UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y AGUA
CARRERA DE GEOCIENCIAS

Imagen del splay de la falla Tálag utilizando el método de tomografía de resistividad eléctrica en la planta de tratamiento de agua potable Kawsay Yaku, Alto Tena, Napo, Ecuador.

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:

INGENIERA EN GEOCIENCIAS

AUTOR: ADRIANA VALERIA CELI MELO

TUTOR: PhD. JOSÉ SEBASTIAN ARAUJO SORIA

Tena-Ecuador
2026

Carrera de Geociencias

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad

Tena, 07 de Septiembre de 2026

De mi consideración:

Yo, Adriana Valeria Celi Melo con documento de identidad 1600759797, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título:"**Imagen del splay de la falla Tálag utilizando el método de tomografía de resistividad eléctrica en la planta de tratamiento de agua potable Kawsay Yaku, Alto Tena, Napo, Ecuador."**, son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en el presente documento, son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Por la favorable atención a la presente, suscribo de usted,

Atentamente,

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
ADRIANA VALERIA CELI MELO

Adriana Valeria Celi Melo
CI: 160759797

Carrera de Geociencias

Autorización de publicación en el repositorio institucional

Tena, 07 de Septiembre de 2026

Yo, Adriana Valeria Celi Melo, con documento de identidad 1600759797en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**Imagen del splay de la falla Tálag utilizando el método de tomografía de resistividad eléctrica en la planta de tratamiento de agua potable Kawsay Yaku, Alto Tena, Napo, Ecuador.",** de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Atentamente,

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
ADRIANA VALERIA
CELI MELO

Adriana Valeria Celi Melo
CI:1600759797

Carrera de Geociencias

Certificado de dirección de trabajo de titulación

Tena, 07 de Septiembre de 2026

Certifico que el trabajo de titulación: "**Imagen del splay de la falla Tálag utilizando el método de tomografía de resistividad eléctrica en la planta de tratamiento de agua potable Kawsay Yaku, Alto Tena, Napo, Ecuador."**, aprobado bajo el mecanismo de titulación de: Tesis, fue realizado por Adriana Valeria Celi Melo, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiam, para su entrega y defensa.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JOSE SEBASTIAN ARAUJO SORIA

Tutor
PhD. José Sebastián Araujo Soria
C.I: 181802672871

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Regional Amazónica Ikiam y a los docentes de la carrera de Geociencias, por los conocimientos impartidos y por contribuir a mi formación profesional y personal.

A mi director de tesis, Sebastián Araujo, por su valiosa colaboración en el desarrollo de esta investigación. Su orientación, dedicación, tiempo y constante apoyo fueron fundamentales durante la ejecución de este trabajo.

De manera especial, agradezco a quienes participaron en las actividades de campo y procesamiento de datos, cuya colaboración fue fundamental para el desarrollo de esta investigación.

A todos ustedes, mi más profunda gratitud.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mi pequeña hija Valeria, por ser mi norte, mi inspiración y la razón que da sentido a cada esfuerzo realizado. Tu amor y tu presencia son la motivación que me impulsa a seguir adelante y a alcanzar cada una de mis metas. Cada logro obtenido tiene como propósito brindarte un mejor futuro y demostrarte que la constancia, la dedicación y el esfuerzo son el camino para hacer realidad los sueños.

A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y su apoyo constante a lo largo de mi formación académica. Gracias por sus enseñanzas, por la confianza que siempre depositaron en mí y por acompañarme en cada paso de este proceso. Este logro también les pertenece.

A Paul, mi compañero de vida y de metas, gracias por ser mi apoyo incondicional, por creer en mí y por acompañarme en este camino. A pesar de la distancia, siempre has estado presente brindándome tu apoyo, comprensión y fortaleza. Gracias por cada esfuerzo realizado y por motivarme a seguir adelante cuando más lo necesitaba.

A mis compañeras de carrera, con quienes compartí experiencias, aprendizajes, desafíos y momentos inolvidables durante esta etapa universitaria. Gracias por su amistad, compañerismo y apoyo mutuo, que hicieron este recorrido más enriquecedor y significativo.

Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de esta importante etapa de mi vida profesional. Su apoyo y confianza fueron una fuente constante de motivación para alcanzar este objetivo.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA
DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD..... ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL..... iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO TITULACIÓN..... iv
AGRADECIMIENTOS..... v
DEDICATORIA..... vi
ÍNDICE DE TABLAS..... ix
ÍNDICE DE FIGURAS..... x
RESUMEN..... xi
ABSTRACT..... xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN
1.1 Antecedentes..... 1
1.1.1 ***Contexto tectónico del Ecuador***..... 1
1.1.2 ***Sistema de Falla Puná-Pallatanga-Cosanga-Chingual***..... 2
1.1.3 ***Falla Tálag***..... 4
1.1.3.1 Splay de falla..... 5
1.1.4 ***Fundamentos de la Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)***..... 6
1.1.4.1 *Resistividad eléctrica*..... 6
1.1.4.2 *Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)*..... 8
1.1.4.3 *Arreglo Gradiente XL*..... 9
1.2 Planteamiento del problema..... 10
1.3 Justificación de la investigación..... 11
1.4 Objetivos de la investigación..... 13
1.4.1 ***Objetivo General***..... 13
1.4.2 ***Objetivos específicos***..... 13
1.5 Marco Geológico..... 14
1.5.1 ***Geología regional***..... 14
1.5.2 ***Geología Local***..... 15
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA
2.1 Área de estudio..... 17
2.2 Descripción de la metodología..... 18
2.3 Materiales..... 19
2.4 Diseño de la línea eléctrica..... 19
2.5 Adquisición de datos de resistividad..... 22
2.6 Procesamiento e interpretación de datos..... 23
CAPÍTULO III. RESULTADOS
3.1 Resultados de la Tomografía eléctrica..... 27
3.1.1 ***Interpretación de la distribución lateral***..... 27
3.1.2 ***Distribución vertical de unidades de resistividad***..... 29
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN
4.1 Interpretación de las variaciones laterales y verticales de resistividad...... 31

4.2 Interpretación de las unidades geoeléctricas…… 32
4.3 Interpretación de la anomalía resistiva y su posible relación con una Estructura Tectonica Tectónica…… 33
4.4 Integración de la tomografía sísmica Vp y la tomografía eléctrica…… 35
4.5 Interpretación de la zona conductiva y presencia de agua…… 38
4.6 Ventajas, limitaciones e incertidumbres de la tomografía eléctrica…… 39
CAPÍTULO V.
CONCLUSIÓN…… 40
Referencias Bibliográficas

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Mapa Geológico de la Zona de Estudio…….. 25

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	**Mapa Geológico de la Zona de Estudio**……	16
Figura 2-1	**Ubicación del área de estudio**……	18
Figura 2-2	**Topografía y disposición de las secciones de conexión de cables**……	21
Figura 2-3	**Etapas del trabajo de campo para adquisición de datos ERT**……	22
Figura 2-4	**Malla de discretización**……	24
Figura 2-5	**Histograma y gráficos de dispersión de los datos filtrados**……	26
Figura 3-1	**Modelo bidimensional de resistividad eléctrica lateral**……	28
Figura 3-2	**Modelo vertical de resistividad**……	29
Figura 4-1	**Evidencia de conglomerados correspondientes a la Unidad 2**……	33
Figura 4-2	**Modelo de velocidades de onda P**……	36
Figura 4-3	**Afloramiento de agua en la zona de estudio**……	38

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar el subsuelo en el área de influencia del splay de la falla Tálag, ubicado en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Colonso-Chalupas, provincia de Napo. Debido a la limitada información disponible sobre las características subsuperficiales de esta estructura tectónica, se empleó la Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT) como método geofísico complementario a estudios sísmicos previos. La adquisición de datos se realizó mediante una línea de tomografía eléctrica de 84 m de longitud utilizando un arreglo Gradient XL. Los datos obtenidos fueron procesados e invertidos mediante el software Res2DInv, aplicando una inversión robusta basada en la norma L1 para resaltar contrastes de resistividad asociados a cambios estructurales y litológicos. Los resultados permitieron identificar variaciones laterales y verticales de resistividad que reflejan diferencias en las propiedades físicas de los materiales del subsuelo. Se reconocieron anomalías compatibles con la presencia de una estructura asociada al splay de la falla Tálag, además de zonas de fracturación, posibles cambios litológicos y sectores de baja resistividad relacionados con materiales saturados por agua. La comparación con información sísmica previa evidenció correspondencia entre las principales anomalías detectadas, fortaleciendo la interpretación geológica del área. Se concluyó que la Tomografía de Resistividad Eléctrica constituye una herramienta eficaz para la caracterización de estructuras tectónicas someras, aportando información complementaria para la comprensión de las condiciones geológicas del subsuelo y de la posible expresión subsuperficial del splay de la falla Tálag.

Palabra claves: geociencias, tomografía de resistividad eléctrica (ERT), *splay* de falla, falla Tálag, caracterización del subsuelo, resistividad eléctrica, tectónica activa**.**

ABSTRACT

The present research aimed to characterize the subsurface in the area of influence of the Tálag fault splay, located in the buffer zone of the Colonso-Chalupas Biological Reserve, Napo Province. Due to the limited information available on the subsurface characteristics of this tectonic structure, Electrical Resistivity Tomography (ERT) was employed as a geophysical method complementary to previous seismic studies. Data acquisition was carried out along an 84 m long electrical tomography line using a Gradient XL array. The obtained data were processed and inverted using the RES2DINV software, applying a robust inversion based on the L1 norm to highlight resistivity contrasts associated with structural and lithological changes. The results allowed the identification of lateral and vertical resistivity variations that reflect differences in the physical properties of the subsurface materials. Anomalies compatible with the presence of a structure associated with the Tálag fault splay were recognized, as well as fractured zones, possible lithological changes, and low-resistivity sectors related to water-saturated materials. Comparison with previous seismic information evidenced correspondence between the main detected anomalies, strengthening the geological interpretation of the area. It was concluded that Electrical Resistivity Tomography constitutes an effective tool for the characterization of shallow tectonic structures, providing complementary information for understanding the geological conditions of the subsurface and the possible subsurface expression of the Tálag fault splay.
Keywords: geosciences, electrical resistivity tomography (ERT), fault splay, Tálag fault, subsurface characterization, electrical resistivity, active

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.1.1 Contexto tectónico del Ecuador

Ecuador se localiza en el margen noroccidental de América del Sur, donde la subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana genera un entorno tectónico compresivo clave en la formación de los Andes. Esta interacción produce tensiones y deformaciones responsables de la alta actividad sísmica y volcánica del país con eventos frecuentes de diferentes intensidades tanto en la zona de subducción como en el interior del país (Alvarado et al., 2016). Como resultado, en la Costa y la Cordillera Occidental predominan fallas inversas con buzamiento hacia el oeste, mientras que en la Cordillera Oriental estas estructuras se inclinan hacia el este, desplazándose sobre la plataforma estable de la Cuenca Oriente (Steinmann et al., 1999).

La Astilla Norandina es un fragmento de la placa superior en Ecuador y Colombia, formado en la etapa más reciente de la evolución de los Andes del Norte debido a la interacción entre la fosa de subducción y el cratón sudamericano (Alvarado et al., 2016) (Nocquet et al., 2014). Su desplazamiento hacia el NE es consecuencia de la convergencia oblicua de la placa de Nazca con Sudamérica, lo que ha generado un sistema de fallas activas desde el Golfo de Guayaquil hasta la Cordillera Oriental (Alvarado, Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Équateur, 2012). La deformación en esta región se concentra en fallas principales que delimitan la Astilla Norandina, provocando la migración progresiva de su límite oriental y la reactivación de estructuras antiguas, lo que define un dominio tectónico propio. Este proceso de fragmentación y extrusión permite la acomodación de la

convergencia entre las placas, estableciendo un límite tectónico dinámico y en constante evolución (Alvarado et al., 2016).

Dentro de este contexto geodinámico regional se desarrollan diversos sistemas de fallas activas que controlan la deformación tectónica de la región amazónica ecuatoriana, entre ellos el sistema Puná–Pallatanga–Cosanga–Chingual, donde se localiza el área de estudio.

Las fallas activas de la zona Subandina ecuatoriana desempeñan un papel fundamental en la acomodación de la deformación tectónica generada por la convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana. Estas estructuras permiten la transferencia de esfuerzos desde la Cordillera de los Andes hacia el piedemonte amazónico, controlando la evolución estructural y geomorfológica de la región (Baby et al., 2004) (Alvarado et al., 2016). Debido a su actividad durante el Neógeno y el Cuaternario, las fallas subandinas constituyen elementos clave para comprender la dinámica tectónica reciente y la distribución de la deformación cortical en el oriente ecuatoriano (Eguez et al., 2003) (Costa et al., 2020). Sin embargo, su caracterización resulta compleja debido a la densa cobertura vegetal, la presencia de depósitos sedimentarios recientes y la limitada expresión superficial de algunas estructuras, factores que dificultan su identificación y cartografía detallada (Costa et al., 2020). En este contexto, la aplicación de métodos geológicos y geofísicos permite complementar la información superficial y mejorar el conocimiento de la geometría y características subsuperficiales de estas fallas.

