

Niveles peleontológicos de macro fósiles determinados mediante métodos geofísicos en el Bosque Puyango

Peleontological levels of macro fossils determined through geophysical methods in the Puyango Forest

Andrés Álvarez¹, David Chávez², Andrés Gallegos³

¹ Dirección de Innovación, Instituto de Investigación Geológico y Energético, De las Malvas E15-142 y De los Perales, Quito-Ecuador. gerardo.alvarez@geoenergia.gob.ec

² Ing. Geólogo de la Universidad Nacional de Loja. Quito - Ecuador. david_chavez300383@hotmail.com

³ Ing. Geólogo de la Empresa Cruz del Sol (Sold Gold. Quito - Ecuador. andres_glle87@hotmail.com

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 15-11-2018

Fecha de aceptación: 08-03-2019

Resumen

La investigación consiste en la aplicación de métodos geofísicos para detectar macro fósiles (truncos fósiles) en el subsuelo, dentro del Bosque Puyango en las provincias de Loja y El Oro. Geológicamente la zona de investigación se encuentra dentro de la unidad Quebrada Los Sábalos, que está constituida por capas basales de arenisca de grano fino, conglomerados gruesos, arena gruesa volcánico – clástica, arena fina muy compacta con presencia de troncos fósiles aflorantes. Los métodos de prospección geofísica corresponden a sísmica de refracción utilizada específicamente para determinar el tope y la base de las capas o unidades litológicas en el subsuelo y el método eléctrico con sus variantes de sondeos eléctricos verticales (SEV) y calicatas eléctricas, el método sirve para determinar la ubicación de los troncos fósiles debido a la diferencia de resistividad entre éstos y las rocas de las unidades litológicas del subsuelo. Los resultados de los SEV indican que, a la profundidad de 8 a 10 metros se obtuvo el fondo resistivo de posibles anomalías dependientes del perfil investigado.

La aplicación de las calicatas eléctricas simétricas estuvo dirigida a la investigación de anomalías resistivas principalmente en la capa tres de la unidad, a la profundidad constante referida anteriormente. El resultado del método evidencia la presencia de anomalías resistivas entre 60 y 180 Ohm-m las cuales indican la presencia de troncos petrificados que se caracterizan por tener formas redondeadas.

Palabras clave: Geoelectrico, resistividad, prospección geofísica, sísmica de refracción, calicatas eléctricas, fósiles.

Abstract

The investigation consists of the application of geophysical methods to detect macro fossils (fossil trunks) in the subsoil, within the Puyango Forest in the provinces of Loja and El Oro. Geologically, the research area is located within the Quebrada Los Sábalos unit, which it consists of basal layers of fine - grained sandstone, thick conglomerates, volcanic sand, very compact fine sand with the presence of fossil outcrops. The methods of geophysical prospecting correspond to refraction seismic used specifically to determine the top and bottom of the layers or lithological units in the subsoil and the electric method with its vertical electric sounding (VES) variants and electric pits, the method serves to determine the location of the fossil trunks due to the difference in resistivity between them and the rocks of the lithological units of the subsoil. The results of the VES indicate that, at the depth of 8 to 10 meters, the resistive background of possible anomalies dependent on the investigated profile was obtained.

The application of the symmetrical electric pits was directed to the investigation of resistive anomalies mainly in layer three of the unit, at the constant depth referred to above. The result of the method shows the presence of resistive anomalies between 60 and 180 Ohm-m which indicate the presence of petrified trunks that are characterized by rounded shapes.

Keywords: Geoelectric, resistivity, geophysical exploration, refraction seismic, electric pits, fossils.

1. INTRODUCCIÓN

La prospección geofísica es el conjunto de ciencias físicas aplicadas al estudio de la parte sub superficial de la corteza terrestre, enfocada a la búsqueda de recursos minerales, además, está encaminada a resolver problemas geológicos e investigativos [1].

Estas técnicas se emplean habitualmente para determinar: espesores de rellenos o recubrimientos, materiales ripables, niveles freáticos, localización de cavidades u otras heterogeneidades del subsuelo, ubicación de zonas de préstamo, estructura del subsuelo, propiedades geomecánicas de los materiales, localización de fallas o superficies de deslizamiento, espesor de roca alterada, índices de figuración, localización de conducciones subterráneas y, otros.

Para el estudio, al encontrarse en una zona protegida, se debe emplear técnicas no destructivas, las cuales tienen una gran cobertura, se los complementa con ensayos *in situ* y técnicas de investigación directa, como es el caso de los sondeos mecánicos o de las calicatas.

En la investigación se determinó un método geofísico para la detección de evidencias paleontológicas (macro fósiles - troncos fósiles) en el subsuelo, utilizando técnicas no invasivas de geofísica superficial: Sísmica de Refracción y métodos eléctricos (Sondajes Eléctricos Verticales y Calicatas Eléctricas).

