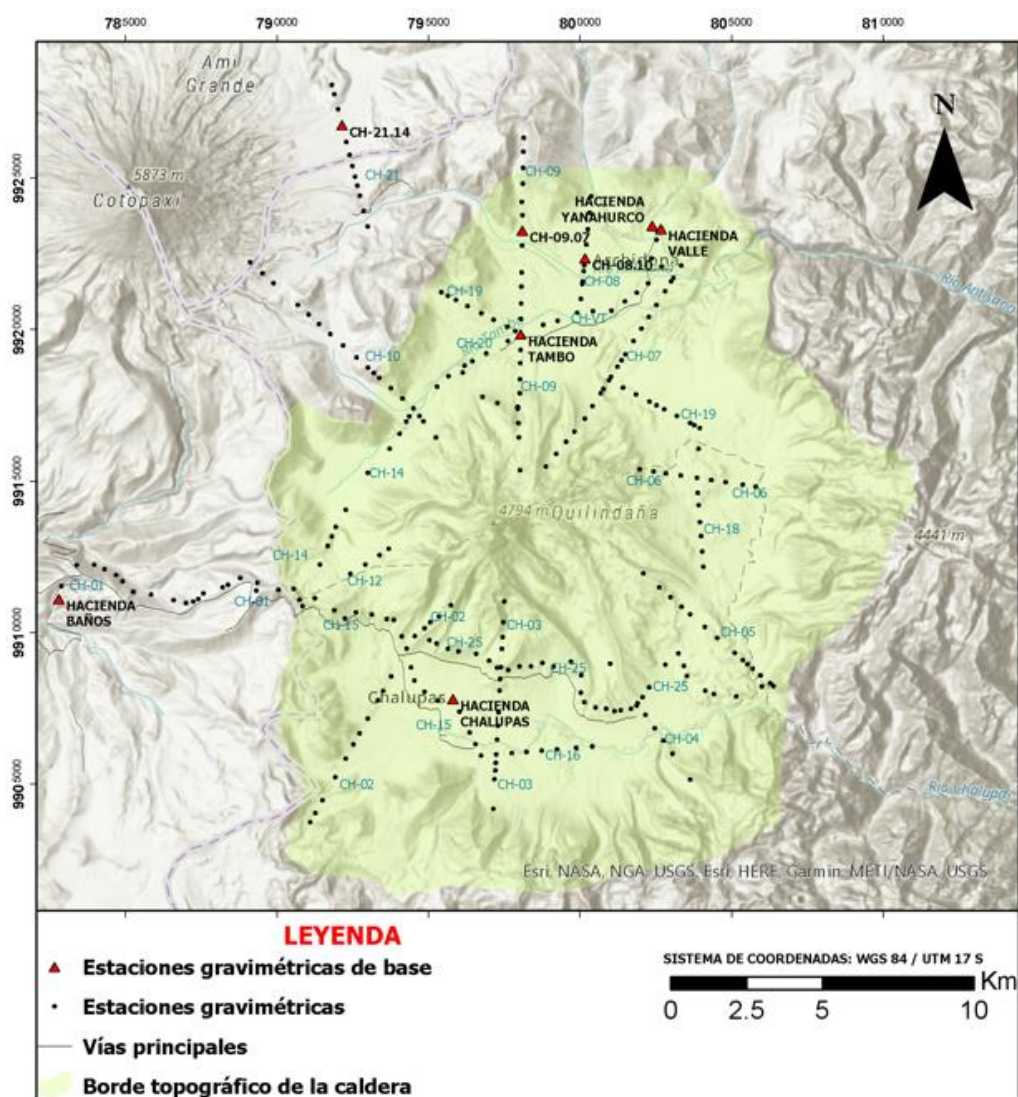
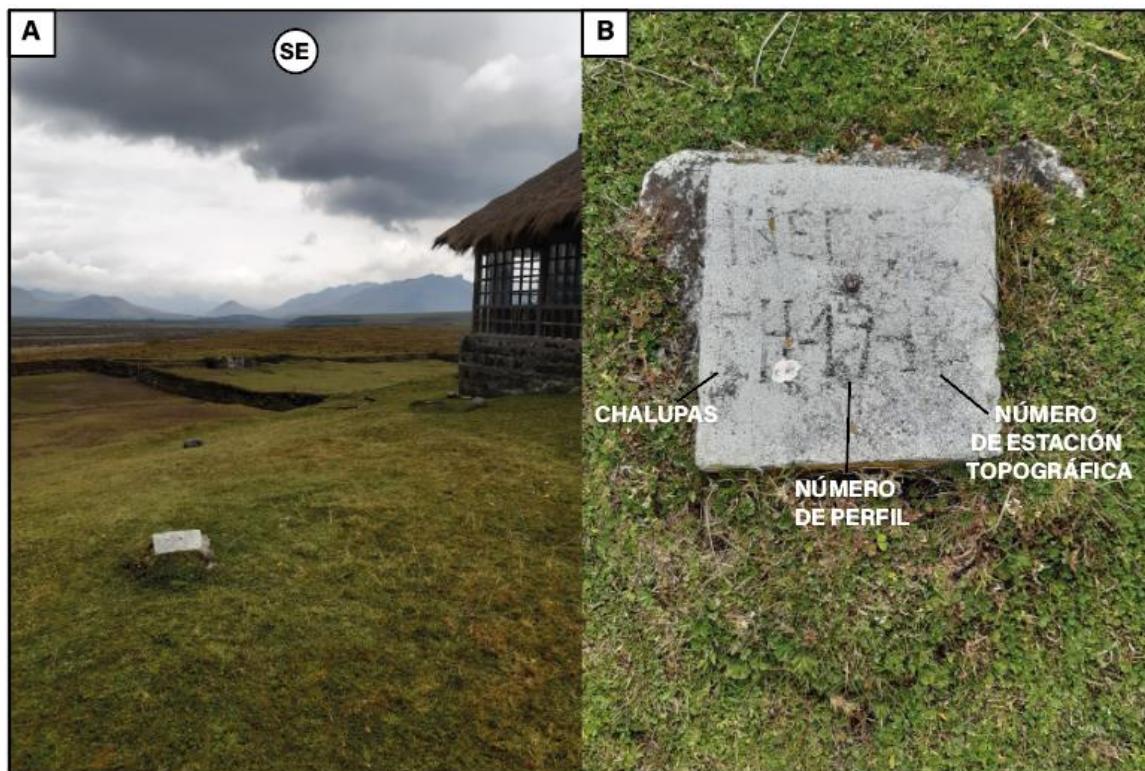


Figura 17. Ubicación de estaciones gravimétricas (Diseño: Ana Chiluisa).



Cada hito monumentado es de concreto y sus dimensiones son de 30 cm x 30 cm de base y 40 cm de altura, además sobresale 5 cm sobre el nivel del suelo y tiene una inscripción que describe el perfil y número de estación (Fig. 18).



**Figura 18.** (A) Hito monumentado en "Hacienda El Tambo". (B) Hito de INECEL, CH-19-12; CH→ Chalupas, 19→ N° Perfil, 12→ N° Estación Topográfica. (Fotografía: Ana Chiluisa)

Para cada estación se obtuvieron datos de latitud, longitud, elevación, fecha, hora y temperatura. Los valores de las coordenadas están en coordenadas geográficas y la elevación están dados en metros sobre el nivel del mar. Todos los valores están referidos al sistema cartográfico nacional del Instituto Geográfico Militar.

#### 4.1.1 Gravímetro utilizado

El gravímetro utilizado fue adquirido por INECEL en 1983 para los trabajos de investigación del Proyecto Geotérmico. La marca es WORDEN (Fig. 19), tipo MASTER, modelo III y número 1234, fabricado en Texas Instruments Inc., de Houston, Texas, USA (Beate, 2001).

El principio del funcionamiento de este gravímetro es la balanza de resorte, que utiliza la deformación de un resorte causado por la atracción de la masa de 5 mg que

se suspende de él, la atracción depende de los cambios en el campo de la gravedad de la tierra y la magnitud de la deformación del resorte sirve como medida de la variación de la aceleración de la gravedad. La medida de variación de  $g$  se logra al controlar el período de oscilación del sistema, el cual se encuentra dentro de un recipiente con un alto aislamiento térmico, para reducir las fluctuaciones en la temperatura.



**Figura 19.** Gravímetro Worden. Tomado de: National Museum of American History.

El gravímetro es capaz de registrar cambios en el valor de gravedad de hasta  $\pm 0.1 \mu\text{m}/\text{s}^2$  donde  $g$  se considera constante e igual a  $9.8 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{s}^2$  ( $9.8 \times 10^5 \text{ mgal}$ ) para fines prácticos y cálculos.

#### **4.1.2 Estaciones Base**

La instalación base se realizó a partir del punto IGM-Chasqui, el cual pertenece a la red gravimétrica nacional. Se transportó el valor  $g$  desde IGM-Chasqui hasta las dos bases gravimétricas de Chalupas: al norte la Hacienda Valle y al sur la Hacienda Baños y Hacienda Chalupas (Tabla 2).



**Tabla 2.** Gravedad absoluta de estaciones gravimétricas bases.

<b>Estaciones Gravimétricas</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación (m)</b>	<b>Gravedad Absoluta (mgal)</b>
IGM CHASQUI	768882.80	9924126.90	3127.630	977162.7200
Hacienda Valle (XD-12)	802665.10	9923343.40	3593.228	977090.8181
Hacienda Tambo (CH-19.12)	798040.70	9919860.80	3699.470	977061.1104
Hacienda Baños (CH-01.01)	782797.10	9911130.30	3601.959	977086.1770
Hacienda Chalupas (CH-15.A)	795805.00	9907824.60	3640.41	977078.930

Las mediciones gravimétricas se realizaron en bucles o looping que consiste en tomar medidas en las estaciones empezando en la base gravimétrica (ya sea del IGM o de las bases amarradas a esta) y posteriormente se mide el mayor número de estaciones posibles en un intervalo menor a 2 horas para regresar a la base y tomar allí una nueva lectura. Una vez medida esta base por segunda vez, se retomaba la última estación medida, instalando allí la base para el siguiente tramo hasta que se termine el perfil de estaciones gravimétricas.

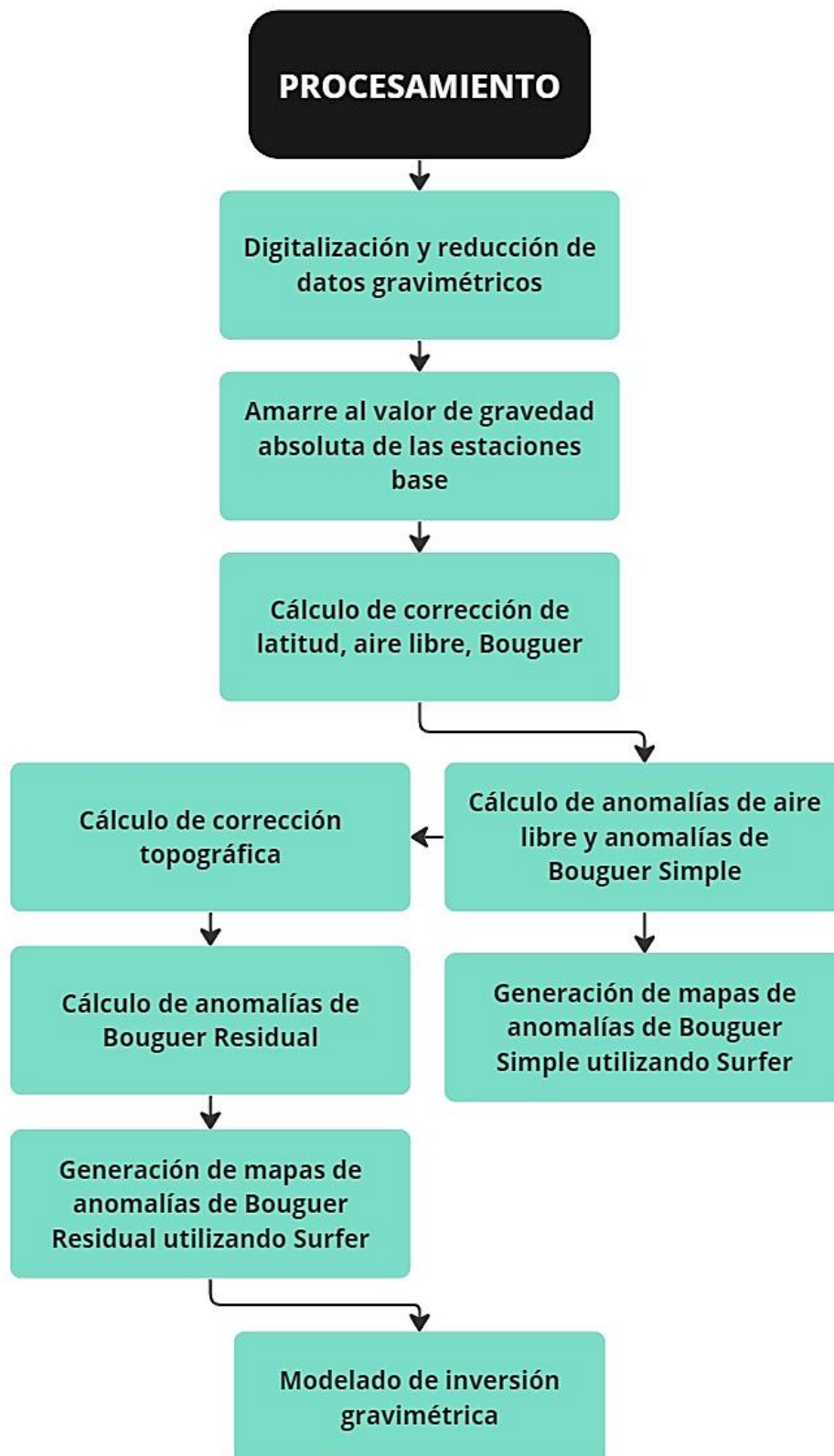
En cada estación se tomaron mínimo 3 lecturas, estas lecturas se transformaban en miligales al multiplicarlas por la constante de gravímetro a la temperatura interna del equipo (Tabla 3). Esto se realizó para controlar el funcionamiento del equipo y la repetibilidad de los datos, así como también el gradiente del terreno.