1.1.2 *Sistema de Falla Puná -Pallatanga-Cosanga –Chingual*

La Reserva Colonso-Chalupas se encuentra dentro del área de influencia del sistema tectónico Puná–Pallatanga–Cosanga–Chingual, una de las principales estructuras tectónicas del Ecuador debido a su amplia continuidad regional y extensión superior a 800 km, que se desarrolla desde el Golfo de Guayaquil hasta la Depresión Interandina (Alvarado, Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Équateur, 2012). Este

sistema constituye una zona activa de deformación asociada a la evolución tectónica del margen nororiental ecuatoriano y está conformado por diferentes segmentos de falla con características estructurales particulares (Ego et al., 1996).

Dentro del sistema Puná–Pallatanga–Cosanga–Chingual se encuentra el segmento Cosanga.Este segmento representa una estructura tectónica fundamental para comprender la evolución geológica de la región amazónica, debido a que corresponde a un antiguo sistema tectónico activo desde el Jurásico. Además, establece el límite entre las rocas metamórficas de la Cordillera Real y los dominios con menor grado de deformación pertenecientes a la Zona Subandina. Su traza presenta una orientación general norte–sur y se desarrolla a través del valle del río Cosanga, conectándose hacia el valle del río Quijos (Alvarado et al., 2016)

Desde el punto de vista estructural, el segmento Cosanga se caracteriza por un régimen principalmente compresivo, representado por una falla inversa con una componente secundaria de movimiento dextral (Alvarado, Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Équateur, 2012). Esta configuración se encuentra asociada a procesos deformacionales desarrollados durante el Cuaternario, los cuales favorecieron la reactivación del sistema tectónico y contribuyeron a la configuración estructural actual de la región (Lara Saavedra y Briones Vera, 2023). La actividad de esta estructura también se evidencia mediante expresiones geomorfológicas como facetas triangulares y crestas de obturación, asociadas a la interacción entre movimientos verticales y transcurrentes (Eguez et al., 2003). Asimismo, estudios estructurales han estimado para este segmento una longitud aproximada de 189 km, con un rumbo promedio de N28°E y una inclinación cercana a 40° (Beauval et al., 2018).

La actividad tectónica actual del sistema Puná–Pallatanga–Cosanga–Chingual se evidencia mediante tasas de deslizamiento estimadas entre 7 y 8 mm/año, reportadas en diferentes investigaciones sobre la deformación asociada a esta estructura regional (Alvarado,

Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Équateur, 2012) (Nocquet et al., 2014) (Alvarado et al., 2016) (Beauval et al., 2018). De manera específica, para el segmento Cosanga se han reportado velocidades de deslizamiento cercanas a 9 mm/año (Beauval et al., 2018), lo que indica que esta estructura mantiene actividad tectónica y representa un elemento relevante dentro del proceso de deformación continua del margen nororiental ecuatoriano.

La influencia del sistema Puná–Pallatanga–Cosanga–Chingual, particularmente del segmento Cosanga, se refleja en la evolución tectónica de la Cordillera Oriental y del piedemonte amazónico ecuatoriano, donde ha contribuido al desarrollo de la configuración estructural actual de la región (Beauval et al., 2018). Sin embargo, pese a la evidencia de actividad tectónica, la zona presenta escasos registros históricos de terremotos de gran magnitud, generando incertidumbre sobre los mecanismos mediante los cuales se acumula y libera la deformación tectónica. En este contexto, (Araujo et al., 2024) plantearon que parte de la energía sísmica acumulada en la región podría disiparse mediante eventos sísmicos de menor magnitud, evitando una acumulación prolongada de esfuerzos y reduciendo la probabilidad de ocurrencia de terremotos mayores. La comprensión de estos procesos requiere el estudio de estructuras tectónicas locales que participan en la acomodación de la deformación regional, entre las cuales se encuentra la falla Tálag.

1.1.3 *Falla Tálag*

La falla Tálag es una estructura tectónica cuaternaria ubicada en el piedemonte amazónico ecuatoriano, en las proximidades de la Reserva Biológica Colonso-Chalupas. Aunque se localiza espacialmente cerca del segmento Cosanga del sistema Puná–Pallatanga–Cosanga–Chingual, ambas corresponden a estructuras tectónicas diferentes. Mientras el segmento Cosanga presenta una cinemática compresiva–transpresiva asociada al desplazamiento de la Astilla Norandina, la falla Tálag ha sido interpretada principalmente como una estructura compresiva.

La falla Tálag ha sido descrita como una falla inversa ciega localizada en la base del Batolito de Abitagua, con una longitud aproximada de 15 km. Debido a la ausencia de una expresión superficial claramente definida, su traza no puede identificarse directamente en superficie, lo que ha limitado el conocimiento sobre su geometría y continuidad. Esta estructura fue incorporada en el marco del proyecto de Evaluación de Riesgos de Sudamérica (SARA) (Costa et al., 2020).

Debido a su carácter de falla ciega y a la ausencia de una expresión superficial claramente definida, existe información limitada sobre su geometría, continuidad y características internas. Asimismo, los registros disponibles sobre su posible actividad reciente son escasos, lo que dificulta una evaluación detallada de su comportamiento tectónico y de su papel en la distribución de la deformación regional.

1.1.3.1 Splay de falla

La limitada caracterización de la falla Tálag, debido a su naturaleza de falla ciega, plantea la necesidad de identificar estructuras asociadas que permitan comprender mejor la distribución de la deformación en el subsuelo. Entre estas estructuras destacan las fallas *splay*, las cuales corresponden a ramificaciones secundarias que se desarrollan a partir de una falla principal y permiten la transferencia de deformación tectónica hacia niveles más superficiales de la corteza (Conin et al., 2012). Estas estructuras pueden originarse como respuesta a la propagación de esfuerzos y a la reactivación de discontinuidades preexistentes, desempeñando un papel importante en la configuración geométrica y evolución de sistemas de fallas complejos. Su identificación contribuye a comprender la distribución de la deformación y la arquitectura interna de zonas tectónicamente activas (Collot et al., 2008) (Pastén-Araya et al., 2021).

En la Reserva Colonso-Chalupas, (Araujo et al., 2024) realizaron un estudio de tomografía sísmica e identificaron una discontinuidad estructural interpretada como un posible *splay*

frontal asociado a la falla Tálag. Los resultados sugieren la presencia de una estructura inversa que se propaga desde profundidad hacia niveles más someros, generando una zona de deformación que podría corresponder a la ramificación de la falla principal. Esta interpretación constituye una de las primeras evidencias geofísicas de una estructura potencialmente asociada a la falla Tálag en el área de estudio; sin embargo, debido a que se basa en información geofísica indirecta y a la escasa información disponible sobre esta estructura, resulta necesario complementar su análisis mediante métodos adicionales que permitan evaluar sus características internas.

La caracterización de estructuras tectónicas con escasa expresión superficial requiere la aplicación de métodos indirectos que permitan obtener información sobre las condiciones del subsuelo. Entre las propiedades físicas utilizadas en estudios geofísicos, la resistividad eléctrica constituye un parámetro fundamental para diferenciar materiales y reconocer variaciones asociadas a cambios litológicos, zonas de fracturamiento, alteración o presencia de fluidos. Debido a que estas variaciones pueden reflejar características internas del terreno, la medición de la resistividad eléctrica mediante técnicas como la tomografía de resistividad eléctrica (ERT) permite obtener información sobre la distribución espacial de las propiedades del subsuelo y aportar nuevos elementos para la interpretación de estructuras tectónicas como el *splay* de la falla Tálag.

1.1.4 Fundamentos de la Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

1.1.4.1 Resistividad eléctrica.

La resistividad eléctrica es una propiedad física intrínseca de los materiales que expresa su oposición al paso de la corriente eléctrica (Karhunen et al., 2010). Al tratarse de una propiedad intensiva, su valor depende de las características internas del material y no de su tamaño, forma o masa. En estudios geofísicos, la resistividad constituye un parámetro fundamental para diferenciar materiales del subsuelo, debido a que cada tipo de roca o

suelo presenta una respuesta eléctrica particular (Loke, Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2010) (Berlanga, 2013).

Los valores de resistividad de los materiales están condicionados por diversos factores, entre los que destacan la composición litológica, la mineralogía, la textura, la porosidad, el grado de saturación, la salinidad de los fluidos presentes en los poros, la temperatura y la presencia de minerales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico (Reynolds, 2011) (Andrade y D'Andrea, 2011). En los materiales geológicos, la conducción eléctrica ocurre principalmente a través de los fluidos contenidos en los espacios porosos y, en menor medida, mediante minerales conductores. Por ello, materiales con mayor contenido de humedad o presencia de arcillas suelen presentar menores valores de resistividad, mientras que materiales secos, compactos o con baja conectividad de poros tienden a presentar valores elevados.

Estas variaciones permiten identificar contrastes eléctricos asociados a cambios litológicos, zonas de fracturamiento, alteración o presencia de fluidos. En los estudios de tomografía eléctrica, las mediciones obtenidas en superficie corresponden a valores de resistividad aparente, los cuales dependen de las propiedades del subsuelo y de la configuración geométrica del arreglo de electrodos. Mediante procesos de inversión matemática, estos datos permiten generar modelos de distribución de resistividades en profundidad (Pinto-Llona y Aracil Ávila, 2021).

Esta propiedad constituye la base física de métodos geofísicos como la Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT), utilizada para caracterizar estructuras geológicas y obtener información sobre las condiciones subsuperficiales del terreno**.**

1.1.4.2 Tomografía de resistividad eléctrica (ERT).

La Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT) es un método geofísico empleado para caracterizar las propiedades del subsuelo mediante la medición de la distribución espacial de la resistividad eléctrica de los materiales. Este parámetro representa la capacidad de un material para oponerse al paso de la corriente eléctrica y depende de factores como la composición litológica, el grado de fracturamiento, la saturación de fluidos y las condiciones físicas del medio. A partir de las variaciones de resistividad obtenidas en superficie, es posible generar modelos bidimensionales del subsuelo mediante procesos de adquisición de datos e inversión matemática, permitiendo interpretar características geológicas y estructurales del terreno (Loke, Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2010).

El funcionamiento de la ERT se basa en la inyección de una corriente eléctrica continua o de baja frecuencia al terreno mediante dos electrodos de corriente (C1 y C2), mientras que otros dos electrodos (P1 y P2) registran la diferencia de potencial generada por el flujo de corriente en el subsuelo. La relación entre la corriente aplicada (I) y la diferencia de potencial medida (ΔV) permite calcular la resistencia eléctrica mediante la Ley de Ohm; posteriormente, considerando la geometría del arreglo de electrodos, se obtiene la resistividad aparente mediante un factor geométrico (Seequent, 2023).

La repetición de estas mediciones a lo largo de un perfil permite construir una distribución bidimensional de resistividades, que mediante procesos de inversión matemática se transforma en un modelo representativo de las condiciones del subsuelo. Estos modelos permiten identificar contrastes asociados a cambios litológicos, zonas de fracturamiento, alteración o presencia de fluidos, por lo que la ERT ha sido ampliamente aplicada en estudios hidrogeológicos, mineros, geotécnicos y ambientales (Loke, Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2010) (Loke et al., 2013).

La selección de la configuración de adquisición representa un aspecto fundamental en la aplicación de la Tomografía de Resistividad Eléctrica, debido a que la distribución geométrica de los electrodos influye en la sensibilidad del método, la resolución espacial y la capacidad para identificar variaciones de resistividad asociadas a estructuras geológicas.

Por ello, la elección del arreglo electródico debe estar relacionada con el objetivo del estudio y las características de la estructura que se desea investigar.

1.1.4.3 Arreglo Gradiente XL

La adquisición de datos mediante tomografía de resistividad eléctrica requiere una configuración geométrica específica de los electrodos, denominada arreglo electródico, la cual controla la distribución de la corriente eléctrica en el subsuelo y la sensibilidad del método frente a variaciones laterales y verticales de resistividad. La selección del arreglo depende del objetivo geológico, la profundidad de investigación requerida y las características de la estructura que se desea identificar, debido a que cada configuración presenta diferentes niveles de resolución y sensibilidad en el modelo obtenido (Loke, Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2010) (Loke et al., Fast calculation of optimized electrode arrays for 2D resistivity surveys, 2010).

En el presente estudio se empleó el arreglo Gradient XL, debido a su capacidad para obtener una amplia cobertura de mediciones y una adecuada sensibilidad frente a variaciones laterales de resistividad. Estas características son particularmente importantes para la investigación del splay de la falla Tálag, debido a que esta estructura corresponde a una falla ciega con limitada expresión superficial, donde las variaciones eléctricas del subsuelo pueden aportar información sobre zonas fracturadas, cambios litológicos o discontinuidades estructurales (Aizebeokhai y Oyeyemi, 2014).