Al no contar con registros previos de valores de resistividad eléctrica realizados en macrofósiles especialmente en troncos fosilizados, estos ensayos darán una idea más clara de los rangos de resistividad a los cuales se los podría asociar a los macro fósiles, al ser materia orgánica fosilizada los valores preliminares podrían variar entre 100 a 800 Ohm-m [8], asociado al porcentaje de sílice presente en su estructura.

La aplicación de la geofísica en la prospección es muy importante, debido a que mediante su empleo es posible localizar depósitos minerales o zonas anómalas en el subsuelo, aprovechando para ello algunas de las propiedades físicas que presentan los cuerpos o minerales, en este caso la resistividad eléctrica de materiales fosilizados [3]. Todos los métodos geofísicos estudian la distribución en profundidad de alguna propiedad físico - química del subsuelo, o de alguna característica relacionada con tales propiedades por lo tanto al encontrarse macro fósiles en profundidad estos se los detectara de acuerdo a su propiedad geoelectrica generando así anomalías distintas a las de los materiales en la cual se localizan los fósiles [6].

El levantamiento de la información geofísica se realizó en la quebrada Los Sábalos (Fig. 1), que cruza el Bosque Puyango, ubicado en las Provincias de Loja y el Oro, al suroccidente de Ecuador.

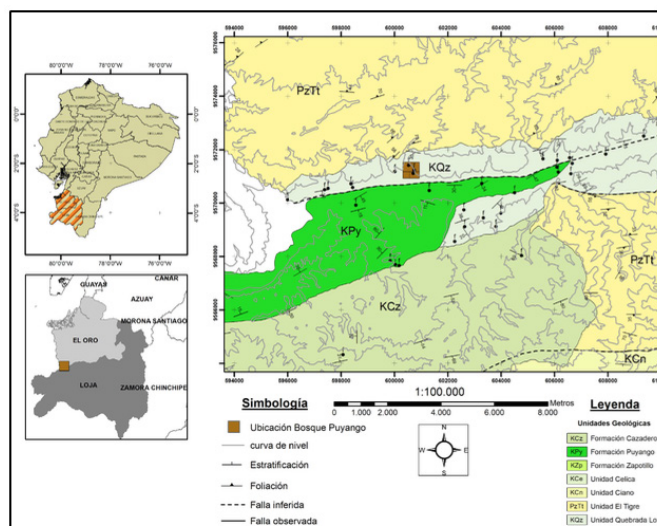


Figura 1: Ubicación zona de investigación en el Bosque Petrificado de Puyango [4].

Geológicamente la zona de investigación se encuentra dentro de la Unidad Quebrada constituida por capas basales de arenisca de grano fino, conglomerados gruesos, arena gruesa volcánico - clástica, arena fina muy compacta con la presencia de troncos fósiles aflorantes.

2. METODOLOGÍA

Los métodos geofísicos de investigación caracterizan las formaciones geológicas o unidades litológicas que se encuentran en subsuelo, se sirven de ciertos parámetros físicos (ver Tabla 1), por ejemplo el método sísmico determina la velocidad de transmisión de las ondas en cada una de las capas o, el método de prospección eléctrica mediante los valores de la resistividad.

Tabla 1: Aplicación de métodos geofísicos en diferentes campos de investigación [6]

Prospección en:	Método	Fenómeno físico observado	Propiedades físicas obtenidas	Aplicación
Superficie	Prospección sísmica (reflexión, refracción)	Ondas elásticas	Velocidad de las ondas elásticas	Estructura y característica dinámica del subsuelo
	Prospección sísmica	Reflexión de las ondas de sonido	Impedancia acústica	Estructura del subsuelo (área marina)
	Prospección eléctrica	Corriente terrestre eléctrica	Potencial espontáneo y resistividad	Estructura del suelo y de aguas subterráneas
	Microgravimetría	Gravedad terrestre	Gravedad	Ubicación de fallas, fracturas, ubicación de cavidades
Profundidad	Sondeo de velocidad (Borehole, downhole, uphole)	Ondas elásticas	Velocidad de las ondas elásticas	Estructura y característica dinámica del subsuelo
	Sondeo PS	Ondas elásticas	Velocidad de las ondas elásticas	Estructura y característica dinámica del subsuelo
	Sondeo de reflexión	Reflexión de las ondas de sonido	Impedancia acústica	Estructuras
	Prospección eléctrica	Corriente eléctrica de la tierra	Potencial espontáneo y resistividad	Estructura del suelo y de aguas subterráneas
	Sondeo radioactivo	Intensidad de los rayos radioactivos	Densidad y contenido de humedad	Propiedades del suelo

Los métodos geofísicos utilizados en la investigación corresponden a sísmica de refracción y prospección eléctrica por medio de la variante de sondeos eléctricos verticales (SEV) y calicatas eléctricas.

Sondeos eléctricos verticales

El método de resistividad eléctrica, mediante Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) es utilizado para investigar las características geoelectricas del subsuelo y la posible presencia de agua subterránea.