**Tabla 3.** Constantes para las temperaturas internas del gravímetro WORDEN

Temperatura °F	Constante (mgal/div.dial)	Temperatura °F	Constante (mgal/div.dial)
45.00	0.089624	60.00	0.089721
46.00	0.089631	74.00	0.089812
47.00	0.089637	75.00	0.089819
48.00	0.089643	76.00	0.089825
48.00	0.089708	77.00	0.089831
49.00	0.089650	78.00	0.089838
50.00	0.089656	82.00	0.089864
51.00	0.089663	84.00	0.089877
52.00	0.089669	85.00	0.089885
53.00	0.089676	85.00	0.089883
54.00	0.089682	86.00	0.089890
55.00	0.089689	87.00	0.089895
56.00	0.089695	87.00	0.089896
56.00	0.089689	88.00	0.089900
57.00	0.089702	88.00	0.089903
58.00	0.089708	89.00	0.089910
59.00	0.089715		

## 4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS

En la Figura 20, se puede observar el flujo de trabajo para el procesamiento de los datos gravimétricos que se realizó mediante el uso de *Microsoft Excel*, en el cual se pudo digitalizar la información para cada estación, y con ello calcular el promedio de las lecturas medidas y transformar a miligales al multiplicarlas por la constante del gravímetro obteniendo la gravedad observada relativa. Además, se calculó la gravedad absoluta mediante el amarre de las estaciones base a las estaciones gravimétricas por medio de los loopings realizados para cada día.



**Figura 20.** Diagrama del procesamiento utilizado para los datos gravimétricos

Una vez obtenida la gravedad observada relativa y gravedad absoluta para cada estación se pudo realizar las correcciones de latitud, aire libre, Bouguer y anomalías de gravedad como la anomalía de aire libre y anomalía de Bouguer Simple.

Para la corrección topográfica se calculó en el programa "**GSOLVE**" a partir de la combinación de un modelo digital de elevación (DEM) de 30 m, especificando que la densidad media para las rocas en este caso es  $2,67 \text{ Kg/m}^3$  y así obtener los valores de corrección topográfica para cada estación y poder calcular la anomalía de Bouguer Residual (Anexo 1).

A través del programa "**ArcGIS Pro 3.0.36056**" de ESRI se elaboró el mapa geológico fundamentado en el estudio de Hammersley et al., 2022. Mientras que, el mapa estructural de la caldera de Chalupas se basó en el mapa geológico simplificado de la Cordillera Real según Litherland et al., 1994. Estos mapas sirvieron como base para la interpretación de las anomalías gravimétricas.

El procesado y generación de mapas isogales de las anomalías gravimétricas se realizó con el software "**Surfer 23.3.202**" el cual en base a procesos matemáticos permite visualizar las anomalías que sirven para realizar el análisis cualitativo y cuantitativo de la exploración gravimétrica.

De igual forma, se utilizó el software "**Oasis Montaj 8.4**" de Geosoft para la visualización y análisis e interpretación cualitativa de las anomalías de Bouguer residual tanto en 2D como en 3D.

## **CAPÍTULO 5**

### **5 RESULTADOS**

#### **5.1 ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO**

El objetivo de un estudio de gravimetría es detectar cuerpos y/o estructuras en el subsuelo en base a los contrastes de densidad que ellos representan. En la superficie, estos contrastes producen una señal gravimétrica variable e interpretable, es decir una anomalía gravimétrica que sin contrastes simplemente no existiría. Para definir que es anómalo, es por supuesto necesario definir que es normal o estándar (Pérez, 2017).

Los resultados del análisis gravimétrico presentan 283 medidas, que permiten esclarecer la simetría de la cámara magmática, correlacionando las anomalías gravimétricas junto con la geología y estructuras internas regionales y locales de la caldera de Chalupas (Anexo 1).

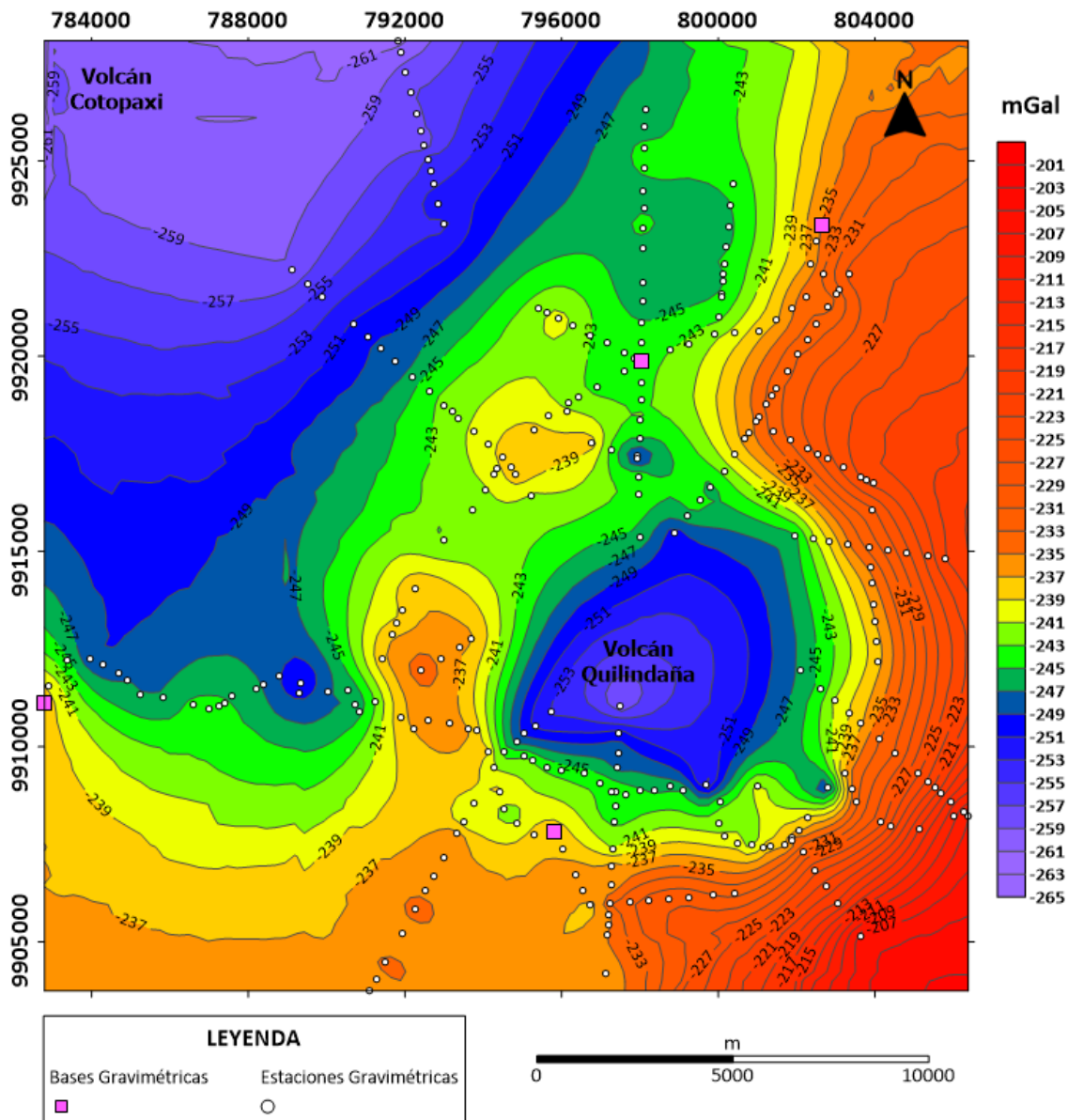
##### **5.1.1 ANOMALÍA DE BOUGUER SIMPLE**

Una vez realizado las correcciones a las lecturas gravimétricas se generó el mapa de las anomalías de Bouguer Simple (Fig. 21), que muestra una interpolación con un rango desde -261,99 mGal hasta -205.90 mGal.

Los bajos gravimétricos presentan tonalidades frías y se encuentran distribuidos sobre el volcán Cotopaxi y sobre el volcán Quilindaña, mientras que los altos gravimétricos presentan tonalidades cálidas y estas se encuentran distribuidos alrededor del volcán por valores mayores de hasta -204 mGal en el Sureste y al Noroeste con -238 mGal lo que resalta la depresión topográfica causada por el colapso calderico.



## MAPA DE ANOMALÍAS DE BOUGUER SIMPLE DE LA CALDERA DE CHALUPAS



**Figura 21.** Mapa de Anomalías de Bouguer Simple de la Caldera de Chalupas  
(Diseño: Ana Chiluisa)

### 5.1.2 ANOMALÍA DE BOUGUER RESIDUAL

Al realizar la corrección topográfica a las medidas resultantes de la anomalía de Bouguer Simple se obtiene la anomalía de Bouguer Residual, donde el valor mínimo corresponde a  $-261.97$  mGal y máximo  $-205.73$  mGal. La variación entre los valores mínimos y máximos de las anomalías de Bouguer Simple con el Residual es de  $-0.02$  mGal aproximadamente.

Aunque la diferencia entre estos valores no es grande, se puede observar en la Figura 22 un lineamiento marcado hacia los flancos del volcán Cotopaxi en dirección NE-SW. Por otro lado, se mantiene el mismo patrón para los valores gravimétricos bajos en el volcán Cotopaxi y el volcán Quilindaña como también para el borde topográfico de la caldera.

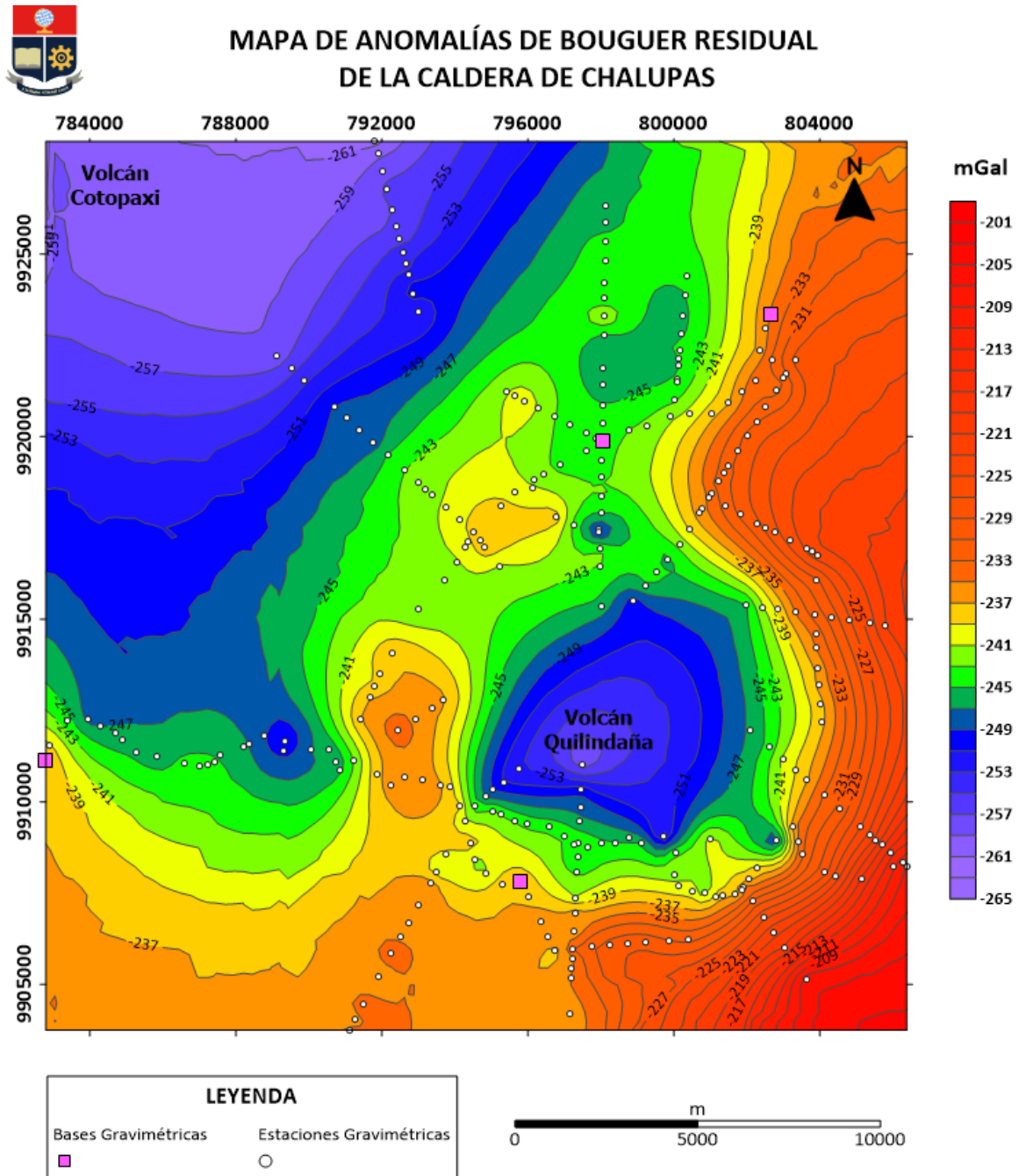
Correlacionando el mapa de anomalías de Bouguer Residual (Fig. 22) con el mapa geológico-estructural tomado de Hammersley et. al (2022) (Fig. 23), se puede definir las masas anómalas debido a la variación de la densidad de la litología presente.

En el mapa de anomalías de Bouguer residual (Fig. 22) se puede apreciar el patrón radial que aumenta al llegar al borde topográfico de la caldera, mostrando valores entre -245 y -237 mGal en dirección NE aproximadamente por las coordenadas x: 792000, y: 9910000. Esto nos indica rocas de mayor densidad correspondientes a los flujos pre caldera (Fig. 23) compuestos de piroclastos, andesitas, aglomerados y lavas correspondientes a la Formación Pisayambo.