El arreglo Gradient XL se basa en la inyección de corriente eléctrica mediante dos electrodos de corriente, mientras que múltiples electrodos de potencial registran simultáneamente las diferencias de voltaje generadas en el subsuelo. Esta configuración permite adquirir un gran número de mediciones sin modificar la posición de los electrodos durante el levantamiento, optimizando el tiempo de adquisición y mejorando la cobertura espacial de los datos. La información obtenida permite construir modelos bidimensionales de resistividad mediante procesos de inversión matemática, facilitando la interpretación de contrastes asociados a variaciones geológicas y estructurales (Dahlin y Zhou, Multiple-gradient array

measurements for multichannel 2D resistivity imaging, 2006) (Dahlin y Zhou, Gradient and mid-point-referred measurements for multi-channel 2D resistivity imaging, 2002)

Una de las principales ventajas de esta configuración es su compatibilidad con sistemas multicanal, donde múltiples mediciones pueden ser registradas durante una misma inyección de corriente. Esto incrementa la eficiencia del levantamiento geofísico y permite obtener modelos con mayor cantidad de información subsuperficial, favoreciendo la identificación de estructuras geológicas mediante tomografía de resistividad eléctrica (Dahlin y Zhou, A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays, 2004).

Por estas características, el arreglo Gradient XL representa una configuración adecuada para estudios de tomografía eléctrica donde se requiere una cobertura eficiente del subsuelo y una distribución detallada de los valores de resistividad obtenidos durante la adquisición.

1.2 Planteamiento del problema

La falla Tálag constituye una de las estructuras tectónicas más importantes de la región amazónica ecuatoriana debido a su actividad y a su influencia en la configuración geológica del valle de Tena. Diversos estudios han identificado la presencia de estructuras secundarias asociadas a esta falla principal, entre ellas posibles *splay* de falla que afectan los depósitos cuaternarios superficiales y contribuyen a la deformación tectónica local. Sin embargo, el conocimiento sobre la geometría, extensión y características del subsuelo asociadas a estas estructuras sigue siendo limitado.

Si bien investigaciones previas han empleado métodos geofísicos, como la tomografía sísmica, para obtener información preliminar sobre las condiciones del subsuelo, aún no se dispone de modelos de resistividad eléctrica que permitan identificar con mayor detalle anomalías relacionadas con fracturas, zonas de alteración, contactos litológicos o posibles discontinuidades estructurales asociadas al *splay* de la falla Tálag. Esta ausencia de

información restringe la comprensión integral de la estructura geológica del área y dificulta la validación de interpretaciones tectónicas propuestas para la zona.

La caracterización de fallas y estructuras asociadas mediante observaciones directas de superficie presenta limitaciones debido a la cobertura vegetal, los procesos de meteorización intensa y la presencia de depósitos aluviales recientes que enmascaran las evidencias estructurales. Como consecuencia, resulta necesario recurrir a métodos geofísicos capaces de proporcionar información indirecta del subsuelo y complementar los estudios geológicos existentes.

La falta de una caracterización geoeléctrica detallada del área impide determinar con mayor certeza la relación entre las anomalías del subsuelo y la actividad tectónica asociada al *splay* de la falla Tálag. Este vacío de conocimiento limita el desarrollo de modelos geológicos y tectónicos más precisos para la región amazónica ecuatoriana y restringe el uso integrado de diferentes técnicas geofísicas para el análisis de estructuras activas.

En este contexto, surge la necesidad de aplicar tomografía eléctrica de resistividad (ERT) para obtener un modelo detallado de la distribución de resistividades en el subsuelo, identificar posibles anomalías asociadas al *splay* de la falla Tálag y comparar los resultados con información geológica y sísmica existente. Esto permitirá mejorar la comprensión de la dinámica tectónica local y aportar información relevante para futuras investigaciones sobre estructuras activas en la Amazonía ecuatoriana.

1.3 Justificación de la investigación

El estudio del splay de la falla Tálag mediante la técnica de tomografía de resistividad eléctrica (ERT) es relevante debido a la necesidad de mejorar el conocimiento sobre las características geológicas y estructurales del subsuelo en una zona influenciada por procesos tectónicos asociados al frente subandino ecuatoriano. Las estructuras relacionadas con sistemas de fallas pueden generar fracturamiento, zonas de alteración y variaciones en las propiedades físicas de los materiales, las cuales pueden reflejarse en cambios de resistividad eléctrica. Por ello, la identificación de estas variaciones permite aportar información sobre la distribución de discontinuidades y heterogeneidades del subsuelo, contribuyendo a una mejor comprensión de la configuración estructural del área de estudio.

La caracterización de estructuras asociadas a fallas también representa un aporte importante para el conocimiento de los peligros geológicos relacionados con la deformación tectónica. Estas estructuras pueden constituir zonas de concentración de esfuerzos, fracturamiento y cambios en las condiciones del terreno que influyen en la respuesta del subsuelo ante procesos geológicos activos. En regiones amazónicas, la identificación de estas características representa un desafío debido a la intensa meteorización, la cobertura vegetal y la limitada exposición de afloramientos. Bajo estas condiciones, los métodos geofísicos permiten obtener información indirecta del subsuelo y reducir las incertidumbres existentes sobre la geometría y distribución de estructuras tectónicas.

Esta investigación contribuirá al entendimiento de la relación entre las variaciones de resistividad eléctrica y las características geológicas asociadas al splay de la falla Tálag. Los resultados obtenidos permitirán complementar la información disponible de estudios geofísicos previos, como la tomografía sísmica, favoreciendo una interpretación integrada de las condiciones estructurales presentes en el área de estudio y aportando nuevos elementos para la comprensión de la dinámica tectónica local.

La aplicación de la tomografía de resistividad eléctrica permitirá evaluar la utilidad de esta técnica para identificar cambios litológicos, discontinuidades estructurales y posibles zonas de fracturación en ambientes tropicales con alta complejidad geológica. La generación de un modelo de distribución de resistividades contribuirá a mejorar la caracterización del subsuelo en el sector estudiado y podrá servir como referencia para futuras investigaciones geológicas y geofísicas desarrolladas en regiones con condiciones similares.

Debido a la limitada disponibilidad de estudios de resistividad eléctrica enfocados en estructuras tectónicas de la región amazónica ecuatoriana, los resultados obtenidos representarán un aporte para disminuir las incertidumbres sobre las características del subsuelo asociado al splay de la falla Tálag. De esta manera, la investigación fortalecerá el conocimiento geocientífico de la región y proporcionará información base para futuros estudios orientados a la caracterización de estructuras tectónicas y peligros geológicos.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo General

Caracterizar el subsuelo en el área del *splay* de la falla Tálag mediante tomografía de resistividad eléctrica, con el fin de identificar cambios en la estructura y composición del subsuelo asociados a esta estructura tectónica.

1.4.2 Objetivos específicos

• Determinar la distribución vertical de los estratos presentes en el área de estudio mediante la interpretación de los datos de tomografía de resistividad eléctrica y la información geológica local.

• Identificar variaciones de resistividad asociadas a cambios en la estructura y composición del subsuelo relacionados con el *splay* de la falla Tálag.

• Comparar los resultados obtenidos mediante tomografía de resistividad eléctrica con estudios previos de tomografía sísmica para complementar la interpretación geológica y estructural del área.

1.5 Marco Geológico

1.5.1 Geología regional

La geología del Ecuador es el resultado de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. Este proceso tectónico ha originado las tres principales unidades del relieve nacional: la llanura costera, la cordillera de los Andes y la sección superior de la cuenca amazónica (Eguez et al., 2003).

La historia geológica del país es compleja, producto de diversos eventos geodinámicos que dieron lugar a una red extensa de fallas activas. Estas estructuras, con orientación predominante NNE–SSO, son un factor clave que define la morfología y la evolución continua de las tres regiones. En el contexto de los Andes del Norte, las investigaciones proponen que el bloque andino del norte está delimitado por un sistema de fallas de deslizamiento dextral con rumbo NNE. Este movimiento lateral cambia a un régimen compresivo en los tramos donde las fallas adoptan una dirección N–S, lo cual permite absorber y redistribuir la tensión generada por la convergencia de las placas Sudamericana y de Nazca (Eguez y Aspden, 1993).

Dos de los sistemas de fallas más importantes del Ecuador, la falla de Pallatanga y la falla de Chingual, se extienden con orientación NE–SO desde el Golfo de Guayaquil hasta el límite oriental de la Cordillera Real. Su trazo oblicuo respecto al eje andino, junto con su cinemática activa, las identifica como fuentes sísmicas de algunos de los principales terremotos históricos del país (Soulas et al., 1991).

Hacia el oriente del territorio ecuatoriano, la Cordillera Real limita con la cuenca alta del Amazonas, donde predominan rocas volcánicas e intrusivas del Cenozoico, superpuesta por depósitos sedimentarios y coluviales más recientes. Esta transición marca un fuerte

contraste entre las zonas montañosas fracturadas de la cordillera y los llanos amazónicos, caracterizados por una deformación más suave y una morfología ondulada (Nieto, 1991).
En el sector oriental de los Andes del Norte, la deformación cortical está asociada a un conjunto de fallas activas de orientación NE–SO, entre las que destacan las fallas de Cosanga (Dután y Liced, 2021). Estas estructuras forman parte del sistema Cosanga–Chingual–Tálag, el cual controla la morfología, el drenaje y la sismicidad del flanco oriental de la Cordillera Real.

La evolución geológica ha estado influenciada por la actividad volcánica del arco andino ecuatoriano, la cual ha contribuido con el aporte de materiales volcánicos al entorno y evidencia la interacción entre el volcanismo y la tectónica regional. Las manifestaciones de este volcanismo antiguo se reconocen en diversas formaciones geológicas, interpretadas como vestigios de actividad volcánica desarrollada principalmente durante el Neógeno y el Cuaternario. No obstante, los afloramientos que permiten evidenciar directamente esta actividad son limitados, debido a que gran parte de los edificios volcánicos y sus depósitos han sido intensamente erosionados o cubiertos por depósitos más recientes (Santamaría et al., 2023).

1.5.2 Geología Local

El área de estudio se sitúa en el flanco oriental de la Cordillera Real, en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Colonso Chalupas, al sureste del cantón Tena (provincia de Napo). Desde el punto de vista geológico, pertenece a la Formación Arajuno, una unidad sedimentaria del Mioceno superior, la cual constituye parte del relleno de la cuenca subandina ecuatoriana (Christophoul et al., 2002).

La Formación Arajuno aflora principalmente a lo largo del curso del río Napo y está conformada por areniscas de grano fino a grueso y conglomerados, intercalados con limolitas y arcillolitas rojizas. Estos materiales corresponden a un sistema fluvial de baja

sinuosidad, en el que coexistieron canales de tipo divagante con carga gruesa y con carga arenosa, evidenciando variaciones en la energía y en el tamaño de los sedimentos depositados (Christophoul et al., 2004).

En el límite suroriental, la falla Tálag se emplaza sobre la base del granito Abitagua, representando la transición estructural entre la zona subandina y el piedemonte amazónico (Baby et al., 2004). Esta falla pone en contacto rocas sedimentarias cenozoicas y terciarias con litologías graníticas del Jurásico, indicando una prolongada historia de actividad tectónica.Estructuralmente, la región está controlada por el sistema de fallas Cosanga-Chingual-Pallatanga-Puna caracterizado por una cinemática activa y deformaciones recientes. Según (Araujo et al., 2024), la falla Tálag muestra una orientación dominante NNE, con desplazamiento dextral (derecho), lo cual se refleja en los desalineamientos de los ríos Tena, Pano y Jatunyaku, que evidencian el movimiento horizontal de la estructura y su influencia en la morfología local.