Este método está basado en la utilización de corriente continua o alterna con una frecuencia no mayor a 20 Hz, la configuración eléctrica más empleada es Schlumberger, donde, la distancia entre los electrodos de AM y NB son iguales y, $AB/5 > MN > AB/20$.

El método consiste en introducir corriente eléctrica al subsuelo desde la superficie, por medio de dos electrodos A y B llamados electrodos de corriente y medir la caída de potencial eléctrico con dos electrodos M y N, llamados electrodos de potencial ver Fig. 2.

Tanto los electrodos de corriente como los de potencial, se desplazan horizontalmente y en línea recta, alejándose de forma equidistante desde el punto 0, lugar en el que se hace la medición. El área o la línea de investigación es perpendicular a este punto, mientras mayor es la distancia entre los electrodos de corriente (A - B) mayor será la profundidad de investigación [1].

La resistividad que se obtiene no corresponde a una unidad litológica concreta, sino que define al conjunto de materiales afectados por el paso de corriente y se denomina resistividad aparente (ρ_a)

$$\rho_a = K(\Delta V/I)$$

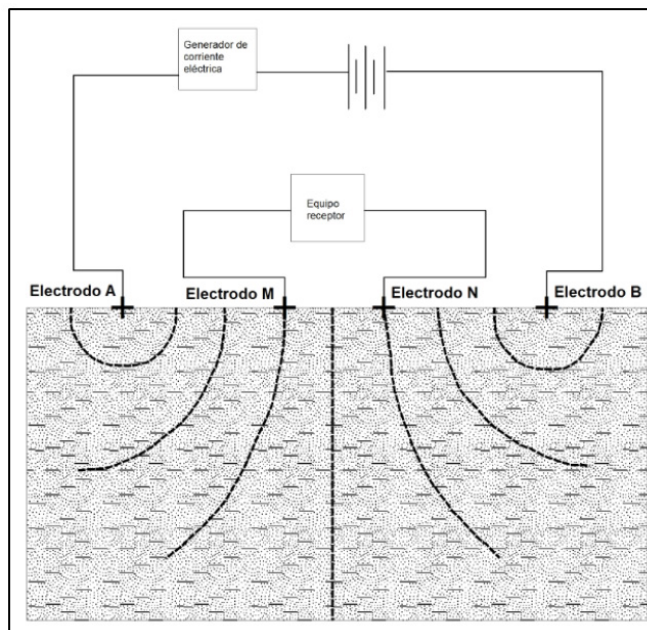


Figura 2: Medida de resistividades en el terreno [1]

En donde: K es la constante de configuración geométrica del dispositivo en cada medida, que depende de las distancias entre los electrodos AM, MB, AN y NB. Modificando la configuración de electrodos se obtienen múltiples posibilidades de investigación.

Lo más frecuente es utilizar configuraciones normalizadas, las más comunes son las denominadas Schlumberger y Wenner.

Los equipos empleados son similares para las distintas configuraciones, consisten en una caja de baterías, electrodos de corriente y potencial, cables de conexión y resistivímetros.

Para la adquisición de datos de sondajes eléctricos verticales, se deberá contar con las respectivas ubicaciones espaciales (UTM), para luego, proceder a emplear el equipo de resistividad eléctrica marca ABEM modelo Terrameter SAS 1000; diseñado para este estudio con la configuración Schlumberger anteriormente indicada, se ejecuta un muestreo de información resistiva con apertura de $AB/2$ desde 1 m hasta un máximo de 100 m, con esto se obtiene una profundidad de investigación aproximada de 37 m; considerando que:

Se inicia con un $AB/2 = 1\text{m}$ y $MN/2 = 0,5\text{m}$ y se termina en $AB/2 = 100\text{m}$ y $MN/2 = 10\text{m}$, ver Fig 3.

Los resultados se ilustran en un gráfico a escala logarítmica: en el eje X la distancia $AB/2$ de cada medida y en el eje Y la resistividad aparente de cada punto. El gráfico obtenido denominado curva de campo se analiza con la ayuda del software IPI2Win, luego, se establecen los espesores de las capas y las resistividades verdaderas correspondientes a cada una, las mismas que, en una segunda etapa, se utilizan para efectuar un análisis hidrogeológico de los sitios donde se realizaron los SEV.