También las curvas isogales en esta zona sugieren una o varias fallas regionales SSW-NNE que se correlaciona con la falla de Peltetec (Fig. 24), propuesta por Aspden y Litherland (1992a) constituyendo, aparentemente, el límite occidental de la estructura de la caldera como lo sugiere Beate (2001).

En la zona sur de la caldera existe un valor anómalo -239 mGal en las coordenadas x: 796800 y: 9905000 aproximadamente, se sugiere representaría la zona por donde pasa la falla de Baños en dirección N20°E bajo el volcán Quilindaña continuando hacia el norte (Fig. 23)

Hacia el este de la caldera se puede apreciar valores altos de gravimetría que oscilan entre -241 a -201 mGal lo que refleja rocas de mayor densidad correspondiente al basamento metamórfico como esquistos, gneiss del Grupo Llanganates (Fig. 22 y 23).



**Figura 22.** Mapa de Anomalías de Bouguer Residual de la Caldera de Chalupas (Diseño: Ana Chiluisa)



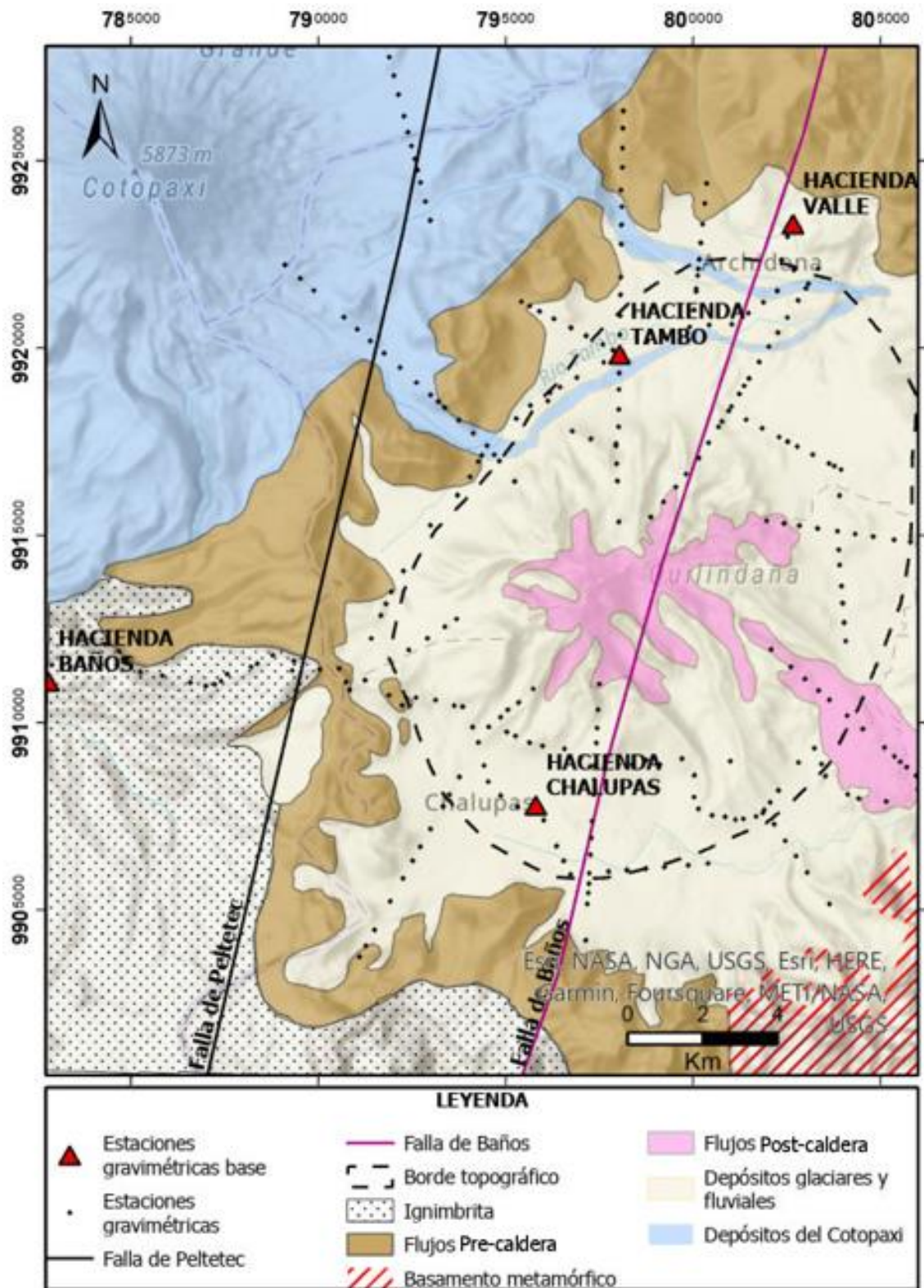
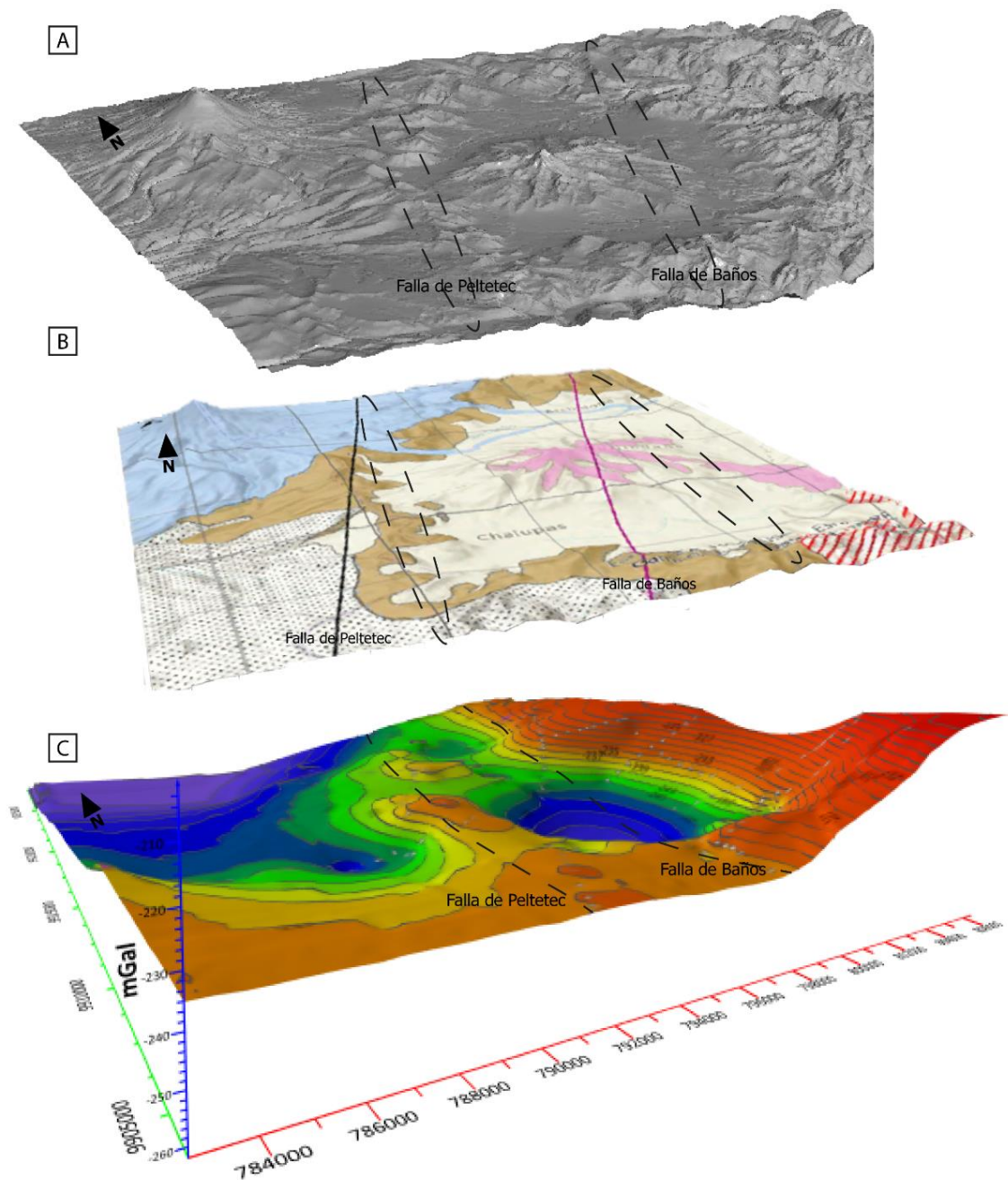


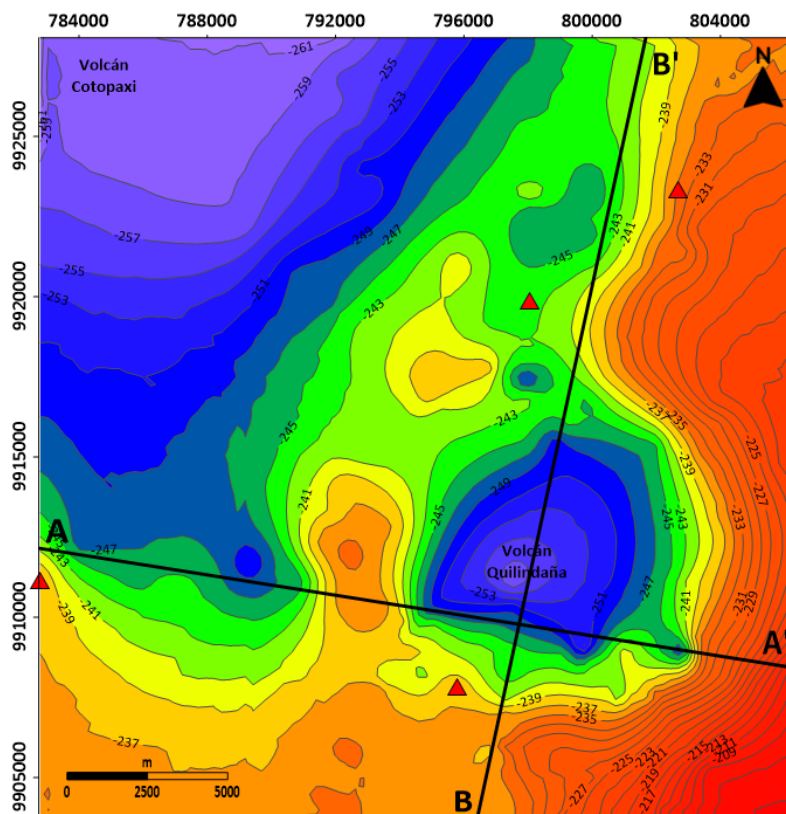
Figura 23. Mapa Geológico de la Caldera de Chalupas (Modificado de: Hammersley et al, 2022)



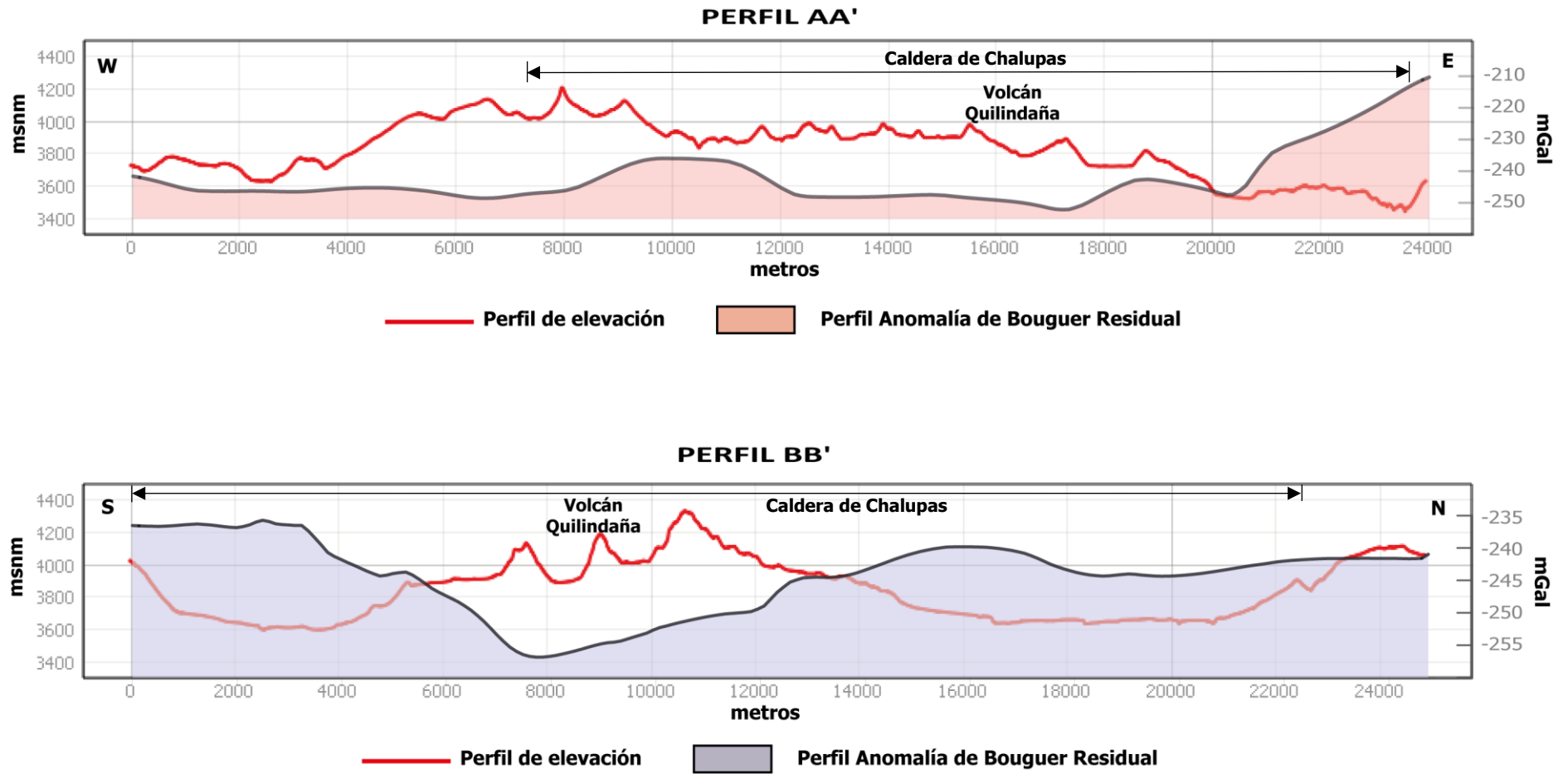
**Figura 24.** Anomalía de Bouguer Residual vista 3D de la Caldera de Chalupas. En (A) se observa el DEM de 30 m con las zonas por donde pasaría aproximadamente la falla de Peltetec y Baños; en (B) se muestra el mapa geológico tomado de Hammersley et al., (2022) y la proyección de las fallas de Peltetec (línea negra) y falla de Baños (línea rosada) tomado de Aspden y Litherland, (1992a) junto con la proyección de las zonas de falla inferidas en este trabajo; En (C) se muestra la ABR en vista en 3D con la posible trayectoria de la falla de Peltetec y falla de Baños (Diseño: Ana Chiluisa)

Complementando el análisis previo, en la Figura 25 se muestran dos perfiles sobre el mapa de anomalías de Bouguer residual. El perfil AA' (Fig. 26) con rumbo direccional WNW-ESE, aproximadamente a los 9 km se produce un aumento de gradiente de -245 a -235 mGal lo que se correlaciona con la litología correspondientes a los flujos pre caldera y a la falla de Peltetec y que define el límite occidental del borde de la caldera. Desde los 12 km se observa un cambio de gradiente de -240 a -250 mGal, reflejando la estructura caldérica hasta los 17.5 km aproximadamente. Asimismo, a los ~20.4 km aumenta progresivamente de -245 a -210 mGal en donde refleja el aumento de densidad correspondiente a las rocas metamórficas del basamento, como lo menciona Beate (2001).