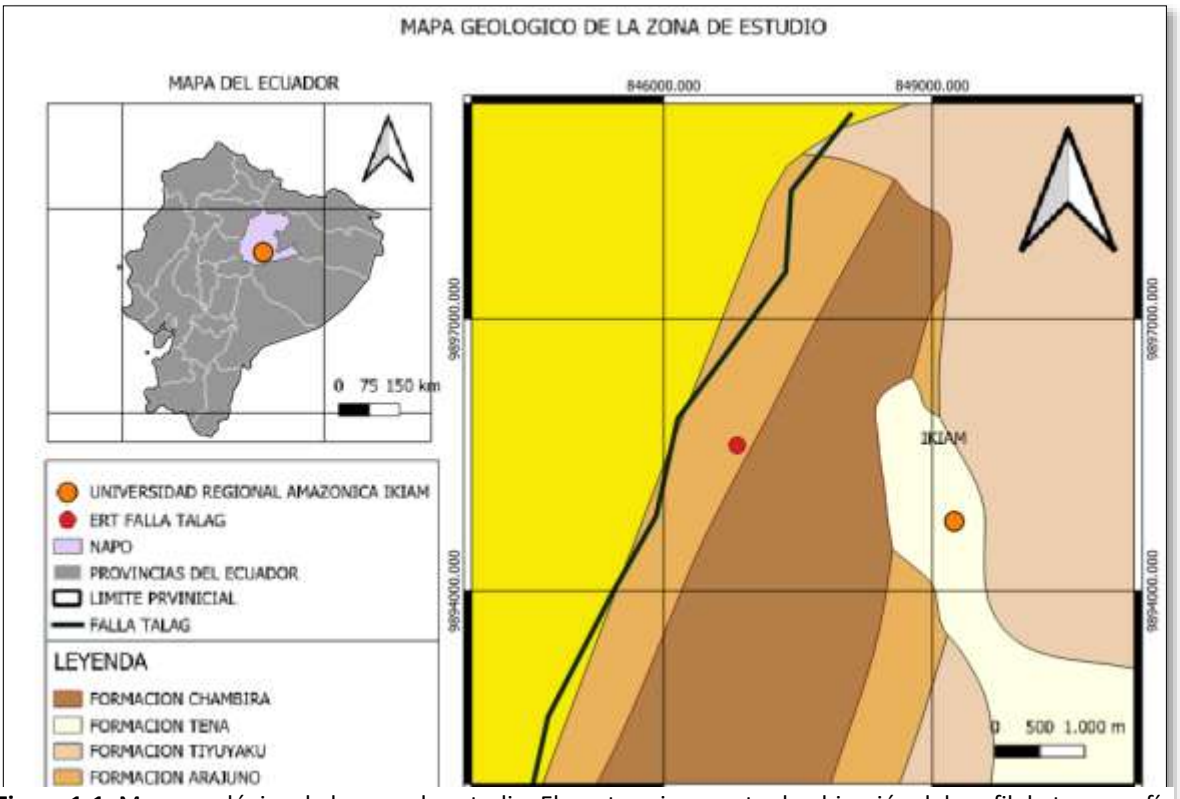

Figura 1-1: Mapa geológico de la zona de estudio. El punto rojo muestra la ubicación del perfil de tomografía eléctrica dentro del área de influencia del splay de la falla Tálag, en la provincia de Napo. El punto naranja corresponde a la ubicación de la Universidad Regional Amazónica Ikiam, utilizada como referencia espacial para la localización del área de estudio. Se identifican las principales unidades geológicas aflorantes, así como las estructuras tectónicas relevantes. **Fuente:** Adaptado de Mapa Geológico de la República del Ecuador (Escala 1:1 000 000) *(Egüez et al., 2017)*, Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM).

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza en la provincia de Napo, cantón Tena, específicamente frente a la planta de tratamiento de agua potable Kawsay Yaku, aproximadamente en las coordenadas UTM WGS84, zona 18S (E: 178 942 m; N: 9 895 612 m). La zona de estudio se encuentra dentro del área de influencia de la Reserva Biológica Colonso Chalupas, un espacio destinado a la conservación y generación de conocimiento científico en ecosistemas de la región amazónica ecuatoriana. Esta reserva constituye un área estratégica para investigaciones multidisciplinarias debido a su diversidad ecosistémica y su conexión con procesos naturales del piedemonte amazónico (Cuenca et al., 2019). Estas coordenadas fueron obtenidas mediante el software QGIS, utilizando el sistema de referencia WGS84 / UTM zona 18S.En 2024 se realizó una tomografía sísmica en el sector, según lo documentado en NB LAB donde el interés por realizar la tomografía sísmica era poder observar la zona de falla de Cosanga (Araujo et al., 2024). Con el fin de complementar y comparar los resultados, en este trabajo se desarrolló una tomografía eléctrica en el mismo sitio, lo que permite obtener una imagen más completa de las estructuras geológicas asociadas a la falla Tálag.

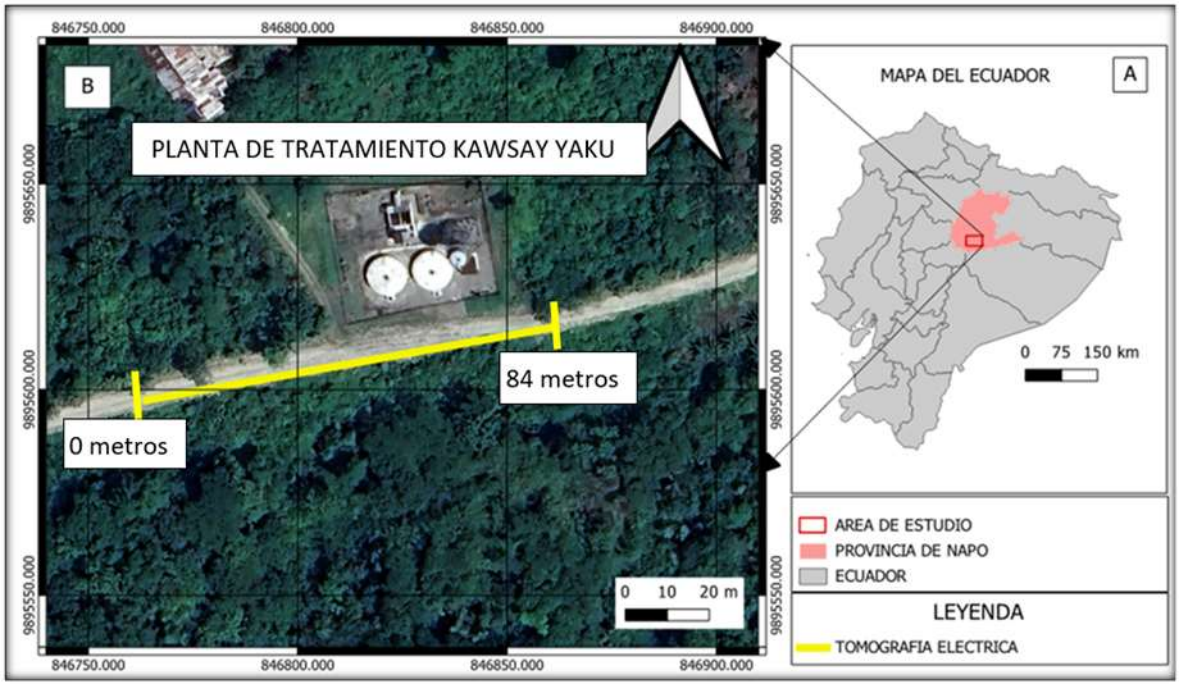

Figura 2-1: Ubicación del Área de Estudio. (A) Ubicación del área de estudio a escala país. En el mapa se señala el área de estudio ubicado en la provincia de Napo. (B) Área de estudio a escala local donde se realizó la línea eléctrica desarrollada en Alto Tena, obtenida a partir de imágenes de Google Earth. La Línea amarilla representa la línea de tomografía eléctrica, cuyos extremos corresponden a las marcas de 0 Y 84 metros.

2.2 Descripción de la metodología

La resistividad eléctrica es un método geofísico ampliamente utilizado para investigar las características del subsuelo a través de mediciones realizadas en la superficie. Su finalidad es determinar la distribución de resistividades en profundidad, lo que permite inferir propiedades geológicas. Este método se basa en la Ley de Ohm, que describe el flujo de corriente en medios conductivos, y ha sido aplicado en diversos campos como la hidrogeología, minería, geotecnia, medio ambiente y exploración de hidrocarburos (Loke, Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2010) (Loke et al., 2013). A continuación, se describe la metodología empleada en este estudio para aplicar la técnica de tomografía eléctrica en la falla Tálag.

2.3 Materiales

El equipo utilizado para la adquisición de datos de la línea de tomografía eléctrica de resistividad consigna de los siguientes materiales:

- Resistivímetro Terrameter LS2
- 84 Electrodos de acero inoxidable
- Carretes de cable con 21 conectores cada uno.
- 1 Batería de 12 V
- 84 Cables de conexión
- Equipos complementarios: Agua salada, martillo y cinta métrica.

2.4 Diseño de la línea eléctrica

La adquisición de datos de tomografía de resistividad eléctrica (ERT) se realizó el 18 de marzo de 2025 bajo condiciones climáticas favorables. Durante los días previos y durante la jornada de medición no se registraron precipitaciones, permitiendo mantener condiciones relativamente estables de humedad del suelo y favoreciendo la calidad de los datos obtenidos.

La ubicación del perfil de tomografía eléctrica fue seleccionada considerando la disponibilidad de información geofísica previa, específicamente una línea de tomografía sísmica realizada en el mismo sector de estudio. La adquisición de datos mediante ERT permitió complementar los resultados obtenidos mediante el método sísmico, favoreciendo una interpretación integrada de las características estructurales y propiedades del subsuelo.

El levantamiento se realizó mediante un perfil de tomografía de resistividad eléctrica (ERT) de aproximadamente 84 m de longitud, definido en función de las condiciones de accesibilidad y la configuración del terreno en el área de estudio. La longitud del perfil correspondió al tramo disponible donde fue posible mantener una distribución lineal y continua de los electrodos. La extensión de la línea estuvo limitada por las condiciones del terreno hacia el extremo final del perfil, donde ya no era posible continuar la instalación de los electrodos manteniendo una trayectoria recta. Por esta razón, se seleccionó el segmento que permitía conservar una geometría adecuada del arreglo y garantizar una cobertura representativa del sector de interés.

Para la adquisición de datos se utilizaron cuatro carretes de cable multielectrodo, cada uno conformado por 21 electrodos, instalados con un espaciamiento constante de 1 m entre posiciones consecutivas. Debido a la configuración del sistema de adquisición, tres electrodos fueron compartidos entre carretes consecutivos con el propósito de mantener la continuidad eléctrica del perfil. Por esta razón, aunque el arreglo comprendió 84 posiciones de electrodos, el número total de electrodos independientes utilizados en la adquisición fue de 81.

El espaciamiento de 1 m entre electrodos fue seleccionado considerando la longitud del perfil, la escala del objetivo de estudio y las características del arreglo Gradient XL empleado durante la adquisición. Esta separación permitió obtener una distribución uniforme de los puntos de medición y alcanzar una resolución adecuada para la caracterización de las variaciones de resistividad del subsuelo.

La conexión entre los electrodos y el sistema de adquisición se realizó mediante conectores con pinzas metálicas, asegurando la continuidad eléctrica necesaria para la correcta transmisión de corriente y medición de potencial durante el levantamiento geofísico.

La topografía del terreno fue incorporada durante el levantamiento, registrándose una pendiente aproximada del 18 % a lo largo de la línea. Esta información fue posteriormente utilizada durante el procesamiento e inversión de los datos para obtener un modelo de resistividad ajustado a las condiciones reales del terreno.

La configuración adoptada permitió alcanzar una profundidad de investigación aproximada de 15 m, adecuada para la caracterización de estructuras geológicas superficiales y someras asociadas al área de estudio.

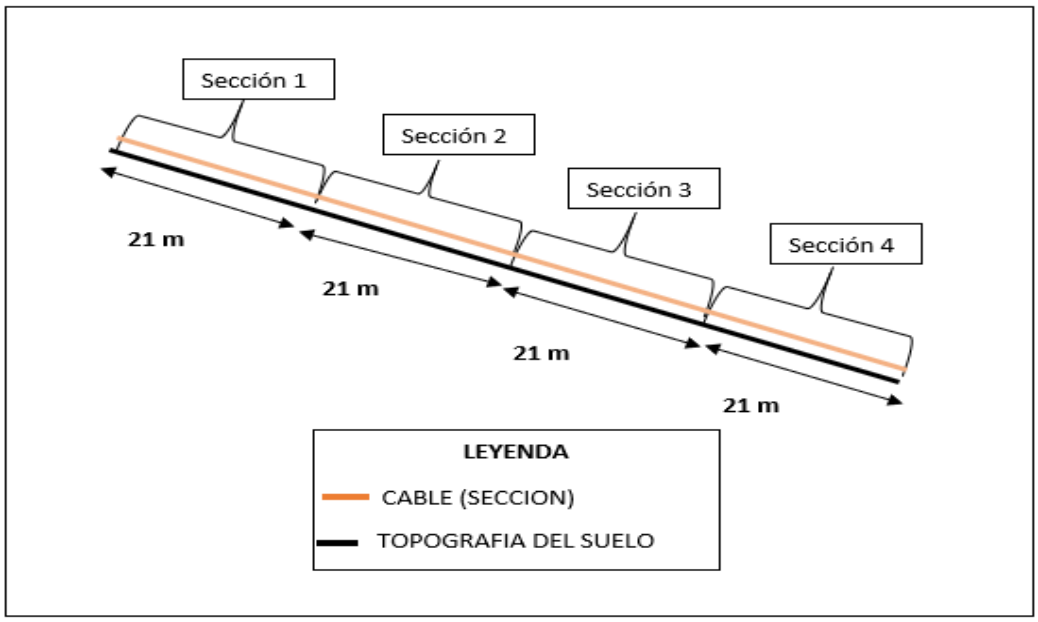

Figura 2-2: Modelo de representación de la topografía y disposición de las 4 secciones de conexión de cables de resistividad en el terreno, con una pendiente aproximada del 18%.