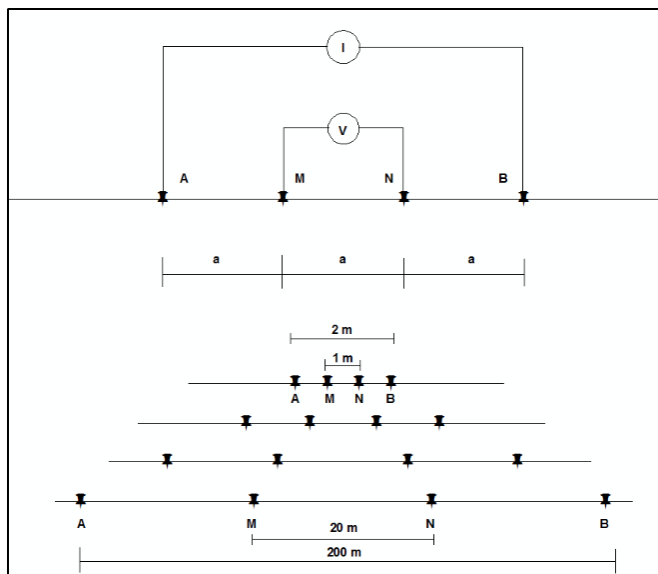


Figura 3: Medida de resistividades en el terreno [3]

Calicatas Eléctricas

El método permite investigar las variaciones laterales de resistividad; las mediciones se realizan mediante cualquiera de los dispositivos eléctricos ubicados a lo largo de perfiles marcados en el terreno, paralelos o no y, hasta una profundidad más o menos constante.

Para la adquisición de datos de calicatas eléctricas, que tendrán sus respectivas ubicaciones espaciales (UTM), se empleó el equipo de resistividad eléctrica marca ABEM modelo Terrameter SAS 1000, elaborando para este estudio la configuración Schlumberger previamente establecida con base en los resultados de los SEV. En este caso el levantamiento de información se realizó con un MN igual a 2,5 m y una abertura de AB/2 igual a 10 m y el valor del coeficiente K fue de 58,9 m, con lo que se alcanza una profundidad de investigación aproximada entre 8 y 10 m.

Los resultados se presentan en un gráfico a escala horizontal 1:500 y vertical 1:2000, en el eje X se colocan las distancias de medición en metros y en el eje Y la resistividad aparente de cada punto. Esta curva es la que se interpreta en gabinete para obtener los cambios laterales de las resistividades a una misma profundidad. En total se realizaron cuatro calicatas eléctricas, el método proporcionó datos que facilitaron la identificación de evidencias paleontológicas (Macro fósiles – troncos fósiles).

Características de los dispositivos y toma de datos

En primer lugar, se colocan 4 electrodos para NM de acero inoxidable con una longitud de 1 m (AB es de hierro común), las mediciones comienzan a tomarse desde la abscisa 0+000 del tendido de la línea sísmica, el trabajo continúa con un paso de medición igual a 5 m; el punto final del tendido eléctrico depende de la disponibilidad de superficies planas en el terreno (no mayor a 25% de pendiente), intentando siempre seguir una

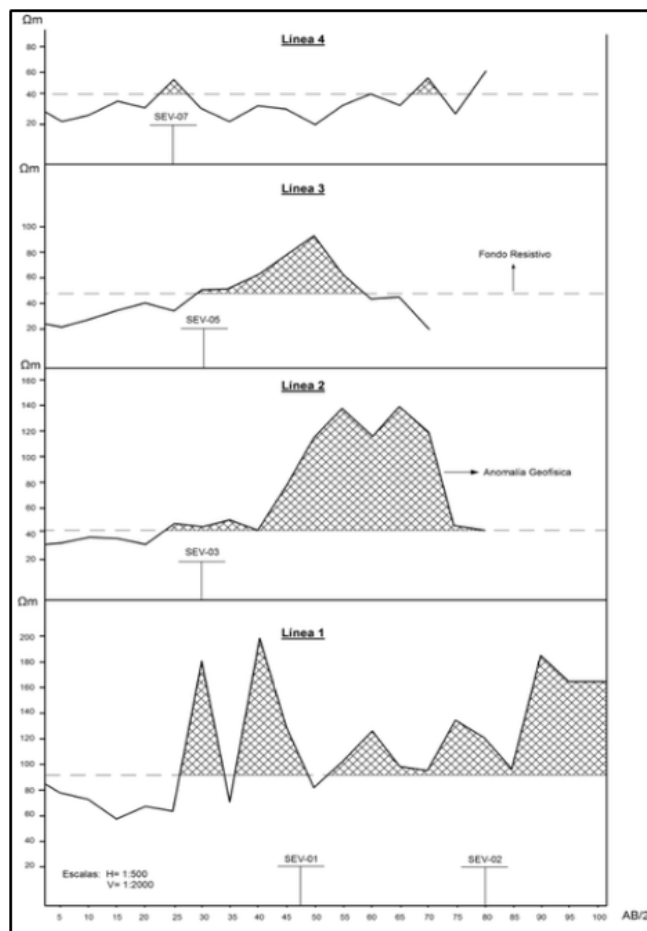


Figura 4: Anomalías resistivas en el subsuelo

línea recta y manteniendo un AB/2 y MN/2 constantes. Ha sido posible obtener hasta 21 mediciones utilizando la configuración Schlumberger dependiendo, obviamente, de la topografía del terreno (Ver fig. 8).

Todas las capas del subsuelo investigadas presentan una baja a muy baja permeabilidad primaria o intergranular, es decir, con características hidrológicas muy limitadas, no se encontraron corrientes de agua subterránea con interés hidrogeológico.