En el perfil BB' (Fig. 25 y 26) de rumbo direccional SSW-NNE, se puede apreciar como disminuye gradualmente desde los 4 km de -237 a -257 mGal a los 7.5 km y de ahí aumenta aproximadamente hasta los 15 km esta respuesta anómala se correlaciona con el déficit asociado al relleno de composición ignimbrítico post colapso de la caldera y los depósitos glaciares y fluviales de menor densidad.



**Figura 25.** Perfiles gravimétricos (Diseño: Ana Chiluisa)



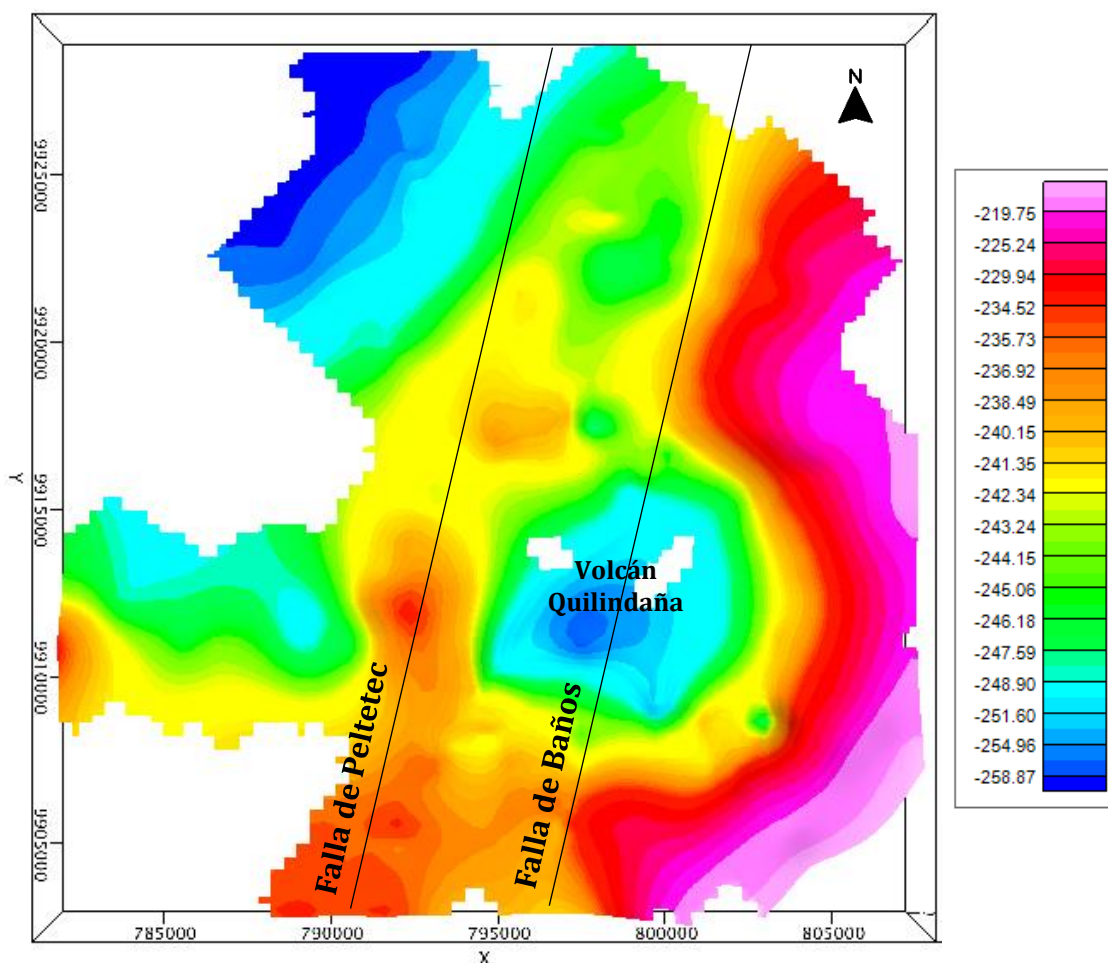
**Figura 26.** Perfiles topográficos y respuesta de anomalía de Bouguer Residual



### 5.1.3 MODELO 3D DE LAS ANOMALÍAS DE BOUGUER RESIDUAL

El modelo de inversión no fue posible realizar ya que no se pudo obtener el módulo VOXI para la versión de Oasis Montaj. Sin embargo, se pudo realizar la representación gráfica en 2D (Fig. 27) y 3D (Fig. 28) de la intensidad de las anomalías de Bouguer residuales, en los cuales se puede apreciar la misma configuración obtenida en Surfer.

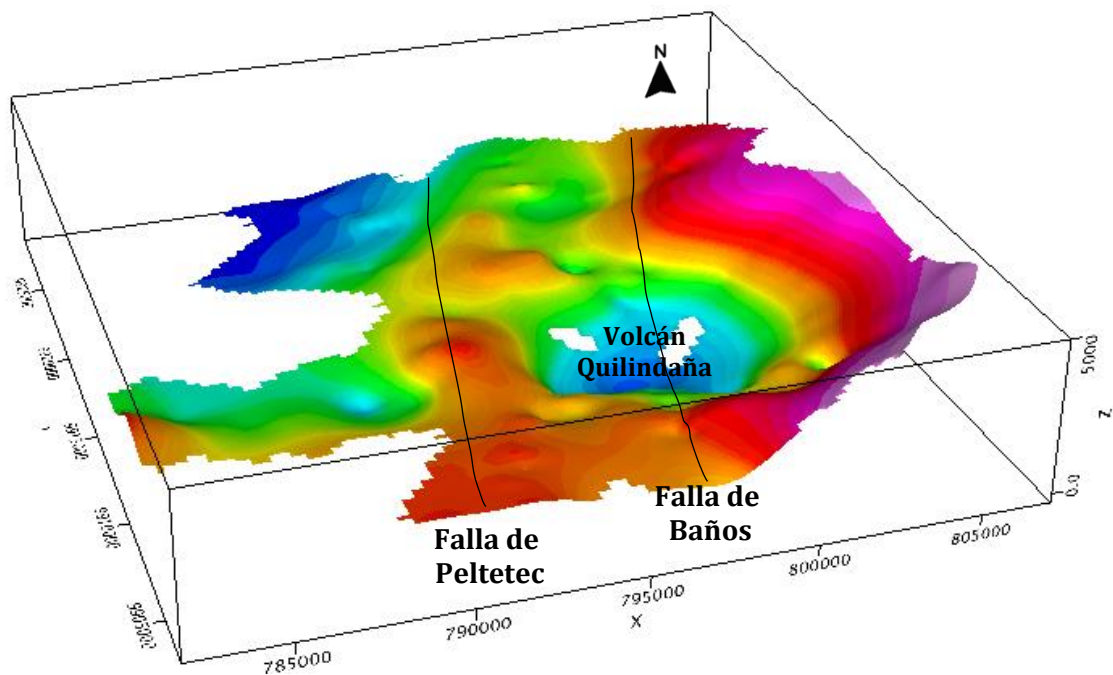
En la Figura 27 se puede observar valores de gravimetría bajos entre -256 mGal aproximadamente, distribuidos en forma radial aumentando hacia los bordes sobre el volcán Quilindaña asociados a la presencia de rocas de menor densidad. De igual forma se puede observar los lineamientos marcados por los valores gravimétricos altos entre -239 a -235 mGal aproximadamente, asociados a la presencia de rocas de mayor densidad y de fallas regionales.



**Figura 27.** Vista en planta de las Anomalías de Bouguer Residual (Oasis Montaj)

En la Figura 28 se puede apreciar el rasgo morfológico que se presenta en la caldera de Chalupas. En el Este se observa un lineamiento en dirección SSW-NNE y valores gravimétricos altos aproximadamente, lo que se le asocia a la falla de Baños en dirección N20°E que pasa bajo el volcán continuando hacia el norte.

Hacia el Oeste del volcán Quilindaña, se muestra el límite de la caldera donde también muestra valores altos de gravimetría a los cuales se le asocia con la falla de Peltetec y rocas de mayor densidad correspondientes a los flujos pre caldera.



**Figura 28.** Representación gráfica de la Anomalía de Bouguer Residual (Oasis Montaj)

## CAPÍTULO 6

### 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

El uso del método gravimétrico como herramienta de exploración indirecta es importante ya que mide los cambios espaciales y temporales muy pequeños en los campos de fuerza de gravedad terrestres, tienen una amplia gama de usos, desde escalas submétricas hasta escalas globales.

Aunque este método en la mayoría de los casos no logra igualar la resolución y la precisión de las observaciones directas, es un procedimiento rápido, rentable y no invasivo para estudiar la Tierra inaccesible y optimizar la ubicación de otros estudios de detección remota, que tienen mayor capacidad de resolución.

El estudio gravimétrico realizado por el Ing. Bernardo Beate en 1980 para INECEL en la campaña de exploración del recurso geotérmico de la caldera de Chalupas contribuyó de manera significativa, y ahora con la ayuda de las herramientas tecnológicas se realizó el mapa de Anomalías de Bouguer Simple y Residual de Chalupas en 2D y 3D donde se muestra a primera vista la depresión topográfica radial debido al colapso de la caldera y que posteriormente se rellenó por rocas de menor densidad como la ignimbrita de Chalupas y los flujos post caldera del volcán Quilindaña.

En el límite occidental aproximadamente en las coordenadas x: 792000, y: 9910000 en dirección NE correlacionando con el mapa geológico propuesto en Hammersley et. al (2022) y en el mapa de Litherland et. al (1994) se muestra valores anómalos entre -237 y -245 mGal debido a la presencia rocas de mayor densidad correspondientes a los flujos pre caldera. También se puede observar un mayor control en la morfología y lineamiento SSW-NNE definido por los valores gravimétricos altos, la cual se le atribuye a la falla de Peltetec propuesta por Aspden y Litherland (1992a).

En las coordenadas x: 796800 y: 9905000 se observa valores anómalos están entre -239 a -235 mGal y también la presencia de un lineamiento marcado, lo cual se presume es debido a la presencia de la falla de Baños que pasaría en dirección N20°E bajo el volcán Quilindaña continuando hacia el norte. Igualmente, nos indicaría la

existencia de rocas de mayor densidad correspondientes al basamento metamórfico como lo menciona Beate (2001).