Figura 2-3: Etapas del trabajo de campo para la adquisición de datos de tomografía de resistividad eléctrica (ERT): (1) preparación de los materiales; (2) disposición de los electrodos y establecimiento de la línea de medición; (3) tendido y conexión de los cables a los electrodos; y (4) configuración del equipo ABEM Terrameter LS2 para la adquisición y almacenamiento de los datos.

2.5 Adquisición de datos de resistividad

El levantamiento geofísico se realizó utilizando un resistivímetro ABEM Terrameter LS2 y el arreglo Gradiente XL. Este arreglo corresponde a una configuración de gradiente múltiple en la que los electrodos de corriente se mantienen en posiciones fijas mientras los electrodos de potencial se desplazan progresivamente a lo largo del perfil, permitiendo obtener una alta densidad de datos y una adecuada resolución para la identificación de variaciones laterales y verticales de resistividad (Dahlin y Zhou, Gradient and mid-point-referred measurements for multi-channel 2D resistivity imaging, 2002)

Antes de iniciar la adquisición, se efectuó una prueba de resistencia de contacto en todos los electrodos para verificar la calidad de la conexión eléctrica con el terreno. Inicialmente se estableció un umbral de aceptación de 1 kΩ; sin embargo, debido a que algunos

electrodos presentaron dificultades de reconocimiento por parte del equipo, el valor fue ajustado a 5 kΩ, obteniéndose condiciones satisfactorias para la adquisición de datos.

Durante el levantamiento se emplearon parámetros de operación configurados en el equipo, correspondientes a una corriente de inyección de 1000 mA, un voltaje de salida comprendido entre 500 y 600 V y una potencia de operación de 200 W reportada por el sistema de adquisición. Estos parámetros fueron establecidos considerando las condiciones del levantamiento y las características eléctricas del terreno, permitiendo una adecuada inyección de corriente en el subsuelo y una respuesta eléctrica suficiente para la obtención de mediciones confiables.

2.6 Procesamiento e interpretación de datos

Previo al proceso de inversión, se realizó un control de calidad de los datos adquiridos mediante un filtrado gráfico manual en el software RES2DINV. Durante esta etapa se identificaron y eliminaron las mediciones que presentaban valores anómalos, principalmente registros negativos, ya que estos podían afectar la estabilidad y la confiabilidad del proceso de inversión. La selección de los datos eliminados se efectuó mediante inspección visual y criterios de control de calidad durante el procesamiento, sin aplicar un umbral estadístico predefinido.

Después del filtrado se utilizaron 140 datos para el proceso de inversión. La inversión se realizó mediante el algoritmo de mínimos cuadrados con restricción de suavidad (*smoothness-constrained least-squares*) implementado en RES2DINV, utilizando la norma robusta L1, la cual reduce la influencia de los valores atípicos y favorece la representación de contrastes abruptos de resistividad asociados a estructuras geológicas como fallas y zonas fracturadas (Seequent, 2023).

Durante el proceso de inversión, el software RES2DINV discretiza el subsuelo mediante una malla de elementos, cuya geometría se adapta a la distribución espacial de los datos adquiridos en campo y a la resolución requerida por el modelo. El tamaño de las celdas de la malla varía en función de la separación entre electrodos y de la cantidad de información disponible, empleando celdas más pequeñas en zonas con mayor densidad de datos para mejorar la representación de los contrastes de resistividad. Esta discretización permite ajustar el modelo calculado a los valores observados, conservando las variaciones laterales y verticales asociadas a cambios en las propiedades eléctricas del subsuelo.

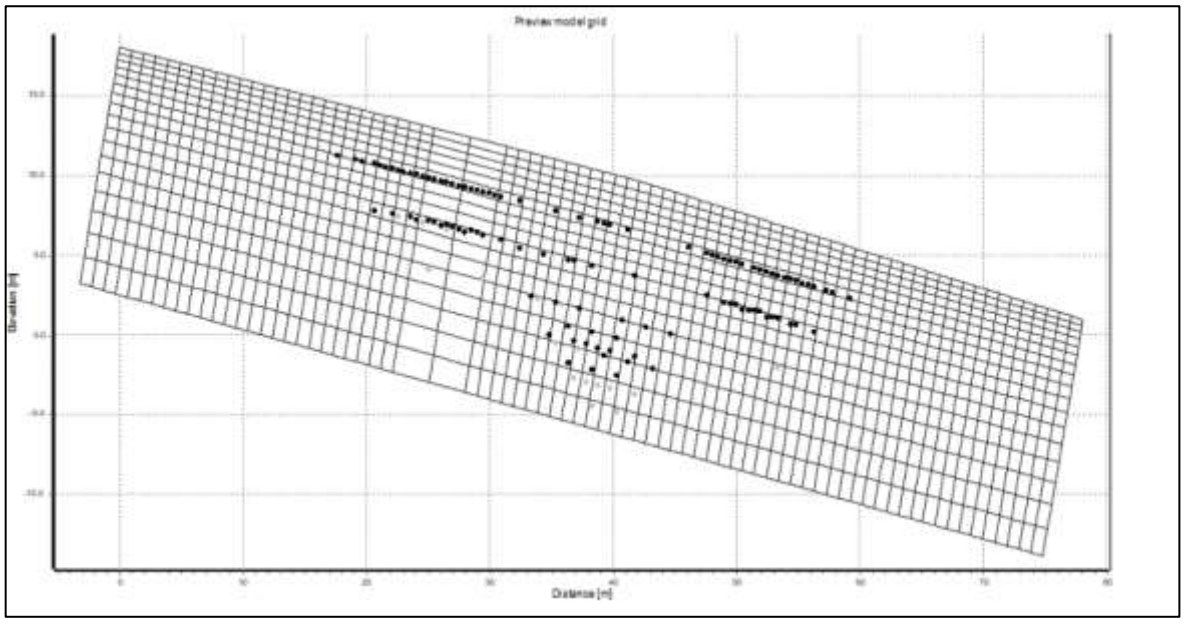

Figura 2-4: Malla de discretización utilizada en la inversión del perfil de resistividad eléctrica**.** Debido a la presencia de ruido en los datos adquiridos, se estableció un valor inicial del factor de amortiguamiento ($\boldsymbol{\lambda}$) de 0,5 para estabilizar el proceso iterativo. Asimismo, se definió una relación horizontal–vertical del filtro de suavizado de 2, considerando que el área de estudio corresponde a un contexto estructural asociado a una falla geológica, donde se esperaba la presencia de anomalías con desarrollo predominantemente vertical.La regularización del problema inverso se realizó mediante la opción basada en la curva L implementada en RES2DINV, la cual permite seleccionar un equilibrio entre el ajuste de los datos observados y la suavidad del modelo obtenido. Sin embargo, la versión del software utilizada no genera ni exporta la representación gráfica de la curva L, por lo que no fue posible incorporarla en este trabajo. En consecuencia, la estabilidad del proceso de inversión se evaluó mediante la evolución del error durante las iteraciones y la convergencia de la solución obtenida.

Como parte del control de calidad del proceso de inversión, el error absoluto promedio disminuyó progresivamente de 25,4 % en la primera iteración a 18,8 % en la segunda y 17,1 % en la tercera iteración. Esta reducción evidencia una mejora gradual en el ajuste entre los

datos medidos y los calculados. De acuerdo con el manual de RES2DINV, en conjuntos de datos afectados por niveles significativos de ruido no es esperable obtener errores cercanos a cero, ya que ello podría conducir al sobreajuste (*overfitting*) del modelo. Por esta razón, errores del orden de 15–17 % pueden considerarse aceptables cuando el modelo presenta estabilidad durante la inversión y mantiene coherencia con el contexto geológico del área de estudio (Seequent, 2023).

Finalmente, la calidad de la inversión se evaluó mediante el análisis del histograma del error de resistividad aparente (*misfit histogram*), la comparación entre los valores de resistividad aparente medidos y calculados, y el cálculo del índice de resolución del modelo, con el propósito de verificar la confiabilidad espacial de los resultados obtenidos (Figura 2-5). Los modelos finales de resistividad permitieron identificar anomalías y contrastes eléctricos asociados a variaciones en la composición y estructura del subsuelo.

Tabla 1. Parámetros del proceso de inversión ERT.

Parámetro	**Valor**
Datos utilizados en la inversión	140
Número de iteraciones	3
Error inicial	25,40%
Error segunda iteración	18,80%
Error final	17,10%
Norma de inversión	L1

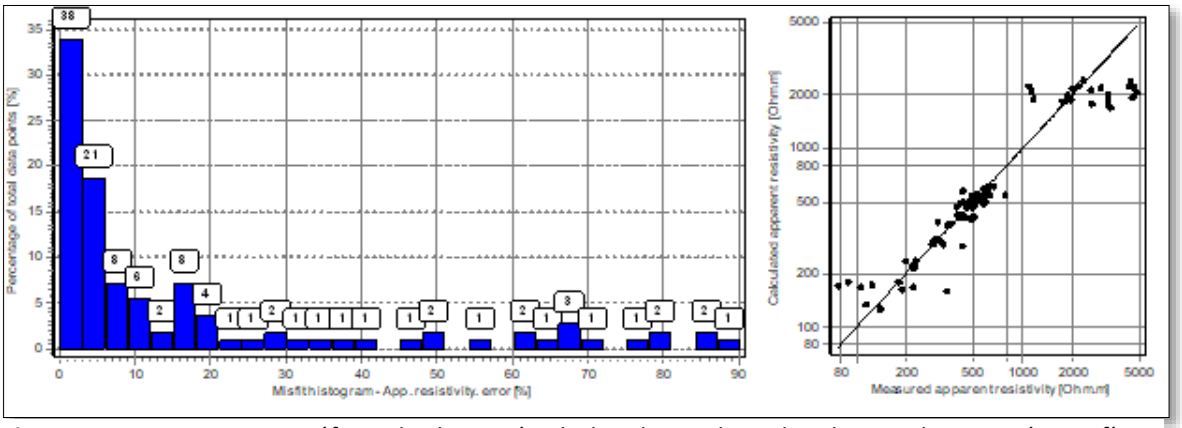

Figura 2-5: Histograma y gráficos de dispersión de los datos obtenidos durante la inversión geofísica, posterior a la eliminación de valores atípicos. El filtrado de datos permitió reducir el error RMS y mejorar la calidad del ajuste del modelo

CAPITULO III

RESULTADOS

3.1 Resultados de la Tomografía eléctrica

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la tomografía de resistividad eléctrica (ERT) realizada en el área de estudio. La interpretación de los datos invertidos permitió identificar la distribución espacial de los valores de resistividad en el subsuelo, así como las principales variaciones laterales y verticales presentes a lo largo del perfil. Estos resultados constituyen la base para el análisis de las unidades geoeléctricas y la evaluación de posibles estructuras asociadas al splay de la falla Tálag.

3.1.1 Interpretación de la distribución lateral

La distribución lateral de resistividades se interpretó a partir del modelo bidimensional mostrado en la Figura 2-5, el cual permitió identificar variaciones significativas en los valores de resistividad a lo largo del perfil de estudio. Para facilitar el análisis, el perfil fue dividido en cuatro secciones independientes considerando como criterio los cambios abruptos en la distribución de resistividades, la geometría de las anomalías eléctricas y los contrastes observados entre sectores adyacentes.

Esta división permitió reconocer dominios geoeléctricos con comportamientos diferenciados, asociados a posibles cambios en las propiedades físicas del subsuelo, tales como variaciones litológicas, grado de meteorización, contenido de humedad y presencia de estructuras geológicas.

En la Figura 3-1, se distinguen cuatro secciones con diferentes rangos de resistividad. La sección 1 se extiende desde 0 m hasta aproximadamente 26 m de longitud, con valores comprendidos entre 300 y 600 Ω·m. La sección 2 presenta una capa altamente resistiva, cuyos valores superan los 2000 Ω·m y alcanzan hasta 10 000 Ω·m, entre los 26 m y 4 5 m de longitud. La sección 3 muestra resistividades intermedias, que varían entre 400 y 800 Ω·m, abarcando desde los 45 m hasta los 66 m. Finalmente, la sección 4, ubicada entre 66 m y 75 m, se caracteriza por bajas resistividades, con valores que oscilan entre 50 y 300 Ω·m.