Las calicatas eléctricas simétricas estuvieron orientadas hacia la investigación de anomalías resistivas a una profundidad constante entre 8 y 10 m, principalmente en el interior de la capa 3.

Según los resultados de los SEV, a la profundidad indicada se identificó el fondo resistivo de estos depósitos que, como se dijo, oscilan entre 38 y 92 Ohm-m, dependiendo del perfil investigado.

En el área de investigación existen anomalías resistivas registradas sobre dos medios conductores y resistivos que se detectan dentro de esta capa, que dan como resultado resistividades anómalas entre 60 y 180 Ohm-m, como se muestran en las gráficas de calicatas en color verde. La estructura alargada de las mencionadas anomalías se debe posiblemente a la presencia de troncos petrificados, que se caracterizan por tener formas redondeadas y resistividades muy altas, ver Fig 4.

Método sísmico

Estudia la propagación en el terreno de las ondas sísmicas producidas artificialmente y que establecen su relación con la configuración geológica del subsuelo. La velocidad de propagación depende básicamente de las constantes elásticas y de la densidad del medio.

Los contactos entre los cuerpos geológicos con diferente velocidad de transmisión de las ondas sísmicas, definen superficies de separación en las que las ondas sufren refracción, reflexión o difracción (ley de Snell), [7]

Sísmica de refracción

El método de sísmica de refracción (ver Fig. 5) consiste en determinar la onda P (primaria) al viajar directamente a través de las capas superficiales y ser refractada por capas subyacentes de mayor velocidad sísmica.

Este método es el más utilizado para proporcionar información detallada a lo largo de una línea donde la geología no es demasiado compleja o, donde la variación litológica o estructural en el basamento tiene más interés que las variaciones en la sobrecarga [3].

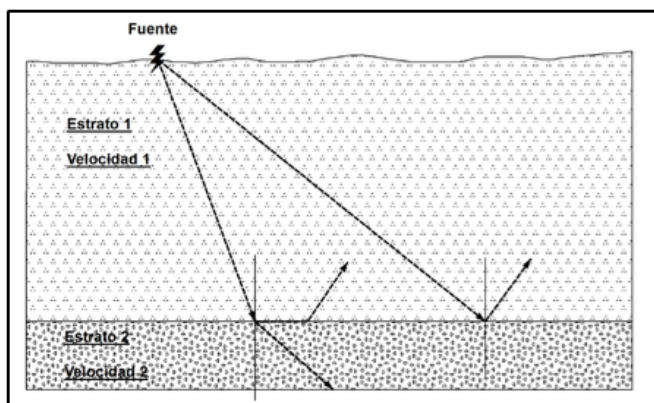


Figura 5: Refracción de la trayectoria de los radios a través de dos medios [2]

Levantamiento de información mediante sísmica de refracción

Esta adquisición se lo hizo sobre materiales cretácicos, con el fin de determinar a través de perfiles sísmicos, un posible estrato que contenga evidencias paleontológicas, con sus respectivas coordenadas en UTM y la elevación de cada línea sísmica.

Con base en la topografía del terreno se diseñaron 4 líneas sísmicas con una longitud de 115 m en dirección norte – sur, paralelas a la quebrada Los Sábalos, con el fin de obtener una resolución vertical funcional. El cable de conexión del tendido del equipo empleado cuenta con la misma longitud mencionada (115 m), esto ha permitido instalar 24 geófonos con un

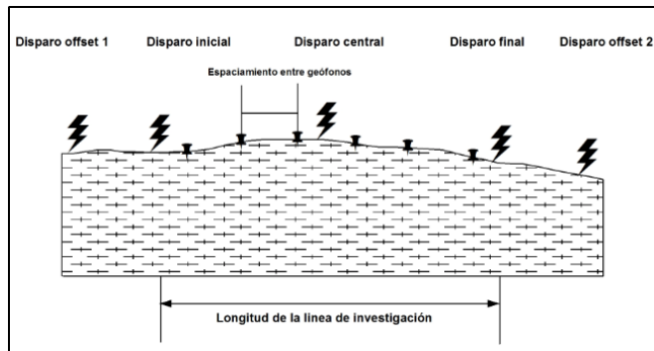


Figura 6: Ubicación de geófonos y disparos en el terreno

espaciamiento equidistante de 5 m entre cada uno, ver figura 6.

Para la fase de levantamiento de la información con el método de sísmica de refracción se utilizó el sismógrafo GEOMETRIC modelo ES_3000, con almacenamiento directo de los datos en una PC portátil, 24 geófonos verticales de 14 Hz, un cable de conexión para geófonos, un cable accionador y una batería que actúa como fuente de energía para el sismógrafo.

El resultado de los tiempos de recepción de información y llegada de las primeras ondas registradas desde el momento de la explosión, se denomina curva dromocrónica, ver Fig. 7.