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- Realizar una campaña de magnetometría para complementar el estudio gravimétrico y confirmar la tendencia estructural de la falla de Peltetec y falla de Baños.
- Realizar una campaña de gravimetría con equipos actuales disponibles para reducir el error de las medidas y realizar las correcciones topográficas con un modelo digital de elevación de 3m.
- Si es posible realizar la campaña de magnetometría y gravimetría, se sugiere procesar los datos tanto de magnetometría y de gravimetría con la última versión del software Oasis Montaj y con la ayuda del módulo VOXI earth modelling, realizar el modelo de inversión magnética y gravimétrica correlacionando con base a la información geológica.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Solís, M. (1977). *Ecología y fitoecología*. Casa de la Cultura Ecuatoriana. Quito.
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Jaillard, E., Mothes, P., Jarrín, P., ... y Cisneros, D. (2016). Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador. *Tectonics*, 35(5), 1048-1065.
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Lagreulet, S., Segovia, M., Font, Y., ... y Jarrín, P. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *Tectonics*, 33(2), 67-83.
- Ancellin, M.-A., Samaniego, P., Vlastélic, I., Nauret, F., Gannoun, A., Hidalgo, S., 2017. Across-arc versus along-arc Sr-Nd-Pb isotope variations in the Ecuadorian volcanic arc. *G-cubed* 18, 1163-1188. <https://doi.org/10.1002/2016GC006679>.
- Aspden, J. A., y Litherland, M. (1992a). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205(1-3), 187-204.
- Bablon, M., Quidelleur X., Siani G., Samaniego P, Le Pennec J., Nouet J., Céline Liorzou C., Santamaría S., Hidalgo S. (2020). Glass shard K-Ar dating of the Chalupas caldera major eruption: Main Pleistocene stratigraphic marker of the Ecuadorian volcanic arc, *Quaternary Geochronology*, Volume 57, <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2020.101053>.
- Barberi, F., Coltelli, M., Ferrara, G., Innocenti, F., Navarro, J. M., & Santacroce, R. (1988). Plio-quaternary volcanism in Ecuador. *Geological Magazine*, 125(1), 1-14.
- Barragán, R., Baby, P., y Duncan, R. (2005). Cretaceous alkaline intra-plate magmatism in the Ecuadorian Oriente Basin: Geochemical, geochronological and tectonic evidence. *Earth and Planetary Science Letters*, 236(3), 670-690.
- Beate, B. (1985). El flujo piroclástico de Chalupas como causante de un desastre natural en el Cuaternario de los Andes Septentrionales del Ecuador. In

- Primer Simposio Latinoamericano sobre Desastres Naturales. Quito (pp. 21-27).
- Beate, B. (2001). Mapa de anomalías de Bouguer Simples de la caldera de Chalupas. *Revista Politécnica, Volumen XXII (No. 2.)*, 115-146.
- Beate, B., Hammersley, L., De Paolo, D. y Deino, A. I., (2006). La edad de la Ignimbrita de Chalupas, prov. de Cotopaxi, Ecuador, y su importancia como marcador estratigráfico. *EPN-6tas Jorn. Ciencias Tierra, Quito*. 68-71 pp.
- Bernard, B. y Andrade, D. (2011). *Volcanes Cuaternarios del Ecuador Continental*.
- Bourdon, E., Eissen, J. P., Gutscher, M. A., Monzier, M., Hall, M. L., & Cotten, J. (2003). Magmatic response to early aseismic ridge subduction: the Ecuadorian margin case (South America). *Earth and Planetary Science Letters*, 205(3), 123-138.
- Campos, R. (1998). Estudio geológico y gravimétrico de los granitoides de la antiformal de Cáceres: aplicación a la exploración de yacimientos minerales. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid, 85-113. Recuperado de: <http://webs.ucm.es/BUCM/tesis//19972000/X/4/X4007502.pdf>
- Collot, J. Y., Michaud, F., Alvarado, A., Marcaillou, B., Sosson, M., Ratzov, G., ... y Pazmino, A. (2009). Visión general de la morfología submarina del margen convergente de Ecuador-Sur de Colombia: implicaciones sobre la transferencia de masa y la edad de la subducción de la Cordillera de Carnegie. *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador. Publicación CNDM-INOCAR-IRD, PSE001-09, Guayaquil, Ecuador*, 47-74.
- Córdova, M. D. (2018). Identificación y caracterización de los últimos productos eruptivos de la fase resurgente de la Caldera de Chalupas. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, Vol. 133. Available at: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19286>.
- Córdova, MD, Mothes PA, Gaunt HE and Salgado J (2020). Post-Caldera Eruptions at Chalupas Caldera, Ecuador: Determining the Timing of Lava Dome Collapse, Hummock Emplacement and Dome Rejuvenation. *Front. Earth Sci.* 8:548251. doi: 10.3389/feart.2020.548251

- Daly, M. C. (1989). Correlations between Nazca/Farallon plate kinematics and forearc basin evolution in Ecuador. *Tectonics*, 8(4), 769-790.
- Dashwood, M. F., and Abbotts, I. L. (1990). Aspects of the petroleum geology of the Oriente Basin, Ecuador. Geological Society, London, Special Publications, 50(1), 89-117.
- Fragoso, A. (2011). Estudio gravimétrico del valle de San José de Guaymas. Hermosillo, México. Universidad de Sonora. 21-33. Recuperado de: <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/handle/unison/1602>
- Griem, S. y Griem W. (2016). Apuntes Exploraciones Mineras. Recuperado de: <https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC/TEXT/06001grav.html>
- Gutscher, M. A., Malavieille, J., Lallemand, S., and Collot, J. Y. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters*, 168(3), 255-270.
- Hall, M., y Beate, B. (1991). El volcanismo plio-cuaternario en los Andes del Ecuador. *Estudios Geográficos*, 4, 5-38.
- Hall, M., y Mothes, P. (2008c). The plinian fallout associated with Quilotoa's 800 yr BP eruption, Ecuadorian Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(1), 56-69.
- Hammersley, L., De Paolo, D., Beate, B., and Deino, A., (2005). Quantitative model for andesite and rhyolite generation in a continental margin volcanic arc: the Chalupas Caldera, Ecuador. (Informe Inédito) oct. 2005.
- Hammersley. L, DePaolo. D, Beate. B, Deino. A., (2022). Rhyolite Ignimbrite Generation in the Northern Andes: The Chalupas Caldera, Ecuador.
- Hammersley. L., (2003). Isotopic evidence for the relative roles of fractional crystallization, crustal assimilation and magma supply in the generation of large volume rhyolitic eruptions. Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley

- Hidalgo, S., Gerbe, M. C., Martin, H., Samaniego, P., and Bourdon, E. (2012). Role of crustal and slab components in the Northern Volcanic Zone of the Andes (Ecuador) constrained by Sr-Nd-O isotopes. *Lithos*, 132, 180-192.
- Holdridge, L.R. (1986). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José.
- Hughes, R. A., and Pilatasig, L. F. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador. *Tectonophysics*, 345(1), 29-48.
- INECEL, (1983). *Estudio de Exploración de los Recursos Geotérmicos en Chalupas, Primera Fase de Pre factibilidad. Informe Técnico Interno*. Quito.
- Instituto Geofísico EPN. (2020). *Volcán Caldera de Chalupas*. Quito-Ecuador
- Jaillard, E. and Toro, J. (2005). Provenance of the Upper Cretaceous to upper Eocene clastic sediments of the Western Cordillera of Ecuador: Geodynamic implications. *Andean Geodynamics* 399(1-4): 279-292.
- Jaillard, E., Bengtson, P., Ordonez, M., Vaca, W., Dhondt, A., Suárez, J., and Toro, J. (2008). Sedimentary record of terminal Cretaceous accretions in Ecuador: The Yunguilla Group in the Cuenca area. *Journal of South American Earth Sciences*, 25(2), 133-144.
- Jaillard, E., Benitez, S. and Mascle, G. (1997). Palaeogene deformations of the forearc zone of south Ecuador in relation to the geodynamic evolution. *Bulletin de la Société Géologique de France* 168(4): 403-412.
- Kearey, Ph. Brooks, M. and Hill I. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration*. Third Edition.
- Litherland, M. Apsden, JA. and Jemielita, R. A. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey. Overseas Memoir* 11. Keyworth, UK, pp. 147.
- Lonsdale, P., and Klitgord, K. D. (1978). Structure and tectonic history of the eastern Panama Basin. *Geological Society of America Bulletin*, 89(7), 981-999.

- Lowrie, W. (1997). *Fundamentals of Geophysics*. Institute of Geophysics. Swiss Federal Institute of Technology. Zurich, Switzerland. 67pp.
- Luzieux, L., Heller, F., Spikings, R., Winkler, W. and Vallejo, C. (2005). Cretaceous block rotations in the coastal forearc of Ecuador: paleomagnetic, chronostratigraphic evidences, and implications for the origin and accretion of the blocks., in *Proceedings of the Third Swiss Geoscience Meeting, Program and Abstracts*, Zurich, Switzerland, pp. 95-96.
- Martínez, P. (2014). *Prospección Geofísica – 1 (Métodos de Campo Natural)*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- McCubbine. J, Caratori Tontini. F, Stagpoole. V, Smith. E, O' Brien. G, Gsolve, a Python computer program with a graphical user interface to transform relative gravity survey measurements to absolute gravity values and gravity anomalies, *SoftwareX*, Volume 7, 2018, Pages 129-137, ISSN 2352-7110, <https://doi.org/10.1016/j.softx.2018.04.003>.
- Michaud, F., Witt, C., and Royer, J. Y. (2009). Influence of the subduction of the Carnegie volcanic ridge on Ecuadorian geology: Reality and fiction. *Geological Society of America Memoirs*, 204, 217-228.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER. (2010). *Plan de Aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos en el Ecuador*. Quito (pp. 29-43).
- Mirónov, V. S. (1977). *Curso de Prospección Gravimétrica*. Editorial Reverte, S.A. Barcelona.
- Mota J. (2020). *Modelación geológica-geofísica de la zona volcánica La Pólvara*, San Luis Potosí (Tesis de masterado). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.
- Mothes, P. A., and Hall, M. L. (2008). Rhyolitic calderas and centers clustered within the active andesitic belt of Ecuador's Eastern Cordillera. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 3, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.

- Mothes, P. A., Hall, M. L., Córdova, M. & Espín, P. (2017). Geomorphology, tephra stratigraphy & geochronology of the Northeast Sector of the Chalupas Caldera. EPN-8vas Jorn. Ciencias Tierra, Quito. 447-451 pp.
- Mothes, P. A., Alvarado, A., Hall, M. L., and Valverde, V. (2015). Another look at the Chalupas Caldera, Ecuador—Identification of structural controls over time. Presentado en IUGG 2015 General Assembly, Prague, the Czech Republic
- Mussett, A. and Khan, M. (2000). Looking into the earth: an introduction to geological geophysics. Cambridge University Press, New York, USA.
- Nocquet, JM., Villegas-Lanza, J., Chlieh, M. et al. (2014). Motion of continental slivers and creeping subduction in the northern Andes. *Nature Geosci* 7, 287-291. <https://doi.org/10.1038/ngeo2099>
- Parasnis, D. (1986). Principles of Applied Geophysics (Fourth ed.). London: Chapman and Hall. doi:10.1007/978-94-009-4113-7
- Pratt, W. T., Duque, P., and Ponce, M. (2005). An autochthonous geological model for the eastern Andes of Ecuador. *Tectonophysics*, 399(1), 251-278.
- Pérez, C. (2017). Modelamiento e interpretación de datos magnéticos y gravimétricos en la caracterización de un depósito tipo IOCG. Tesis de maestría, Universidad de Chile.
- Reyes, P. (2006). El complejo pfiolítico Peltetec y su relación con las unidades metamórficas Jurásicas de la Cordillera Real. Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Reynaud, C., Jaillard, É., Lapierre, H., Mamberti, M., and Mascle, G. H. (1999). Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America. *Tectonophysics*, 307(3), 235-254.
- Seigel H. O. (1995). A guide to high precision land gravimeter surveys. Ontario-Canada.
- Spikings, R. A., Winkler, W., Seward, D., and Handler, R. (2001). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian

- Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 186(1), 57-73.
- Spikings, R., Cochrane, R. V., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., y Beate, B. (2014). The geological history northwestern South America: from Pangea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province. *Gondwana Research*.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. (Cambridge, Ed.) Cambridge: Cambridge University Press.
- Toasa Vargas, A. A. (2011). Manejo de páramos y uso vertical de pisos ecológicos: estudio comparativo entre comuneros indígenas del Parque Nacional Cayambe Coca y hacendados del Parque Nacional Cotopaxi (Master's thesis, Quito: Flacso Ecuador).
- Tschopp, H. J. (1953). Oil explorations in the Oriente of Ecuador, 1938-1950. *AAPG Bulletin*, 37(10), 2303-2347.
- Velázquez, D. (2019). Modelación geológica-geofísica con uso de métodos potenciales de la estructura interna de La Caldera de Los Humeros, Puebla [Tesis de Maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C]. Repositorio de tesis IPICYT. <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/4998>
- Villares, F. (2010). Estudio Geovulcanológico de la zona sur de la caldera Chacana, provincias de Napo-Pichincha. Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito.

## **ANEXOS**



**Anexo 1. Valores de anomalía de Bouguer residual de la caldera de Chalupas**

Estación	Longitud (X)	Latitud (Y)	Elevación	Gravedad observada relativa (mgal)	Gravedad absoluta (mgal)	Gravedad teórica (mgal)	Corrección de aire libre (mgal)	Corrección de Bouguer (mgal)	Anomalía de aire libre (mgal)	Anomalía de Bouguer Simple (mgal)	Corrección topográfica (mgal)	Anomalía de Bouguer Residual (mgal)
CH-01.01	782797.10	9911130.30	3601.96	171.216	977086.177	978032.815	1111.565	402.770	164.93	-237.843	0.639	-237.204
CH-01.02	782885.60	9911540.20	3632.12	164.484	977079.047	978032.805	1120.873	406.142	167.11	-239.028	0.525	-238.503
CH-01.03	783390.90	9912231.40	3748.37	135.833	977050.396	978032.790	1156.747	419.141	174.35	-244.788	0.437	-244.351
CH-01.04	783966.30	9912245.20	3799.29	121.979	977036.542	978032.789	1172.461	424.835	176.21	-248.621	0.888	-247.733
CH-01.05	784306.60	9912091.60	3808.69	120.232	977034.795	978032.793	1175.361	425.886	177.36	-248.523	1.503	-247.020
CH-01.06	784688.50	9911901.70	3822.88	118.075	977032.638	978032.797	1179.741	427.473	179.58	-247.891	1.352	-246.539
CH-01.07	784905.30	9911696.90	3835.72	116.113	977031.073	978032.802	1183.704	428.909	181.98	-246.934	1.015	-245.918
CH-01.08	785259.00	9911348.50	3854.28	112.888	977027.451	978032.810	1189.432	430.984	184.07	-246.911	1.551	-245.361
CH-01.09	785841.80	9911259.30	3866.98	110.481	977025.044	978032.812	1193.350	432.404	185.58	-246.821	0.442	-246.380
CH-01.10	786584.80	9911072.00	3880.80	110.158	977024.721	978032.816	1197.616	433.950	189.52	-244.429	0.002	-244.427
CH-01.11	786997.20	9910981.00	3906.26	104.994	977019.638	978032.818	1205.473	436.797	192.29	-244.504	0.018	-244.485
CH-01.12	787236.00	9911026.40	3919.62	102.315	977016.959	978032.817	1209.594	438.290	193.74	-244.554	0.008	-244.546
CH-01.13	787402.20	9911109.20	3931.70	99.701	977014.345	978032.815	1213.322	439.641	194.85	-244.788	0.011	-244.778
CH-01.14	787568.50	9911295.40	3947.29	96.231	977010.875	978032.811	1218.132	441.384	196.20	-245.188	0.002	-245.185
CH-01.15	788205.00	9911495.10	3995.31	85.498	977000.143	978032.806	1232.953	446.754	200.29	-246.465	0.007	-246.458
CH-01.16	788379.90	9911577.60	4011.70	81.647	976996.291	978032.804	1238.009	448.586	201.50	-247.090	0.008	-247.082
CH-01.17	788783.10	9911806.70	4055.09	71.419	976986.063	978032.799	1251.401	453.439	204.66	-248.774	0.012	-248.762
CH-01.18	789350.10	9911645.90	4120.96	55.732	976970.376	978032.803	1271.728	460.804	209.30	-251.503	0.053	-251.450
CH-01.19	789314.10	9911389.90	4110.88	59.468	976974.112	978032.809	1268.618	459.677	209.92	-249.756	0.025	-249.731
CH-01.21	790042.70	9911417.10	4059.83	72.288	976986.932	978032.808	1252.862	453.968	206.99	-246.982	0.174	-246.808
CH-01.22	790548.90	9911444.70	4060.46	72.429	976987.073	978032.807	1253.059	454.039	207.32	-246.715	0.253	-246.462
CH-01.23	790741.10	9911086.80	4086.10	67.599	976982.243	978032.816	1260.970	456.906	210.40	-246.508	0.062	-246.447