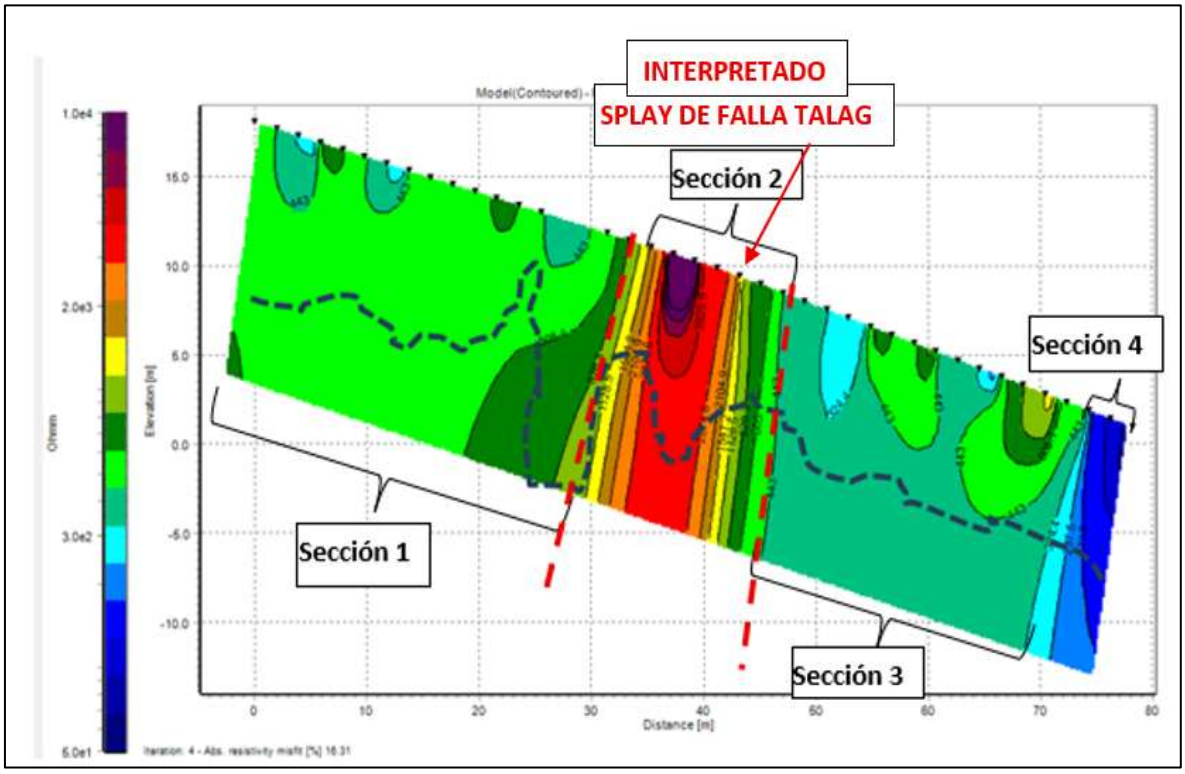

Figura 3-1: Modelo bidimensional de resistividad eléctrica obtenido mediante la inversión de los datos adquiridos con el arreglo gradiente múltiple a lo largo de un perfil de 84 m de longitud. Para facilitar el análisis de la distribución lateral de resistividades, el modelo fue dividido en cuatro secciones de acuerdo con los contrastes eléctricos observados a lo largo del perfil. Los triángulos negros ubicados en la parte superior representan la posición de los electrodos empleados durante la adquisición de datos. La distribución de resistividades se presenta mediante una escala de colores y curvas de isovalores, las cuales permiten identificar las variaciones espaciales de las propiedades eléctricas del subsuelo. La línea negra discontinua delimita la profundidad con resolución confiable del modelo, definida mediante un índice de resolución superior a 5, de acuerdo con el criterio implementado por el software RES2DINV para identificar las zonas con mayor confiabilidad en la inversión. La anomalía de alta resistividad resaltada en la Sección 2 corresponde a la interpretación de la posible ubicación del splay de la Falla Tálag. Las imágenes eléctricas obtenidas revelaron una resistividad heterogénea en el área investigada, hecho evidenciado por la variación de los valores registrados a lo largo de las secciones tomográficas. Los resultados de la inversión de los datos de resistividad aparente, adquiridos mediante la configuración gradiente múltiple, muestran la variabilidad lateral y vertical de la resistividad en cada una de las secciones identificadas.

3.1.2 Distribución vertical de unidades de resistividad

El análisis vertical del modelo permitió diferenciar dos unidades de resistividad principales, delimitadas mediante una línea de interpretación Figura 3-2. Esta división se realizó considerando los contrastes verticales de resistividad observados en el modelo invertido y la continuidad de los dominios de resistividad en profundidad. Esta interpretación es independiente del análisis lateral presentado en la Figura 3-1, ya que ambos enfoques responden a criterios de análisis diferentes.

El análisis vertical del modelo permitió identificar dos unidades de resistividad, definidas a partir del predominio de rangos de resistividad similares observados en profundidad. Estas unidades representan zonas con comportamiento eléctrico semejante y no corresponden necesariamente a unidades geológicas, ya que la tomografía eléctrica caracteriza las propiedades físicas del subsuelo y no permite identificar directamente contactos litológicos.

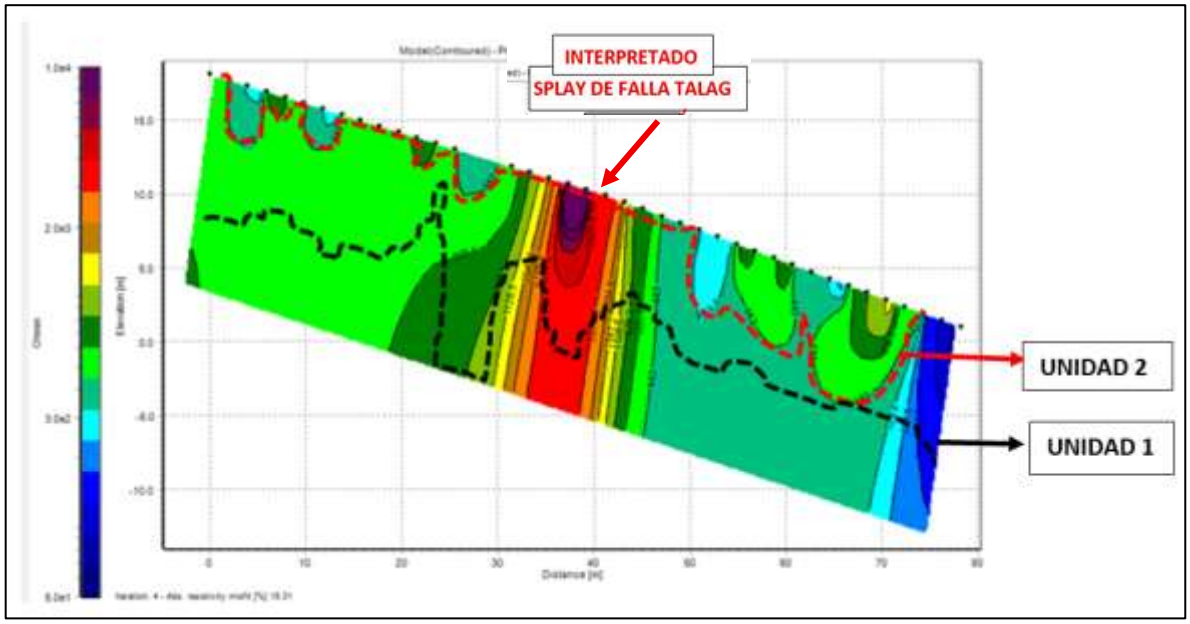

Figura 3-2. Modelo de resistividad vertical obtenido mediante tomografía eléctrica (ERT) a del perfil de estudio. Se distinguen dos dominios principales de resistividad delimitados por la línea roja interpretativa. La Unidad de resistividad 2, ubicada predominantemente en la parte superior del modelo, presenta valores entre 80 y 200 Ω·m. La Unidad de resistividad 1, localizada principalmente hacia la parte inferior, está caracterizada por valores entre 30 y 50 Ω·m. En el sector central del perfil se observa una anomalía de alta resistividad, con

valores superiores a 2000 Ω·m, que atraviesa ambas unidades e interrumpe localmente la distribución de los valores predominantes. La línea negra representa el índice de resolución del modelo, utilizado para evaluar la confiabilidad de la inversión e identificar las zonas con mejor resolución de los datos.

Unidad de resistividad 1

La Unidad de resistividad 1 corresponde al dominio donde predominan valores de resistividad entre 30 y 50 Ω·m, distribuidos principalmente hacia la parte inferior del modelo como se puede visualizar en la Figura 3-2. Estos valores representan el comportamiento eléctrico predominante de esta unidad, aunque su distribución no es completamente continúa debido a la presencia de una anomalía de alta resistividad en la zona central del perfil, la cual interrumpe localmente este patrón.

Unidad de resistividad 2

La Unidad de resistividad 2 corresponde al dominio donde predominan valores de resistividad entre 80 y 200 Ω·m, localizados principalmente hacia la parte superior del modelo como se muestra en la Figura 3-2. Al igual que en la Unidad 1, esta distribución es interrumpida por una anomalía de alta resistividad ubicada en el sector central del perfil, donde se registran valores superiores a 2000 Ω·m.

En conjunto, ambas unidades representan zonas con diferente comportamiento de resistividad dentro del modelo, sin que exista un límite geológico claramente definido entre ellas. La anomalía de alta resistividad atraviesa ambas unidades, generando un contraste eléctrico significativo respecto a los valores predominantes. La interpretación del origen de esta anomalía y su posible relación con las estructuras geológicas presentes en el área de estudio se desarrolla en el apartado de interpretación de resultados.

CAPITULO IV

DISCUSIÓN

4. 1 Interpretación de las variaciones laterales y verticales de resistividad

La tomografía de resistividad eléctrica permitió identificar variaciones laterales y verticales en las propiedades eléctricas del subsuelo, evidenciando cambios en la distribución de los materiales presentes en el área de estudio. La resistividad eléctrica depende de diversos factores físicos, entre ellos la composición mineralógica, la granulometría, la porosidad y principalmente el contenido de humedad del medio (Loke, Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2010). Por esta razón, los contrastes observados en la sección geoeléctrica no representan únicamente cambios litológicos, sino también variaciones en las condiciones de saturación y en el grado de alteración o fracturamiento de los materiales.

Las variaciones laterales identificadas a lo largo del perfil son coherentes con la naturaleza heterogénea de los depósitos aluviales presentes en el piedemonte amazónico. Estos materiales corresponden a sedimentos provenientes de la Cordillera Real, transportados y acumulados hacia la cuenca amazónica (Baby et al., 2004). Además, el área de estudio se encuentra cubierta principalmente por depósitos aluviales cuaternarios, caracterizados por una distribución variable de sedimentos gruesos y finos (Medina-Bueno et al., 2023). Esta dinámica sedimentaria genera cambios internos dentro de un mismo ambiente deposicional, donde las diferencias granulométricas controlan la distribución del agua y, por consecuencia, la respuesta geoeléctrica.

En este contexto, las variaciones laterales de resistividad observadas en las secciones geoeléctricas no necesariamente representan límites entre unidades geológicas diferentes, sino cambios internos dentro de los mismos depósitos aluviales. Los sectores con menor resistividad pueden asociarse con materiales de granulometría más fina y mayor contenido

de humedad, debido a una mayor capacidad de retención de agua en los espacios porosos. En contraste, los sectores con resistividades moderadas pueden relacionarse con materiales de mayor tamaño de grano, como gravas y conglomerados, donde la circulación de fluidos puede ser mayor y la saturación menor.

Por otra parte, las variaciones verticales observadas representan cambios en la continuidad de las capas geoeléctricas y evidencian sectores donde la disposición original de los materiales ha sido modificada. Estas modificaciones pueden estar relacionadas con procesos sedimentarios propios de ambientes aluviales, como cambios de facies y variaciones granulométricas, pero también pueden estar asociadas a estructuras geológicas que generan discontinuidades verticales dentro del subsuelo.

4.2 Interpretación de las unidades geoeléctricas

Considerando la distribución de los depósitos aluviales del área de estudio y excluyendo la anomalía de alta resistividad presente en la zona central del perfil, los contrastes eléctricos permiten diferenciar dos unidades geoeléctricas principales. La interpretación de estas unidades se basa en las diferencias relativas de resistividad y su relación con las características físicas esperadas para los materiales sedimentarios.

La Unidad 1 presenta menores valores de resistividad, lo cual puede estar relacionado con materiales más finos y con mayor grado de saturación. Los sedimentos con mayor contenido de humedad presentan una mayor conductividad eléctrica debido a la movilidad de los iones presentes en el agua de poros (Loke, Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2010). Por otro lado, la Unidad 2 presenta resistividades moderadas, interpretadas como materiales relativamente más gruesos y con menor contenido de humedad, posiblemente asociados a niveles con mayor proporción de gravas y conglomerados como indica la Figura 4-1.



Figura 4-1: Evidencia de grandes conglomerados correspondiente a la Unidad 2.