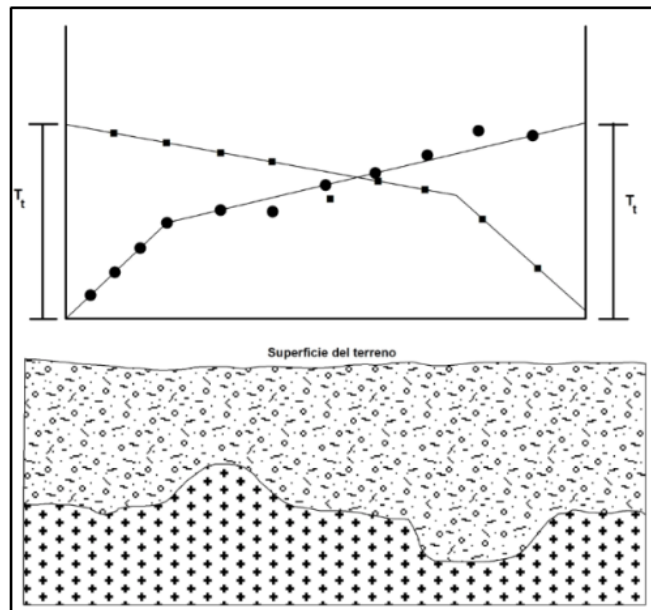


Figura 7: Curva dromocrónica

Características del tendido

De acuerdo con la topografía del terreno, se han diseñado 4 líneas sísmicas (Ver fig. 8) con una dirección aproximada suroeste-noreste paralelas a la quebrada Los Sábalos, esto con el fin de obtener una resolución vertical funcional. El cable de conexión de geófonos del equipo empleado cuenta con la longitud de 115 m por lo que permitió realizar un tendido de 24 geófonos con un espaciamiento equidistante entre ellos de 5 m.

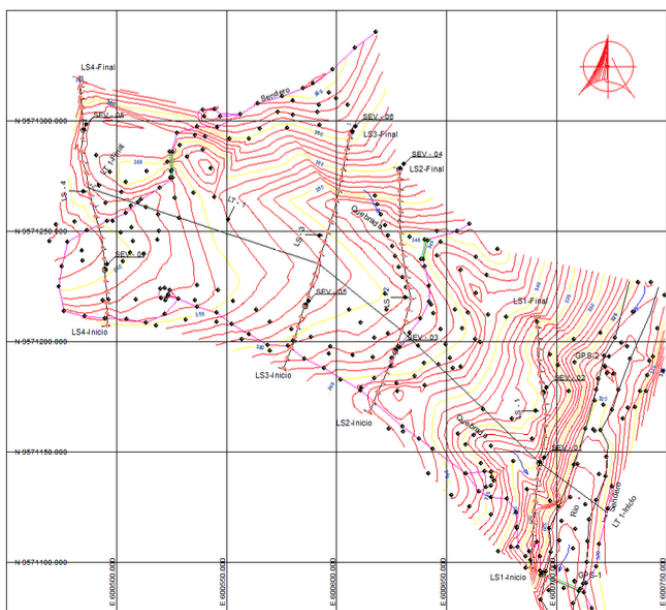


Figura 8: Mapa de ubicación de líneas sísmicas y sondeos eléctricos verticales

Para colocar la fuente sísmica (explosivo – dinamita) inicialmente se realizaron perforaciones de aproximadamente 70 cm con un diámetro de 76 mm, luego se colocó la carga explosiva con los cables respectivos, el agujero fue rellenado y cubierto totalmente con el mismo material extraído.

Los puntos de disparo y los disparos largos se realizaron pensando en la cantidad necesaria de carga explosiva, por lo tanto se han configurado 5 detonaciones o tiros, dispuestos de la siguiente manera:

- 3 tacos (300 g de explosivo) ubicados a 30 m fuera del punto 0+000 y 0+115 (geófonos 1 y 24 respectivamente).
- 2 tacos (200 g de explosivo) ubicados a 1,5 m fuera del punto 0+000 y 0+115 (geófonos 1 y 24 respectivamente).
- 1 taco (100 g de explosivo) ubicado en la abscisa 57,5 m es decir a 2,5 m entre los geófonos 12 y 13.

La cantidad de explosivos utilizada fue suficiente para obtener registros sísmicos claros e interpretables.

Para la adquisición de los datos a lo largo de una línea sísmica, se debe ubicar el cable de conexión sobre el terreno en la dirección deseada (líneas sísmicas ya establecidas) a continuación se acoplan los geófonos en el terreno y se los conecta al cable sísmico.

Luego de cumplir con estos pasos, se conecta el cable de conexión al cable de disparo del sismógrafo, finalmente, con ausencia total de ruidos en el entorno se procede a realizar la detonación generadora del impulso sísmico, mientras el sismógrafo graba los datos de las ondas producidas.