CH-02.04	791097.90	9903745.50	3864.99	121.918	977036.878	978032.990	1192.737	432.182	196.62	-235.557	0.722	-234.835
CH-02.05	791265.50	9904048.20	3816.65	131.506	977046.467	978032.983	1177.817	426.776	191.30	-235.475	0.118	-235.357
CH-02.06	791499.00	9904469.40	3811.10	133.469	977048.429	978032.972	1176.105	426.155	191.56	-234.594	0.183	-234.411
CH-02.07	791921.00	9905230.40	3828.12	128.441	977043.401	978032.954	1181.357	428.059	191.80	-236.254	0.121	-236.133
CH-02.08	792262.00	9905845.80	3742.26	147.414	977062.374	978032.939	1154.860	418.458	184.30	-234.162	0.206	-233.956
CH-02.09	792520.40	9906311.90	3738.81	146.814	977061.775	978032.928	1153.796	418.072	182.64	-235.429	0.065	-235.364
CH-02.10	792724.50	9906680.30	3734.65	146.916	977061.877	978032.919	1152.514	417.608	181.47	-236.135	0.512	-235.623
CH-02.11	792995.60	9907169.10	3706.95	151.962	977066.923	978032.907	1143.964	414.510	177.98	-236.529	0.306	-236.224
CH-02.12	793327.60	9907768.20	3702.84	153.762	977068.722	978032.893	1142.695	414.050	178.52	-235.525	0.001	-235.524
CH-02.13	793499.50	9908077.90	3692.48	150.401	977065.362	978032.885	1139.499	412.892	171.98	-240.916	0.467	-240.449
CH-02.14	793764.70	9908556.30	3701.55	149.817	977064.778	978032.874	1142.298	413.906	174.20	-239.704	0.478	-239.226
CH-02.17	794545.30	9909886.60	3831.59	119.398	977034.358	978032.843	1182.428	428.447	183.94	-244.503	0.072	-244.432
CH-02.18	794866.00	9910143.00	3914.00	99.806	977014.767	978032.837	1207.861	437.662	189.79	-247.871	0.365	-247.507
CH-02.19	795055.50	9910345.80	3957.49	89.311	977004.271	978032.833	1221.281	442.525	192.72	-249.805	0.473	-249.332
CH-02.20	795347.30	9910536.20	3987.53	81.614	976996.574	978032.828	1230.551	445.884	194.30	-251.586	0.497	-251.089
CH-02.21	795739.60	9910906.30	4018.74	73.749	976988.710	978032.820	1240.182	449.374	196.07	-253.301	0.439	-252.862
CH-03.05	797136.00	9904188.80	3887.99	116.206	977031.166	978032.979	1199.833	434.753	198.02	-236.733	0.061	-236.673
CH-03.07	797172.00	9905163.80	3706.58	153.824	977068.785	978032.955	1143.850	414.468	179.68	-234.789	0.019	-234.770
CH-03.08	797204.00	9905454.20	3676.05	159.128	977074.088	978032.948	1134.430	411.055	175.57	-235.484	0.077	-235.407
CH-03.09-1	797217.50	9905702.20	3664.53	161.384	977076.345	978032.942	1130.874	409.766	174.28	-235.489	0.009	-235.481
CH-03.10	797258.90	9906471.80	3616.96	168.906	977083.866	978032.924	1116.194	404.447	167.14	-237.310	0.002	-237.308
CH-03.11	797283.60	9906931.60	3616.16	147.330	977085.379	978032.913	1115.945	404.357	168.41	-235.946	0.299	-235.646
CH-03.12	797307.10	9907369.00	3620.27	164.496	977079.456	978032.902	1117.215	404.817	163.77	-241.048	0.025	-241.024
CH-03.13	797345.70	9908087.90	3631.34	159.854	977074.814	978032.885	1120.631	406.055	162.56	-243.495	0.030	-243.465
CH-03.14	797366.70	9908477.30	3671.75	150.138	977065.099	978032.876	1133.102	410.574	165.32	-245.249	0.234	-245.015
CH-03.15	797387.70	9908862.70	3732.50	105.854	977054.886	978032.867	1151.851	417.367	173.87	-243.497	0.365	-243.132
CH-03.16	797419.90	9909467.30	3863.89	-	-	-	-	-	-	-247.885	1.080	-246.805
CH-03.17	797440.60	9909850.90	3878.24	-	-	-	-	-	-	-247.487	0.051	-247.436
CH-03.18	797467.60	9910347.30	3945.15	-	-	-	-	-	-	-249.931	0.094	-249.837

CH-03.20	797504.20	9911032.70	4159.87	-	-	-	-	-	-	-258.744	0.166	-258.578
CH-04.01	803633.90	9905154.30	3580.57	173.437	977122.469	978032.955	1104.963	400.378	194.48	-205.901	0.176	-205.725
CH-04.03	803046.00	9906005.20	3562.26	197.940	977112.901	978032.935	1099.312	398.330	179.28	-219.052	0.062	-218.990
CH-04.04	802749.30	9906434.20	3636.81	145.963	977094.994	978032.924	1122.320	406.667	184.39	-222.276	0.761	-221.515
CH-04.05	802464.90	9906845.70	3517.40	166.262	977115.294	978032.915	1085.469	393.314	167.85	-225.466	0.034	-225.432
CH-04.06	802159.80	9907287.60	3533.57	158.085	977107.117	978032.904	1090.460	395.123	164.67	-230.450	0.012	-230.438
CH-04.07	801896.50	9907668.30	3564.56	148.133	977097.165	978032.895	1100.023	398.588	164.29	-234.294	0.008	-234.286
CH-04.10	800993.00	9908976.20	3736.44	108.438	977057.470	978032.864	1153.066	417.807	177.67	-240.135	0.045	-240.090
CH-05.10	802082.90	9911956.70	3887.18	72.249	977021.281	978032.796	1199.583	434.663	188.07	-246.594	0.039	-246.555
CH-05.11	802613.50	9911495.30	3815.78	88.510	977037.542	978032.806	1177.551	426.679	182.29	-244.393	0.056	-244.337
CH-05.12	802985.50	9911171.40	3683.85	118.378	977067.410	978032.813	1136.836	411.927	171.43	-240.494	0.000	-240.494
CH-05.13	803348.00	9910856.40	3671.00	122.442	977071.474	978032.821	1132.871	410.490	171.52	-238.966	0.064	-238.901
CH-05.14	803633.10	9910608.40	3636.35	130.815	977079.847	978032.826	1122.177	406.615	169.20	-237.417	0.099	-237.318
CH-05.15	804116.40	9910187.90	3596.72	143.165	977092.197	978032.836	1109.946	402.183	169.31	-232.876	0.154	-232.722
CH-05.16	804529.30	9909828.60	3613.09	141.845	977090.877	978032.844	1114.998	404.014	173.03	-230.983	0.251	-230.731
CH-05.17	805102.30	9909330.60	3580.81	154.021	977103.053	978032.856	1105.037	400.404	175.23	-225.170	0.018	-225.152
CH-05.18	805370.10	9909097.70	3574.39	157.902	977106.933	978032.861	1103.057	399.687	177.13	-222.558	0.018	-222.540
CH-05.18.1	805526.90	9908961.10	3564.99	161.477	977110.508	978032.864	1100.157	398.636	177.80	-220.835	0.126	-220.709
CH-05.19	805697.20	9908812.80	3536.62	170.068	977119.100	978032.868	1091.400	395.463	177.63	-217.831	0.367	-217.463
CH-05.20	805956.10	9908588.00	3511.21	179.166	977128.197	978032.873	1083.561	392.623	178.88	-213.738	0.187	-213.551
CH-05.21	806380.40	9908239.10	3445.20	196.806	977145.837	978032.881	1063.189	385.241	176.15	-209.096	0.385	-208.710
CH-06.03	801966.60	9915389.20	4014.25	63.136	976997.146	978032.720	1238.798	448.872	203.22	-245.648	0.242	-245.406
CH-06.04	802424.50	9915321.00	3890.73	91.836	977025.846	978032.721	1200.679	435.060	193.80	-241.256	0.017	-241.240
CH-06.05	802836.30	9915259.60	3814.07	109.332	977043.342	978032.722	1177.023	426.488	187.64	-238.846	0.041	-238.805
CH-06.06	803324.20	9915187.00	3745.49	126.685	977060.695	978032.724	1155.858	418.819	183.83	-234.990	0.184	-234.806
CH-06.07	804328.50	9915037.60	3718.12	136.842	977070.852	978032.727	1147.412	415.759	185.54	-230.222	0.043	-230.179
CH-06.08	804803.10	9914966.90	3652.44	152.475	977086.485	978032.729	1127.144	408.415	180.90	-227.515	0.292	-227.222
CH-06.09	805367.10	9914883.30	3631.33	159.955	977093.965	978032.730	1120.627	406.053	181.86	-224.192	0.163	-224.028
CH-06.10	805799.30	9914818.70	3626.69	164.193	977098.203	978032.732	1119.198	405.535	184.67	-220.867	0.022	-220.845

CH-07.06	803336.20	9922117.80	3572.31	185.686	977101.379	978032.579	1102.416	399.455	171.22	-228.239	0.008	-228.231
CH-07.07	803079.10	9921709.70	3599.19	177.683	977093.375	978032.587	1110.710	402.460	171.50	-230.962	0.047	-230.915
CH-07.07-1	803007.20	9921595.40	3625.99	170.719	977086.412	978032.590	1118.981	405.457	172.80	-232.654	0.005	-232.649
CH-07.08	802805.30	9921275.00	3650.32	164.625	977080.317	978032.596	1126.489	408.177	174.21	-233.967	0.057	-233.910
CH-07.09	802519.40	9920812.80	3631.86	168.753	977086.006	978032.605	1120.792	406.113	174.19	-231.921	0.011	-231.909
CH-07.10	802267.00	9920419.90	3654.24	164.073	977081.326	978032.613	1127.699	408.616	176.41	-232.205	1.014	-231.191
CH-07.11	802027.30	9920039.20	3653.48	165.511	977082.764	978032.621	1127.464	408.531	177.61	-230.924	0.608	-230.316
CH-07.12	801765.30	9919622.80	3664.29	162.506	977079.759	978032.630	1130.799	409.739	177.93	-231.811	0.789	-231.023
CH-07.13	801493.30	9919191.10	3650.89	165.493	977082.746	978032.639	1126.665	408.241	176.77	-231.469	0.012	-231.456
CH-07.13-1	801367.30	9918990.80	3689.32	156.786	977074.039	978032.643	1138.525	412.539	179.92	-232.618	0.015	-232.603
CH-07.14	801232.30	9918776.30	3695.25	155.770	977073.023	978032.647	1140.355	413.202	180.73	-232.471	0.702	-231.769
CH-07.14-1	801024.10	9918446.00	3755.93	141.828	977059.081	978032.654	1159.081	419.987	185.51	-234.480	0.038	-234.442
CH-07.14-2	800771.40	9918044.50	3805.34	131.006	977048.258	978032.663	1174.327	425.511	189.92	-235.589	0.056	-235.532
CH-07.15	800681.00	9917901.00	3819.65	127.527	977044.779	978032.666	1178.742	427.111	190.86	-236.255	0.014	-236.241
CH-07.16	800414.30	9917477.60	3873.04	114.457	977031.709	978032.675	1195.220	433.082	194.25	-238.827	0.016	-238.811
CH-07.17	800153.80	9917063.70	3973.73	91.196	977008.449	978032.684	1226.294	444.341	202.06	-242.282	0.066	-242.216
CH-07.18	799811.30	9916635.10	4033.95	80.679	976993.055	978032.693	1244.877	451.075	205.24	-245.835	0.036	-245.799
CH-07.19	799538.80	9916300.90	3991.09	90.969	977003.345	978032.700	1231.652	446.283	202.30	-243.986	0.040	-243.946
CH-07.20	799212.80	9915900.90	4041.21	79.586	976991.962	978032.708	1247.119	451.887	206.37	-245.515	0.271	-245.244
CH-07.21	798873.10	9915484.60	4181.63	47.280	976959.656	978032.717	1290.450	467.588	217.39	-250.200	0.005	-250.194
CH-08.06	800366.40	9924400.50	3682.64	147.820	977063.433	978032.534	1136.463	411.791	167.36	-244.429	0.029	-244.401
CH-08.07	800312.20	9923861.70	3674.81	148.705	977064.319	978032.545	1134.047	410.916	165.82	-245.095	0.006	-245.089
CH-08.08	800256.80	9923310.60	3673.77	148.561	977064.175	978032.555	1133.724	410.799	165.34	-245.456	0.003	-245.452
CH-08.09-1	800206.40	9922806.90	3667.91	149.817	977065.430	978032.565	1131.918	410.145	164.78	-245.362	0.009	-245.352
CH-08.10	800162.90	9922373.50	3649.61	153.067	977070.159	978032.574	1126.269	408.098	163.85	-244.244	0.027	-244.216
CH-08.10-1	800137.30	9922119.30	3663.56	151.009	977066.410	978032.579	1130.574	409.657	164.40	-245.253	0.027	-245.226
CH-08.11	800118.70	9921933.40	3666.81	150.398	977065.799	978032.583	1131.578	410.021	164.79	-245.227	0.011	-245.216
CH-08.11-1	800084.10	9921587.00	3664.63	151.307	977066.708	978032.590	1130.905	409.778	165.02	-244.754	0.010	-244.744
CH-08.12	800076.30	9921509.90	3660.37	152.319	977067.720	978032.591	1129.591	409.302	164.72	-244.582	0.005	-244.577