Esta interpretación es consistente con la presencia de abanicos aluviales, donde los cambios espaciales en la energía de transporte generan variaciones en el tamaño de grano de los depósitos. En estos ambientes, los materiales gruesos favorecen una mayor permeabilidad y circulación de fluidos, mientras que los materiales finos pueden retener mayor humedad. Sin embargo, debido a que diferentes combinaciones de litología, saturación y porosidad pueden producir respuestas eléctricas similares, la interpretación de las unidades debe considerarse dentro de un contexto geológico y complementarse con otros métodos geofísicos (Villar, 1996).

4.3 Interpretación de la anomalía resistiva y su posible relación con una estructura tectónica

La sección central del perfil presenta un cuerpo resistivo con valores superiores a 2000 Ω·m, asociado a una anomalía vertical que interrumpe la continuidad de las electrocapas subhorizontales. Las resistividades elevadas pueden generarse por diferentes condiciones del subsuelo, como materiales con bajo contenido de humedad, presencia de fracturas con

baja conectividad hidráulica, baja saturación o materiales con menor capacidad de conducción eléctrica.

En ambientes tectónicos, una posible explicación para este comportamiento corresponde a una zona asociada a deformación estructural, donde el fracturamiento puede modificar las propiedades físicas y eléctricas del material. La tomografía de resistividad eléctrica permite identificar este tipo de variaciones mediante contrastes eléctricos asociados a cambios en la estructura interna del subsuelo, como zonas fracturadas, alteradas o con diferente contenido de fluidos (Loke et al., 2013) (Villani et al., 2015). En una zona de falla pueden desarrollarse materiales deformados como brechas, cataclasitas o *gouge* de falla, generados por procesos de trituración y desplazamiento asociados al movimiento tectónico (Sibson, 1977). Sin embargo, debido a la ausencia de información directa del subsuelo, como perforaciones o muestras, en este estudio no es posible confirmar la presencia de una roca de falla; por ello, la interpretación se refiere a una zona posiblemente asociada a deformación relacionada con el *splay* de la falla Tálag.

Es importante considerar que una anomalía resistiva vertical no constituye por sí sola una evidencia definitiva de una falla, debido a que también puede originarse por variaciones sedimentarias abruptas, cambios granulométricos o diferencias locales en la saturación del subsuelo (He et al., 2024). No obstante, la geometría vertical de la anomalía, la interrupción de las electrocapas y su coincidencia espacial con resultados sísmicos previos permiten considerar la hipótesis tectónica como la interpretación más consistente.

Los valores elevados de resistividad observados pueden estar relacionados con materiales fracturados y relativamente secos, donde la limitada presencia de fluidos reduce la conductividad eléctrica. (Balasco et al., 2022) señala que las zonas fracturadas pueden presentar respuestas resistivas elevadas cuando existe baja saturación o poca conectividad entre fracturas. De igual manera, (LaBrecque et al., 2004) indican que las fracturas secas

pueden limitar la circulación de agua subterránea y comportarse como barreras parciales al flujo hidráulico.

Además, la conectividad de las fracturas representa un factor determinante en el comportamiento hidráulico de zonas deformadas. (Porras et al., 2022) menciona que fracturas poco conectadas o cerradas disminuyen la permeabilidad del medio, reduciendo la capacidad de transporte de fluidos.

El comportamiento observado también presenta similitud con estudios realizados en estructuras cercanas. (Cornejo Bazurto, 2025) reportó que la falla Porotoyacu genera discontinuidades verticales que modifican la disposición de las unidades geológicas, comportamiento comparable con la interrupción de las estructuras subhorizontales observada en este estudio. Asimismo, (Perera et al., 2013) describe que las estructuras tectónicas pueden generar contrastes geofísicos asociados a cambios en las propiedades físicas del subsuelo. Estas características son compatibles con zonas sometidas a deformación tectónica en sistemas compresivos (Tadeo, 2014).

4.4 Integración de la tomografía sísmica Vp y la tomografía eléctrica

La interpretación de los resultados obtenidos mediante tomografía de resistividad eléctrica como muestran las Figura 3-1 y Figura 3-2, se realizó mediante su comparación con el modelo de tomografía sísmica de velocidad de onda P reportado por (Araujo et al., 2024) para el mismo sector de estudio en la Figura 4-2. La integración de ambas metodologías permite evaluar la correspondencia entre las propiedades eléctricas y mecánicas del subsuelo, proporcionando una interpretación geológica más robusta de las estructuras presentes en el área de estudio.

La tomografía sísmica presentada por (Araujo et al., 2024) permitió identificar tres unidades estratigráficas diferenciadas por sus velocidades de onda P. Los autores describen una

Unidad 3 superficial, una Unidad 2 de espesor intermedio y una Unidad 1 ubicada a mayor profundidad como lo indica la Figura 4-2. Asimismo, identifican una discontinuidad estructural interpretada como un posible *splay* de la falla Tálag, la cual afecta la continuidad de las unidades sísmicas y constituye la primera evidencia geofísica de la actividad de esta estructura en el sector de Colonso-Chalupas (Araujo et al., 2024).

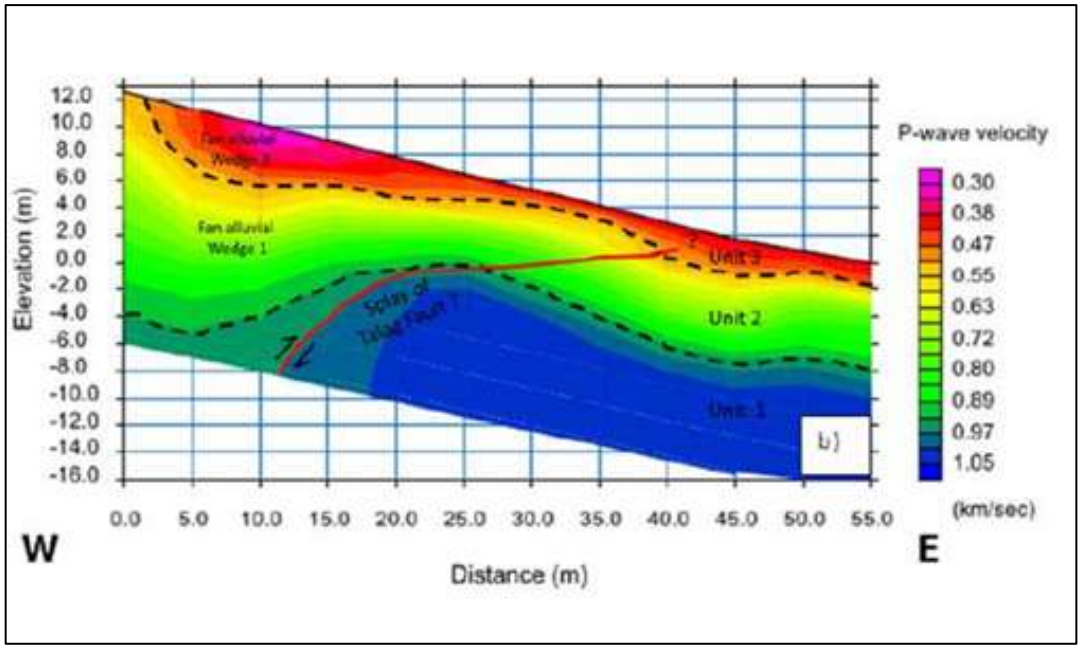

Figura 4-2. Resultados de la tomografía sísmica para la línea de Colonso-Chalupas, con interpretación estratigráfica y estructural. Fuente:(Araujo et al.,2024).

Al comparar este modelo con la tomografía de resistividad eléctrica como podemos ver en la Figura 3-2, se observa que ambos métodos presentan una organización general similar del subsuelo, aunque con diferente resolución. Mientras la tomografía sísmica distingue tres unidades, la tomografía de resistividad eléctrica permitió diferenciar únicamente dos unidades geoeléctricas. Esta diferencia es consistente con las propiedades físicas medidas por cada técnica. La velocidad de onda P está controlada principalmente por la rigidez y el grado de consolidación de los materiales, mientras que la resistividad eléctrica depende del contenido de humedad, la porosidad, la conectividad de los fluidos y la composición mineralógica (Reynolds, 2011) (Loke et al., 2013). Como consecuencia, materiales que presentan diferencias en sus propiedades mecánicas pueden exhibir respuestas eléctricas similares y ser representados dentro de una misma unidad geoeléctrica.

En este contexto, la unidad geoeléctrica superficial obtenida mediante tomografía de resistividad probablemente agrupa materiales que en el modelo sísmico fueron diferenciados como las unidades 2 y 3, mientras que la unidad geoeléctrica profunda presenta una correspondencia espacial con la Unidad 1 descrita por (Araujo et al., 2024). Esto evidencia que ambos métodos caracterizan el mismo subsuelo desde propiedades físicas diferentes y que las diferencias observadas responden a la sensibilidad de cada técnica.

La principal coincidencia entre ambos modelos se observa en el sector central del perfil. En la tomografía de resistividad eléctrica se identifica una anomalía de alta resistividad que atraviesa las dos unidades geoeléctricas, mientras que en la tomografía sísmica esta misma zona corresponde a la discontinuidad estructural interpretada como un posible *splay* de la falla Tálag. La correspondencia espacial entre ambas anomalías fortalece la interpretación de que esta estructura representa un rasgo geológico real y no un artefacto asociado al procesamiento de los datos. La detección de esta anomalía mediante dos métodos geofísicos independientes incrementa la confiabilidad de la interpretación estructural del área de estudio.

En conjunto, la comparación entre la tomografía de resistividad eléctrica y la tomografía sísmica demuestra que ambas metodologías son complementarias para la caracterización del subsuelo. Mientras la tomografía sísmica permitió reconocer con mayor detalle la estratigrafía y las deformaciones estructurales, la tomografía de resistividad eléctrica aportó información sobre la distribución de las propiedades eléctricas de los materiales y corroboró la presencia del *splay* de la falla Tálag previamente identificado por (Araujo et al., 2024).

4.5 Interpretación de la zona conductiva y presencia de agua

La sección final del perfil presenta valores de resistividad entre 50 y 300 Ω·m, correspondientes a una zona relativamente conductiva (Perdomo et al., 2011). Esta respuesta coincide con la presencia de un afloramiento de agua observado durante el trabajo de campo en el sector cercano a la planta de tratamiento Kawsay Yaku como se muestra en la Figura 4-3, lo que sugiere que la anomalía conductiva podría estar asociada a un incremento en el contenido de humedad o saturación del subsuelo.

La baja resistividad observada puede explicarse por un incremento del grado de saturación del medio. El agua presente en los poros favorece el transporte de cargas eléctricas mediante los iones disueltos, aumentando la conductividad del material. Este comportamiento ha sido descrito en medios porosos saturados, donde la resistividad disminuye conforme aumenta el contenido de agua (Zarif et al., 2022). De manera similar, (He et al., 2024) indican que la presencia de fluidos en materiales porosos modifica significativamente las propiedades eléctricas del subsuelo debido al aumento de la movilidad iónica.



Figura 4.3. Afloramiento de agua observado durante el reconocimiento de campo en la zona de estudio.

4.6 Ventajas, limitaciones e incertidumbres de la tomografía eléctrica

La principal ventaja de la tomografía eléctrica en este estudio fue su capacidad para identificar contrastes laterales y verticales del subsuelo, permitiendo reconocer variaciones asociadas a cambios granulométricos, saturación y posibles estructuras geológicas. Además, su integración con la tomografía sísmica permitió mejorar la interpretación del modelo geológico y reducir la ambigüedad asociada a una única técnica geofísica.

Sin embargo, la interpretación de la resistividad presenta limitaciones debido a que no existe una relación única entre un valor eléctrico determinado y un tipo específico de material. Diferentes combinaciones de composición, porosidad, humedad y fracturamiento pueden generar respuestas similares (Loke, Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2010). Por esta razón, los resultados deben interpretarse considerando información geológica, observaciones de campo y métodos geofísicos complementarios.

La principal incertidumbre del estudio está relacionada con la falta de información directa del subsuelo que permita confirmar la naturaleza exacta del material asociado a la anomalía resistiva. En consecuencia, la interpretación del cuerpo resistivo como una estructura asociada al *splay* de la falla Tálag se fundamenta en la geometría de la anomalía, su coincidencia con la tomografía sísmica y los antecedentes geológicos disponibles para la zona (Araujo et al., 2024).

CAPITULO V

CONCLUSIÓN

La aplicación de la tomografía de resistividad eléctrica permitió caracterizar la distribución espacial de la resistividad en el sector del *splay* d la falla Tálag, identificando variaciones laterales y verticales asociadas a cambios en la composición y estructura del subsuelo. Los contrastes de resistividad observados permitieron diferenciar unidades con propiedades físicas distintas, las cuales muestran correspondencia con las características geológicas locales y evidencian una diferenciación estratigráfica en el área de estudio.

Los resultados obtenidos son compatibles con la presencia de una estructura asociada al *splay* de la falla Tálag, reflejada en anomalías de resistividad que sugieren la existencia de zonas de fracturación y variaciones en las propiedades de los materiales del subsuelo. Asimismo, se identifican indicios de afectación de los depósitos aluviales cuaternarios, lo que evidencia la influencia de los procesos tectónicos en la configuración geológica local.