Una actividad posterior muy importante es la verificación de los resultados registrados en el receptor o, si es necesario, aplicar filtros para atenuar los resultados debidos a la presencia de ruido.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio geológicamente se ubica en la unidad Quebrada Los Sábalos (KQs) ver Fig.1, se presenta como una franja alargada con una dirección preferencial E – O, donde sus afloramientos se los observa en las quebradas afluentes al norte y sureste de la falla rio Puyango, ubicándose su afloramiento tipo en la quebrada Los Sábalos.

La unidad se encuentra sobreyaciendo discordantemente a la unidad El Tigre (Tr3ET- PzTt) hacia el norte, en contacto tectónico con las rocas metamórficas al sureste y al sur su contacto es discordante con la unidad Ciano (KCn) y unidad Puyango (KPy) ver Fig 1.

La unidad Quebrada Los Sábalos está constituido por capas basales de areniscas grano fino silicificadas, conglomerados gruesos con clastos sub-angulares de composición metamórfica y volcánicas, arena gruesa volcánico- clástica, arena fina muy compacta que contiene a los troncos fósiles incrustados y arena media volcanoclástica [4].

Los niveles de areniscas basales están recubiertos por conglomerados de grano medio, sorteo medio, los que evidencia un ambiente fluvial costero, además existe grietas de desecación y estratificación cruzada [5]. En la quebrada Los Sábalos además de los niveles paleontológicos de macrofósiles se identificaron fósiles de plantas y hojas

Con los registros eléctricos y sísmicos obtenidos en el campo se realizaron las respectivas interpretaciones cualitativas y cuantitativas. Las velocidades sísmicas y las resistividades han permitido subdividir en varios complejos o capas tanto los depósitos de la unidad Quebrada Los Sábalos como las rocas metamórficas (Meta areniscas) de la unidad El Tigre.

En la figura 9 se presentan los seis complejos o capas detectadas con los métodos de sísmica que se han identificado como 1, 2, 3, 4, 5 y 6, con sus respectivas velocidades sísmicas.

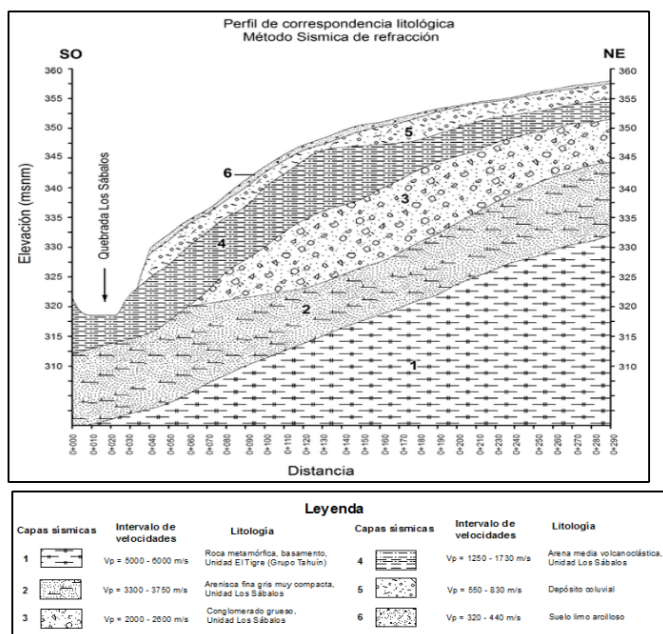


Figura 9: Corte esquemático de capas detectadas con sísmica de refracción

Las fronteras sísmicas y eléctricas son aproximadas, podrían tener variaciones entre el 5% y el 12%, debido a que este estudio constituye una información generada desde una superficie que se encuentra seca, la división de las diferentes capas tanto de la sobrecarga como de la roca de base que conforman el corte geológico del sector investigado, está basada en el estado tensional físico mecánico, mineralógico e hidrológico de las rocas.

La capa superficial 6 que generalmente se la detecta en las partes planas del bosque, está compuesta por un suelo de cobertura limo arcilloso con un espesor irregular de hasta 1,0 m, esta capa representa la menor velocidad sísmica registrada en esta área y que varía entre 320 y 440 m/s; su resistividad es alta y oscila entre 160 y 874 Ohm-m, la cual se la puede relacionar con suelos sub-superficiales con baja humedad.

Los depósitos coluviales que forman la capa 5 ocupan toda el área del bosque y su velocidad sísmica promedio es 690 m/s, esta capa se mantiene bastante húmeda en la parte central y menos en las laderas, la potencia máxima de esta capa es 5,50 m, se encuentra superficialmente la presencia de algunos troncos petrificados de grandes dimensiones.

La capa 4, con velocidades entre 1250 y 1730 m/s, está representada por depósitos de arena y volcanoclasticos, con una potencia variable de 0,0 a 10,80 m, su resistividad verdadera fluctúa entre 38 y 92 Ohm-m.

La capa 3 está representada por conglomerados con velocidades entre 2000 y 2600 m/s, en esta capa se detectan las resistividades más bajas que oscilan entre 18 y 65 Ohm-m, debido posiblemente a la presencia de un cierto grado de humedad con presencia de sales disueltas o, al contenido en la matriz de capas delgadas de limolitas.