CH-08.13	800026.50	9921016.00	3656.94	154.041	977069.443	978032.601	1128.530	408.917	165.37	-243.546	0.189	-243.357
CH-09.01	798135.90	9926334.20	3977.15	87.408	977004.500	978032.497	1227.347	444.723	199.35	-245.373	0.288	-245.085
CH-09.02	798129.20	9925873.40	3886.25	104.152	977021.244	978032.506	1199.296	434.559	188.03	-246.524	0.353	-246.171
CH-09.03	798121.10	9925341.40	3852.14	113.268	977030.359	978032.516	1188.771	430.745	186.61	-244.131	0.208	-243.923
CH-09.04	798113.40	9924818.60	3833.98	116.286	977033.377	978032.526	1183.167	428.714	184.02	-244.696	0.646	-244.050
CH-09.06	798098.30	9923779.70	3776.77	127.161	977044.252	978032.546	1165.512	422.317	177.22	-245.100	0.539	-244.560
CH-09.07	798091.20	9923287.30	3714.97	90.214	977056.957	978032.556	1146.441	415.407	170.84	-244.566	4.129	-240.437
CH-09.08	798083.50	9922775.80	3736.45	134.453	977051.545	978032.566	1153.067	417.808	172.05	-245.762	0.012	-245.750
CH-09.09	798078.70	9924219.50	3724.12	136.994	977054.086	978032.538	1149.262	416.429	170.81	-245.619	1.294	-244.325
CH-09.10	798070.60	9921889.70	3719.25	137.213	977054.304	978032.584	1147.761	415.885	169.48	-246.403	0.004	-246.400
CH-09.11	798063.50	9921421.00	3705.34	140.554	977057.645	978032.593	1143.469	414.330	168.52	-245.809	0.004	-245.805
CH-09.12	798055.50	9920861.30	3695.50	143.378	977060.469	978032.604	1140.431	413.229	168.30	-244.934	0.006	-244.928
CH-09.13	798048.10	9920358.10	3691.04	145.118	977062.128	978032.615	1139.054	412.730	168.57	-244.163	0.093	-244.071
CH-09.14	798032.90	9919331.80	3707.56	142.487	977059.708	978032.636	1144.154	414.578	171.23	-243.352	0.003	-243.350
CH-09.15	798026.50	9918894.80	3734.43	137.361	977054.582	978032.645	1152.444	417.582	174.38	-243.201	0.065	-243.136
CH-09.16	798018.70	9918365.20	3817.01	121.366	977038.588	978032.656	1177.928	426.816	183.86	-242.956	0.036	-242.921
CH-09.17	798011.90	9917901.40	3929.12	97.537	977014.758	978032.666	1212.525	439.352	194.62	-244.735	0.001	-244.734
CH-09.17-1	797945.50	9917451.70	4078.34	63.056	976980.277	978032.675	1258.574	456.038	206.18	-249.862	0.040	-249.822
CH-09.17-2	797944.50	9917389.30	4082.30	62.070	976979.291	978032.677	1259.797	456.481	206.41	-250.070	0.083	-249.987
CH-09.18	797962.20	9916920.00	3977.83	89.616	977006.837	978032.687	1227.560	444.800	201.71	-243.089	0.431	-242.658
CH-09.19	797979.50	9916449.10	3997.27	90.438	977002.681	978032.697	1233.558	446.973	203.54	-243.431	0.439	-242.992
CH-09.21	798020.30	9915364.70	4067.48	74.495	976986.737	978032.720	1255.225	454.824	209.24	-245.582	0.006	-245.576
CH-10.01	789110.50	9922225.50	4302.21	24.448	976927.158	978032.577	1327.661	481.071	222.24	-258.828	0.363	-258.465
CH-10.02*	789520.50	9921858.60	4219.41	43.599	976946.310	978032.584	1302.111	471.813	215.84	-255.977	0.443	-255.534
CH-10.03	789883.90	9921533.50	4174.22	54.107	976956.818	978032.591	1288.163	466.759	212.39	-254.370	1.059	-253.311
CH-10.05	790683.60	9920818.50	4056.80	80.903	976983.614	978032.605	1251.929	453.630	202.94	-250.692	1.791	-248.901
CH-10.06	791039.80	9920499.90	4029.35	87.185	976989.895	978032.612	1243.457	450.560	200.74	-249.819	1.656	-248.163
CH-10.07	791388.00	9920188.30	4001.35	54.493	976997.011	978032.618	1234.815	447.429	199.21	-248.221	0.559	-247.662
CH-10.08	791759.10	9919856.50	4012.48	51.436	976993.954	978032.625	1238.252	448.674	199.58	-249.094	0.803	-248.291

CH-10.09	792179.40	9919480.70	3961.94	64.468	977006.986	978032.633	1222.656	443.023	197.01	-246.014	1.319	-244.694
CH-10.10	792622.80	9919083.90	3933.26	72.602	977015.120	978032.641	1213.805	439.816	196.28	-243.532	0.474	-243.058
CH-10.11	793000.10	9918746.50	3917.54	76.746	977019.264	978032.648	1208.951	438.057	195.57	-242.490	0.682	-241.808
CH-10.11-1	793196.10	9918571.20	3911.13	78.181	977020.699	978032.652	1206.976	437.341	195.02	-242.319	0.731	-241.588
CH-10.12	793373.60	9918412.50	3900.34	80.789	977023.307	978032.655	1203.644	436.134	194.30	-241.838	0.002	-241.836
CH-10.13	793757.70	9918069.30	3879.43	86.231	977028.749	978032.662	1197.191	433.796	193.28	-240.519	0.003	-240.516
CH-10.14	794137.80	9917729.10	3865.78	89.846	977032.364	978032.669	1192.978	432.269	192.67	-239.597	0.018	-239.578
CH-10.15	794503.00	9917402.50	3869.92	90.433	977032.951	978032.676	1194.256	432.732	194.53	-238.202	0.003	-238.199
CH-12.04	792419.20	9911943.30	4037.78	111.277	977004.418	978032.796	1246.059	451.503	217.68	-233.822	0.006	-233.816
CH-12.05	792914.40	9912250.30	4025.63	112.010	977005.151	978032.789	1242.308	450.144	214.67	-235.474	0.062	-235.412
CH-12.06	793378.70	9912557.40	4055.12	104.740	976997.881	978032.782	1251.410	453.442	216.51	-236.933	0.292	-236.642
CH-12.07	793688.20	9912772.30	4061.79	103.897	976997.038	978032.777	1253.469	454.188	217.73	-236.459	0.003	-236.456
CH-13.01	794697.10	9917149.40	3891.79	126.146	977028.856	978032.682	1201.005	435.178	197.18	-237.998	0.001	-237.997
CH-13.02	794829.70	9916976.00	3897.87	85.842	977028.360	978032.685	1202.881	435.858	198.56	-237.302	0.005	-237.297
CH-13.03	795239.40	9916442.10	4022.61	57.197	976999.715	978032.697	1241.376	449.806	208.39	-241.412	0.004	-241.408
CH-14.03	791414.20	9912246.70	4067.04	101.990	976995.130	978032.789	1255.089	454.775	217.43	-237.344	0.435	-236.909
CH-14.04	791673.80	9912863.40	4039.43	107.587	977000.728	978032.775	1246.567	451.687	214.52	-237.168	0.041	-237.127
CH-14.05	791804.60	9913173.70	4059.05	101.888	976995.029	978032.768	1252.622	453.881	214.88	-238.999	0.078	-238.921
CH-14.06	791938.70	9913491.70	4026.22	108.571	977001.712	978032.761	1242.492	450.210	211.44	-238.768	0.190	-238.578
CH-14.07	792270.10	9914053.70	3973.39	120.614	977013.755	978032.749	1226.188	444.303	207.19	-237.109	0.080	-237.028
CH-14.10	792991.50	9915275.90	3936.92	112.134	977014.845	978032.722	1214.932	440.224	197.06	-243.169	0.009	-243.160
CH-14.12	793714.40	9916075.20	3915.89	117.579	977020.290	978032.705	1208.442	437.873	196.03	-241.846	0.010	-241.835
CH-14.13	794047.30	9916564.00	3910.28	119.342	977022.053	978032.694	1206.713	437.246	196.07	-241.175	0.016	-241.158
CH-14.14	794266.90	9916968.30	3901.20	122.022	977024.733	978032.686	1203.909	436.230	195.96	-240.274	0.006	-240.268
CH-14.14-1	794360.80	9917140.70	3905.21	122.046	977024.757	978032.682	1205.147	436.679	197.22	-239.457	0.003	-239.454
CH-15.01	795309.90	9907753.30	3638.95	140.785	977078.834	978032.893	1122.979	406.905	168.92	-237.986	0.256	-237.730
CH-15.02	794866.10	9908050.90	3648.18	158.754	977073.714	978032.886	1125.827	407.938	166.66	-241.282	0.209	-241.073
CH-15.03	794533.50	9908422.10	3665.44	154.930	977069.890	978032.877	1131.155	409.868	168.17	-241.700	0.322	-241.378
CH-15.04	794421.80	9908854.00	3684.76	154.529	977069.403	978032.867	1137.118	412.029	173.65	-238.375	0.805	-237.570

CH-15.05	794275.50	9909477.40	3731.38	142.429	977057.389	978032.853	1151.505	417.242	176.04	-241.200	0.171	-241.029
CH-15.06	794116.10	9909881.40	3773.54	102.596	977051.619	978032.843	1164.515	421.956	183.29	-238.665	0.030	-238.635
CH-15.07	793851.00	9910424.60	3809.91	129.718	977044.593	978032.831	1175.737	426.022	187.50	-238.523	0.395	-238.128
CH-15.08	793622.10	9910453.40	3819.11							-236.798	0.048	-236.750
CH-15.09	793128.70	9910597.80	3831.91	127.457	977042.331	978032.827	1182.527	428.483	192.03	-236.451	0.206	-236.245
CH-15.10	792605.50	9910668.90	3904.23	113.229	977028.103	978032.825	1204.846	436.570	200.12	-236.445	0.424	-236.022
CH-15.11	792240.60	9910468.70	3943.66	105.111	977019.985	978032.830	1217.015	440.979	204.17	-236.809	0.908	-235.901
CH-15.12	791887.80	9910738.50	3987.10	95.878	977010.752	978032.824	1230.418	445.836	208.35	-237.489	0.025	-237.463
CH-15.13	791246.70	9911135.10	4053.61	-	-	-	-	-	-	-243.054	0.169	-242.885
CH-15.15	790837.80	9910878.70	4084.74	68.450	976983.466	978032.820	1260.552	456.754	211.20	-245.557	0.000	-245.556
CH-15.A	795805.00	9907824.60	3640.41	125.961	977078.930	978032.891	1123.431	407.069	169.47	-237.600	0.262	-237.338
CH-15.A.1	796017.60	9907393.60	3628.74	142.985	977081.034	978032.902	1119.829	405.764	167.96	-237.803	0.023	-237.779
CH-15.A.3	796356.20	9906707.00	3618.50	132.316	977085.285	978032.918	1116.669	404.619	169.04	-235.583	0.097	-235.486
CH-15.A.4	796549.00	9906315.60	3640.81	128.340	977081.308	978032.927	1123.554	407.114	171.94	-235.179	0.282	-234.897
CH-15.A.5	796732.80	9905943.50	3656.84	160.490	977075.450	978032.936	1128.501	408.906	171.01	-237.892	0.059	-237.833
CH-16.01	797232.60	9905982.20	3645.55	129.803	977082.772	978032.935	1125.017	407.644	174.85	-232.791	0.060	-232.731
CH-16.02	797745.90	9906026.40	3639.02	132.564	977085.533	978032.934	1123.001	406.913	175.60	-231.314	0.065	-231.249
CH-16.03	798232.90	9906066.10	3619.71	137.387	977090.355	978032.933	1117.043	404.755	174.47	-230.289	0.042	-230.248
CH-16.04	798735.70	9906107.20	3606.26	140.755	977093.724	978032.932	1112.893	403.251	173.68	-229.567	0.095	-229.472
CH-16.05	799235.80	9906147.70	3594.88	142.950	977095.918	978032.931	1109.381	401.978	172.37	-229.611	0.006	-229.604
CH-16.06	799872.50	9906199.90	3592.77	142.032	977095.000	978032.930	1108.730	401.742	170.80	-230.942	0.026	-230.916
CH-16.07	800402.90	9906243.10	3547.97	150.108	977103.077	978032.929	1094.904	396.733	165.05	-231.681	0.014	-231.667
CH-18.05	804067.60	9912177.60	3632.58	146.262	977080.271	978032.791	1121.014	406.193	168.49	-237.699	0.225	-237.474
CH-18.06	804029.90	9912676.50	3641.17	144.412	977078.422	978032.779	1123.664	407.154	169.31	-237.847	0.250	-237.597
CH-18.07	803991.20	9913187.70	3644.25	144.487	977078.496	978032.768	1124.614	407.498	170.34	-237.155	0.837	-236.319
CH-18.08	803956.60	9913646.40	3663.52	141.262	977075.272	978032.758	1130.563	409.654	173.08	-236.576	0.098	-236.479
CH-18.09	803914.20	9914208.90	3677.08	139.574	977073.584	978032.745	1134.748	411.170	175.59	-235.584	0.815	-234.768
CH-18.10	803883.60	9914613.10	3702.77	135.567	977069.577	978032.736	1142.675	414.042	179.52	-234.527	0.217	-234.310
CH-18.11	803857.90	9915110.50	3735.19	131.438	977065.448	978032.726	1152.680	417.668	185.40	-232.265	0.070	-232.195