Adicionalmente, la presencia de una anomalía de baja resistividad en el extremo final del perfil coincide con la observación de una fuente de agua en superficie, lo que indica la existencia de materiales saturados y pone de manifiesto la influencia del agua subterránea en la respuesta eléctrica del terreno.

En conjunto, los resultados demuestran la utilidad de la tomografía de resistividad eléctrica para la caracterización de estructuras tectónicas someras en ambientes amazónicos, aportando información complementaria a estudios geofísicos previos y contribuyendo a una mejor comprensión de la dinámica del *splay* de la falla Tálag.

La comparación entre los resultados de tomografía eléctrica y los modelos de tomografía sísmica previamente obtenidos mostró una correspondencia espacial entre las principales

anomalías identificadas, lo que fortalece la interpretación de la estructura asociada al *splay* de la falla Tálag y aporta mayor confiabilidad a la caracterización geofísica del área.

Referencias Bibliográficas

Aizebeokhai, A. P. y Oyeyemi, K. D. (2014). The use of the multiple-gradient array for geoelectrical resistivity and induced polarization imaging. *Journal of Applied Geophysics, 111*, 364-376. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2014.09.004

Alvarado, A. (2012). *Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Équateur*[Tesis Doctoral, Université de Nice Sophia Antipolis.] https://theses.hal.science/tel-00870332

Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J., 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. https://doi.org/10.1002/2016TC004117

Andrade, C. y D'Andrea, R. (2011). La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, 1*(2), 93-101. https://doi.org/10.21041/ra.v1i2.8

Araujo, S., Guzmán O, Rubio, R., Guerrero, P., Rojas, E., Moposita, W. y Guamán , A. (2024). *Nature-based living lab (NB Lab): An undergraduate research experience at the Upper Amazonia*. https://doi.org/10.48661/r1kv-fn29

Baby, P., Rivadenerira, M. y Barragán, R. (2004). *La Cuenca Oriente: Geología y petróleo.* Travaux de l'Institut Français d'Études Andines. https://doi.org/10.4000/books.ifea.2971

Balasco, M., Lapenna, V., Rizzo, E. y Telesca, L. (2022). Deep electrical resistivity tomography for geophysical investigations: The state of the art and future directions. *Geosciences, 12*(12). https://doi.org/10.3390/geosciences12120438

Beauval, C., Mariniére, J., Yepes, H., Audin, L., Nocquet, J.-M., Alvarado, A. y Jomard, H. (2018). A new seismic hazard model for Ecuador. *Bulletin of the Seismological Society of America, 108*(3A), 1443–1464. https://doi.org/10.1785/0120170259

Berlanga, Á. R. (2013). *Aplicación de la tomografía eléctrica en la caracterización del deslizamiento de Doña Mencía*[Trabajo de Maestria, Universidad de Granada]. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/20130924_Tomografia_electrica_TFM_GEOMET_AQB.pdf

Christophoul, F., Baby, P., Soula, J.-C., Rosero, M. y Burgos, J. (2002). Les ensembles fluviatiles néogènes du bassin subandin d'Équateur et implications dynamiques. *Comptes Rendus Geoscience, 334*(14), 1029-1037. https://doi.org/10.1016/S1631-0713(02)01825-4

Christophoul, F., Burgos, J. D., Baby, P., Soula, J., Bes de Berc, S., Dávila, C. y Rivadeneira, M. (2004). Dinámica de la Cuenca de antepaís Oriente desde el Paleógeno.Travaux de l'Institut Français d'Études Andines. https://doi.org/10.4000/books.ifea.2997

Collot, J.Y., Agudelo, W., Ribodetti, A. y Marcaillou, B. (2008). Origin of a crustal splay fault and its relation to the seismogenic zone and underplating at the erosional north Ecuador–south Colombia oceanic margin. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 113*(B12). https://doi.org/10.1029/2008JB005691

Conin, M., Henry, P., Godard, V. y Bourlange, S. (2012). Splay fault slip in a subduction margin, a new model of evolution. *Earth and Planetary Science Letters, 341-344*, 170-175. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.06.003

Cornejo Bazurto, E. C. (2025). *Análisis de la geometría superficial de la falla Porotoyacu mediante tomografía sísmica y resistividad eléctrica: Implicaciones para la evaluación del peligro sísmico[*Trabajo de Maestría no publicada, Universidad Técnica de Manabí].

Costa, C., Alvarado, A., Audemard, F., Audin, L., Benavente, C., Bezerra, F. y Garro, H. (2020). Hazardous faults of South America: Compilation and overview. *Journal of South American Earth Sciences, 104*(102837). https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102837

Cuenca, P., Peñuela Mora, M. C., Maisincho, L. y Celi, J. (2019). *Hacia un manejo adaptativo de la Reserva Biológica Colonso Chalupas y su zona de amortiguamiento: Sistematización de la aplicación de la metodología Manejo Adaptativo de Riesgo y Vulnerabilidad en sitios de conservación (MARISCO).* [Tesis de Pregrado, Cooperación Alemana, GIZ y Universidad Regional Amazónica Ikiam] http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/325

Dahlin, T. y Zhou, B. (2002). Gradient and mid-point-referred measurements for multi-channel 2D resistivity imaging. European Association of Geoscientists & Engineers. https://doi.org/10.3997/2214-4609.201406177

Dahlin, T. y Zhou, B. (2004). A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting, 52*(5), 379-398. https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.2004.00423.x

Dahlin, T. y Zhou, B. (2006). Multiple-gradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging. *Near Surface Geophysics, 4*(2), 113-123. https://doi.org/10.3997/1873-0604.2005037

Dután, Q. y Liced, D. (2021). *Tomografía sísmica en la caracterización de la mega falla Puná-Pallatanga-Cosanga-Chingua.* Informe técnico. http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/564

Ego, F., Sébrier, M., Lavenu, A., Yepes, H. y Egüez, A. (1996). Quaternary state of stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes. *Tectonophysics, 259*(1-3), 101-116. https://doi.org/10.1016/0040-1951(95)00075-5

Eguez, A. y Aspden, J. A. (1993). The Mesozoic-Cenozoic Evolution of the Ecuadorian Andes. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/colloques2/38399.pdf

Eguez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M., Costa , C., Dart, R. y Bradley, L. (2003). *Database and map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions.* U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/ofr03289

Egüez, A., Gaona, M. y Albán, A. (2017). *Mapa geológico de la República del Ecuador (Escala 1:1 000 000)*. Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM). https://historico.mineria.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/Mapa-Geologico-Ecuador.pdf

He, X., Zheng, X., Pu, Z., Qin, W., Duan, D., Xie, P. y Zhang, Q. (2024). Experimental study of the influence of saturation on the resistivity response of sandstone. *Frontiers in Earth Science, 12*(1301184). https://doi.org/10.3389/feart.2024.1301184

Karhunen, K., Seppänen, A., Lehikoinen, A., Monteiro, P. J. y Kaipio, J. P. (2010). Electrical resistance tomography imaging of concrete. *Cement and Concrete Research, 40*(1), 137-145. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.08.023

LaBrecque, D. J., Sharpe, R., Wood, T. y Heath, G. (2004). Small-scale electrical resistivity tomography of wet fractured rocks. *Ground Water, 42*(1), 111-118. https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2004.tb02456.x

Lara Saavedra, H. J. y Briones Vera, M. J. (2023). Deformación y procesos tectónicos en la Península de Manta, Ecuador: Una mirada a través de la estadística y cinemática de las discontinuidades. *Boletín Geológico, 50*(1). https://doi.org/10.32685/0120-1425/bol.geol.50.1.2023.683

Loke, M. H. (2010). *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Geotomo Software. www.geotomosoft.com

Loke, M. H., Chambers, J. E., Rucker, D. F., Kuras, O. y Wilkinson, P. B. (2013). Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method. *Journal of Applied Geophysics, 95*, 135-156. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.02.017

Loke, M. H., Wilkinson, P. B. y Chambers, J. E. (2010). Fast calculation of optimized electrode arrays for 2D resistivity surveys. *Computers & Geosciences, 36*(11), 1414-1426. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.04.007

Medina-Bueno, F., Simbaña-Tasiguano, M., Aguinaga-Barragán, A. y Salgado-Revelo, A. (2023). Análisis del impacto de la pequeña minería en una comunidad amazónica ecuatoriana, dentro del contexto geológico, ambiental y socioeconómico. *Boletín de Ciencias de la Tierra, 54*, 48-63. https://doi.org/10.15446/rbct.n54.109598

Nieto, A. S. (1991). Geología general del nororiente ecuatoriano: L*os terremotos del Ecuador del 5 de marzo de 1987, Deslizamientos y sus efectos socioeconómicos*. https://nap.nationalacademies.org/read/1857/chapter/4

Nocquet, J., Villegas Lanza, J., Chlieh, M., Mothes, P., Rolandone, F., Jarrín, P. y Yepes, H. (2014). Motion of continental slivers and creeping subduction in the northern Andes. *Nature Geoscience, 7*(4), 287–291. https://doi.org/10.1038/ngeo2099

Pastén-Araya, F., Potin, B., Ruiz, S., Zerbst, L., Aden-Antoniów, F., Azúa, K. y Fuenzalida, A. (2021). Seismicity in the upper plate of the Northern Chilean offshore forearc: Evidence of splay fault south of the Mejillones Peninsula. *Tectonophysics, 800*(228706). https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228706

Perdomo, S., Ainchil, J., Kruse, E. y Carretero, S. (2011). *Imágenes de resistividad eléctrica en lentes de agua dulce de la zona costera oriental de la provincia de Buenos Aires.* SEDICI. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26453

Perera, F. L., Calvetty Amboni, B., Paoletti, H. G., Velazquez, P., Bertacca, S. y Salomone, F. (2013). Aplicación de técnicas geofísicas para evaluar un sistema hidrogeológico fracturado en un sector del Macizo del Deseado–Santa Cruz. https://doi.org/10.35537/10915/30338

Pinto-Llona, A. C. y Aracil Ávila, E. (2021). Prospección geofísica por tomografía eléctrica en el abrigo de Sopeña (Asturias, N de España). *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe, 43*, 89-100. https://doi.org/10.17979/cadlaxe.2021.43.0.8770

Porras, D., Carrasco, J., Carrasco, P. y González, P. J. (2022). Imaging extensional fault systems using deep electrical resistivity tomography: A case study of the Baza fault, Betic Cordillera, Spain. *Journal of Applied Geophysics, 202*(104673). https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2022.104673

Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics.* Wiley-Blackwell.

Santamaría, S., Quidelleur, X., Samaniego, P., Audin, L., Le Pennec, J.-L., Hidalgo, S. y Guillou, H. (2023). Timing of Quaternary volcanism and its relationship with tectonics in the central segment of the Ecuadorian Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 442*(107895). https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2023.107895

Seequent. (2023). *RES2DINV ver. 5.0: Rapid 2D resistivity & IP inversion*[Archivo PDF]. https://ags-cloud.dk/AGS/Geotomo%20Manuals/Res2DInv_Manual.pdf

Sibson, R. H. (1977). Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society, 133*(3), 191-213. https://doi.org/10.1144/gsjgs.133.3.0191

Soulas, J. P., Yepes, H. y Pérez, H. (1991). *Tectónica activa y riesgo sísmico en los Andes ecuatorianos y el extremo sur de Colombia.* https://www.researchgate.net/publication/291807721_Tectonica_activa_y_riesgo_sismico_en_los_Andes_ecuatorianos_y_el_extremo_sur_de_Colombia

Steinmann, M., Hungerbühler, D., Seward, D. y Winkler, W. (1999). Neogene tectonic evolution and exhumation of the southern Ecuadorian Andes: A combined stratigraphy and fission-track approach. *Tectonophysics, 301*(3-4), 255–276. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00100-6

Tadeo, A. H. (2014). *Caracterización geofísica somera de la Isla de Jarácuaro, Michoacán*[Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2014/febrero/0709126/0709126.pdf

Villani, F., Tulliani, V., Sapia, V., Fierro, E., Civico, R. y Pantosti, D. (2015). Shallow subsurface imaging of the Piano di Pezza active normal fault (central Italy) by high-resolution refraction and electrical resistivity tomography coupled with time-domain electromagnetic data. *Geophysical Journal International, 203*(3), 1482-1494. https://doi.org/10.1093/gji/ggv399

Villar, A. G. (1996). Abanicos aluviales: Aportación teórica a sus aspectos más significativos. *Cuaternario y Geomorfología, 10*(3-4), 77-124. https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8289741

Zarif, F. M., Elshenawy, A. M. y Barseem, M. S. (2022). Evidence of geoelectrical resistivity values on groundwater conditions in Wadi El Natrun and its vicinities, West Delta, Egypt (case studies). *Scientific Reports, 12*(10745). https://doi.org/10.1038/s41598-022-12644-0