CH-18.13	803912.00	9916067.30	3744.04	132.401	977066.411	978032.705	1155.411	418.657	189.12	-229.540	0.088	-229.452
CH-19.06	795423.50	9921237.20	3802.88	101.046	977042.257	978032.597	1173.569	425.237	183.23	-242.008	0.471	-241.537
CH-19.06-1	795639.10	9921123.60	3791.89	104.165	977045.377	978032.599	1170.177	424.008	182.95	-241.053	1.143	-239.910
CH-19.07	795905.10	9920983.90	3779.38	107.448	977048.659	978032.602	1166.315	422.608	182.37	-240.236	0.129	-240.107
CH-19.08	796286.50	9920783.60	3770.50	108.192	977049.403	978032.606	1163.577	421.616	180.37	-241.242	0.169	-241.073
CH-19.09	796741.80	9920543.90	3758.35	108.869	977050.080	978032.611	1159.826	420.257	177.30	-242.962	0.003	-242.958
CH-19.10	797147.40	9920330.70	3732.62	112.663	977053.875	978032.615	1151.887	417.380	173.15	-244.234	0.014	-244.221
CH-19.11	797594.60	9920095.60	3699.23	119.944	977061.155	978032.620	1141.583	413.647	170.12	-243.529	0.045	-243.483
CH-19.11-1	797862.50	9919954.70	3704.10	118.731	977059.942	978032.623	1143.086	414.191	170.41	-243.786	0.010	-243.775
CH-19.12	798040.70	9919860.80	3699.47	144.154	977061.110	978032.625	1141.656	413.673	170.14	-243.531	0.003	-243.528
CH-19.19	800951.60	9918330.80	3774.24	137.852	977055.105	978032.657	1164.731	422.034	187.18	-234.855	0.058	-234.796
CH-19.20	801417.80	9918085.60	3748.12	160.249	977062.960	978032.662	1156.671	419.114	186.97	-232.145	0.012	-232.133
CH-19.21	801845.60	9917860.90	3758.37	159.738	977062.449	978032.667	1159.833	420.259	189.61	-230.645	0.211	-230.434
CH-19.22	802291.30	9917626.40	3758.62	160.859	977063.570	978032.672	1159.910	420.287	190.81	-229.479	0.063	-229.416
CH-19.22-1	802523.30	9917504.50	3761.26	161.209	977063.920	978032.674	1160.726	420.583	191.97	-228.611	0.046	-228.566
CH-19.23	802777.60	9917371.00	3721.66	169.882	977072.593	978032.677	1148.505	416.155	188.42	-227.734	0.192	-227.541
CH-19.24*	803194.20	9917151.60	3716.73	172.439	977075.149	978032.682	1146.983	415.603	189.45	-226.153	0.055	-226.098
CH-19.25	803632.50	9916921.40	3707.80	175.506	977078.217	978032.686	1144.228	414.605	189.76	-224.846	0.133	-224.713
CH-19.25-1	803771.10	9916848.40	3707.20	176.188	977078.899	978032.688	1144.041	414.537	190.25	-224.285	0.281	-224.004
CH-19.26	803950.50	9916754.00	3684.05	149.328	977083.338	978032.690	1136.897	411.949	187.54	-224.404	0.591	-223.814
CH-20.01	796778.60	9917787.50	3836.40	97.196	977039.714	978032.668	1183.913	428.985	190.96	-238.025	0.017	-238.009
CH-20.02	795281.20	9918119.10	3831.20	97.723	977040.241	978032.661	1182.308	428.403	189.89	-238.516	0.011	-238.505
CH-20.03	795658.90	9918466.50	3814.75	99.474	977041.992	978032.654	1177.230	426.563	186.57	-239.995	0.002	-239.993
CH-20.03-1	796129.30	9918586.10	3813.88	98.752	977041.418	978032.651	1176.962	426.466	185.73	-240.737	0.023	-240.715
CH-20.04	796188.20	9918812.30	3793.53	101.882	977044.548	978032.647	1170.683	424.191	182.58	-241.607	0.013	-241.594
CH-20.05	796448.50	9918959.60	3774.51	104.717	977047.383	978032.644	1164.815	422.065	179.55	-242.510	0.040	-242.470
CH-20.06	796901.60	9919216.00	3732.58	111.933	977054.598	978032.638	1151.874	417.376	173.83	-243.541	0.004	-243.537
CH-20.07	797271.00	9917581.80	3722.51	113.756	977056.421	978032.673	1148.768	416.250	172.52	-243.733	0.048	-243.685
CH-20.08	797619.10	9919622.20	3707.00	116.876	977059.541	978032.630	1143.981	414.516	170.89	-243.623	0.012	-243.611



CH-21.11-1	791809.40	9928079.70	4036.47	83.040	976976.181	978032.464	1245.655	451.356	189.37	-261.986	0.011	-261.974
CH-21.12	791890.30	9927769.80	4014.09	89.501	976982.642	978032.470	1238.748	448.854	188.92	-259.934	0.387	-259.547
CH-21.13	792014.40	9927276.10	4010.98	91.845	976984.986	978032.479	1237.788	448.506	190.29	-258.212	0.522	-257.689
CH-21.14	792142.90	9926765.90	4021.69	17.344	976984.087	978032.489	1241.094	449.704	192.69	-257.012	0.384	-256.628
CH-21.15	792286.10	9926196.00	4036.88	87.687	976980.828	978032.500	1245.781	451.402	194.11	-257.293	0.234	-257.059
CH-21.16	792393.60	9925768.70	4043.61	86.487	976979.628	978032.508	1247.859	452.155	194.98	-257.176	0.700	-256.476
CH-21.17	792486.50	9925399.80	4022.18	89.475	976982.616	978032.515	1241.243	449.758	191.34	-258.414	1.193	-257.221
CH-21.18	792573.90	9925052.40	3988.01	100.591	976993.732	978032.522	1230.699	445.937	191.91	-254.028	1.976	-252.053
CH-21.18-1	792649.20	9924751.80	4025.67	92.389	976985.530	978032.527	1242.321	450.149	195.32	-254.825	0.443	-254.382
CH-21.19	792732.60	9924421.10	4013.66	96.076	976989.217	978032.534	1238.617	448.806	195.30	-253.507	1.701	-251.805
CH-21.20	792859.20	9923918.50	3965.59	108.022	977001.162	978032.544	1223.780	443.430	192.40	-251.032	1.051	-249.981
CH-21.21	792987.90	9923405.70	4026.15	93.489	976986.630	978032.554	1242.470	450.203	196.55	-253.656	0.458	-253.198
CH-25.01	806275.20	9908331.40	3445.20	196.254	977145.286	978032.879	1063.189	385.241	175.60	-209.645	0.045	-209.600
CH-25.02	805996.40	9908223.70	3454.59	192.246	977141.278	978032.882	1066.086	386.291	174.48	-211.808	0.206	-211.602
CH-25.03	805152.60	9907897.20	3484.47	181.562	977130.593	978032.890	1075.307	389.632	173.01	-216.621	0.019	-216.602
CH-25.04	804418.40	9907972.70	3484.92	173.617	977122.649	978032.888	1075.445	389.682	165.21	-224.475	0.056	-224.419
CH-25.05	804131.10	9908086.00	3496.86	167.702	977116.733	978032.885	1079.132	391.018	162.98	-228.038	0.081	-227.957
CH-25.06	803530.80	9908574.60	3505.20	161.085	977110.117	978032.874	1081.706	391.951	158.95	-233.001	0.118	-232.883
CH-25.07	803428.90	9908902.60	3520.35	156.459	977105.491	978032.866	1086.380	393.644	159.00	-234.640	0.213	-234.427
CH-25.08	803243.30	9909316.80	3524.15	154.334	977103.366	978032.856	1087.551	394.068	158.06	-236.008	0.058	-235.950
CH-25.09	802813.20	9908941.50	3492.00	147.036	977096.068	978032.865	1077.631	390.474	140.83	-249.640	0.076	-249.565
CH-25.11	802281.10	9908194.60	3570.50	142.947	977091.979	978032.883	1101.855	399.252	160.95	-238.300	0.047	-238.253
CH-25.12	802062.20	9907872.00	3570.22	143.350	977092.382	978032.890	1101.768	399.220	161.26	-237.960	0.056	-237.904
CH-25.13	801863.90	9907587.80	3562.23	145.494	977094.526	978032.897	1099.304	398.327	160.93	-237.394	0.013	-237.381
CH-25.14	801682.30	9907492.60	3568.35	144.166	977093.197	978032.899	1101.192	399.011	161.49	-237.521	0.082	-237.439
CH-25.15	801341.90	9907438.80	3582.52	141.073	977090.105	978032.900	1105.566	400.596	162.77	-237.826	0.051	-237.774
CH-25.16	801135.80	9907412.50	3586.07	140.153	977089.185	978032.901	1106.662	400.993	162.95	-238.047	0.084	-237.962
CH-25.17	800858.90	9907493.50	3579.79	136.804	977085.835	978032.899	1104.724	400.291	157.66	-242.631	0.023	-242.608
CH-25.18	800507.40	9907531.30	3596.56	136.561	977085.593	978032.898	1109.898	402.166	162.59	-239.573	0.016	-239.557

CH-25.19	800144.30	9907703.90	3598.36	135.222	977084.253	978032.894	1110.453	402.367	161.81	-240.554	0.108	-240.446
CH-25.20	800025.40	9908020.60	3613.67	130.550	977079.582	978032.887	1115.180	404.080	161.88	-242.204	0.183	-242.022
CH-25.21	800037.60	9908594.50	3636.98	124.794	977073.826	978032.873	1122.372	406.686	163.32	-243.361	0.397	-242.964
CH-25.22	799699.40	9909043.80	3775.00	121.100	977036.060	978032.863	1164.965	422.119	168.16	-253.956	0.089	-253.867
CH-25.23	799119.10	9908881.30	3652.59	120.102	977069.134	978032.866	1127.189	408.431	163.46	-244.975	0.021	-244.953
CH-25.24	798758.70	9909002.90	3682.80	113.369	977062.401	978032.864	1136.511	411.809	166.05	-245.760	0.052	-245.708
CH-25.25	798382.40	9908887.90	3708.04	108.746	977057.778	978032.866	1144.301	414.632	169.21	-245.419	0.450	-244.969
CH-25.26	798002.50	9908885.70	3725.62	105.926	977054.958	978032.866	1149.726	416.597	171.82	-244.779	0.121	-244.658
CH-25.27	797628.00	9908767.30	3744.89	103.197	977052.229	978032.869	1155.673	418.752	175.03	-243.719	0.134	-243.586
CH-25.28	797263.00	9908842.20	3725.62	107.174	977056.205	978032.867	1149.726	416.597	173.06	-243.533	0.166	-243.367
CH-25.29	796998.30	9909075.40	3726.93	106.816	977055.848	978032.862	1150.131	416.744	173.12	-243.627	0.336	-243.291
CH-25.30	796572.10	9909304.40	3736.46	104.323	977053.355	978032.857	1153.072	417.810	173.57	-244.239	0.615	-243.624
CH-25.31	795984.60	9909382.50	3742.35	103.544	977052.576	978032.855	1154.890	418.469	174.61	-243.857	0.186	-243.670
CH-25.32	795640.00	9909469.70	3754.08	101.339	977050.371	978032.853	1158.510	419.780	176.03	-243.752	0.656	-243.096
CH-25.33	795266.30	9909643.90	3777.18	97.453	977046.485	978032.849	1165.637	422.363	179.27	-243.090	0.059	-243.031
CH-25.34	795028.50	9909751.10	3786.01	96.299	977045.331	978032.846	1168.363	423.350	180.85	-242.503	0.394	-242.108
XD-12	802665.10	9923343.40	3593.23	127.987	977090.818	978032.555	1108.870	401.793	167.13	-234.660	0.009	-234.651
CH-VT.01	802519.80	9922965.40	3598.96	176.553	977088.929	978032.562	1110.638	402.434	167.00	-235.430	0.008	-235.421
CH-VT.02	802352.30	9922357.50	3606.12	174.054	977086.430	978032.574	1112.848	403.235	166.70	-236.531	0.009	-236.523
CH-VT.03	802688.80	9922088.00	3586.73	181.761	977094.137	978032.580	1106.865	401.067	168.42	-232.645	0.051	-232.594
CH-VT.04	802246.90	9921528.30	3596.08	178.863	977091.239	978032.591	1109.752	402.113	168.40	-233.713	0.009	-233.704
CH-VT.05	801873.30	9921224.50	3605.75	175.357	977087.733	978032.597	1112.733	403.193	167.87	-235.324	0.054	-235.269
CH-VT.06	801478.90	9920934.60	3615.18	171.468	977083.844	978032.603	1115.646	404.248	166.89	-237.361	0.012	-237.349
CH-VT.07	801035.60	9920631.80	3620.31	119.632	977082.463	978032.609	1117.228	404.822	167.08	-237.740	0.020	-237.720
CH-VT.08	800424.80	9920615.50	3631.99	114.719	977077.550	978032.609	1120.831	406.127	165.77	-240.356	0.030	-240.326
CH-VT.09	799905.30	9920555.00	3646.61	110.713	977073.544	978032.611	1125.344	407.762	166.28	-241.486	0.040	-241.445
CH-VT.10	799261.90	9920295.30	3660.16	152.426	977069.860	978032.616	1129.527	409.278	166.77	-242.508	0.007	-242.501
CH-VT.11	798782.20	9920162.50	3671.11	155.051	977067.268	978032.619	1132.904	410.502	167.55	-242.949	0.017	-242.932