La capa 2 corresponde a areniscas finas grises muy compactas de la unidad Los Sábalos, está poco alterada y fracturada, sus velocidades sísmicas oscilan entre 3300 y 3750 m/s. La resistividad eléctrica en esta capa generalmente es alta y oscila entre 54 y 1376 Ohm-m.

La capa 1 con 5000-6000 m/s y 220-276 Ohm-m de resistividad, representa la mayor velocidad sísmica encontrada en el sitio investigado, litológicamente correspondería a rocas metamórficas de la Unidad El Tigre la cual tiene una potencia mayor a los 10,0 m.

A lo largo de los perfiles LS-1, LS-3 y LS-4 (ver Fig. 10), existen anomalías aisladas relacionadas con troncos petrificados separados, mientras que en el perfil LS-2 se detectan anomalías conjuntas o unidas entre sí, representarían a troncos dispuestos muy cerca uno del otro. Se ha mencionado la utilización de métodos eléctricos para determinar niveles paleontológicos (troncos fósiles) en el Bosque Puyango, se podría analizar la posibilidad de realizar tomografías eléctricas con otras configuraciones similares y verificar la existencia de dichos niveles paleontológicos, las mencionadas configuraciones ofrecerán un mayor detalle de información, la cual necesitará ser analizada cuidadosamente para establecer un tipo de correlación (afirmación o negación) con los métodos aplicados en la presente investigación.

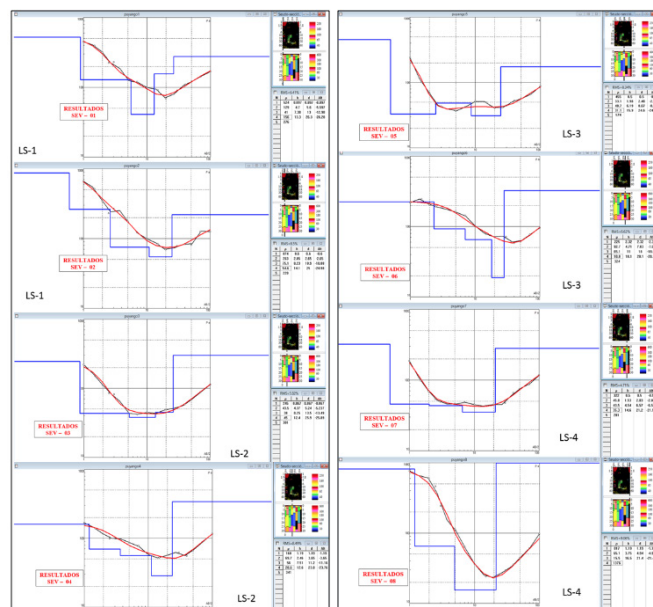


Figura 10: Perfiles geoelectricos realizados en el Bosque Petrificado de Puyango y sus alrededores.

4. CONCLUSIONES

De los métodos geofísicos empleados en la presente investigación, los más convenientes y que mejores resultados han proporcionado en la detección de los troncos petrificados en el Bosque Puyango, es el de resistividad eléctrica tanto en las variantes de sondeos eléctricos verticales, como en las calicatas eléctricas simétricas.

El método de sísmica de refracción sirvió para subdividir e indicar en forma más detallada la geometría interna de las capas geofísicas que conforman el corte geofísico del Bosque Petrificado de Puyango.

La mayor cantidad de anomalías relacionadas con la presencia de troncos petrificados se ha detectado junto a la quebrada Los Sábalo, tales anomalías disminuyen conforme se alejan de ella.

Los datos obtenidos de los sondeos eléctricos verticales ayudaron para el registro y correlación con el método sísmica de refracción, en concordancia con las variaciones de los espesores de las capas del subsuelo. Los valores determinados en los sondeos eléctricos verticales denotan un marcado cambio de resistividad entre las capas subsuperficiales y el basamento metamórfico caracterizado por la capa 1, en la cual la resistividad aumenta considerablemente en relación con las capas sedimentarias suprayacentes (ver Fig. 9).

Existe la posibilidad de encontrar anomalías resistivas relacionadas con la presencia de troncos petrificados en el interior de las capas 2 y 4, debido a los diferentes valores de anomalías presentes en los perfiles geoeléctricos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro especial agradecimiento a la empresa GEOSOIL por su valioso aporte en el proceso de la relación interinstitucional.

Un reconocido agradecimiento al Ingeniero Geofísico Víctor Espinosa por todas las enseñanzas y el interés demostrado en el proceso de levantamiento de la información de campo y en la interpretación de datos en gabinete.

También al Ingeniero Erith Muñoz por sus comentarios y observaciones realizadas en la redacción del presente trabajo de investigación.

De igual manera, a todos los ayudantes de campo y guías de la zona, quienes prestaron su contingente para trasladar los equipos y llevar a cabo todos los ensayos de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cantos Figuerola, J. (1974). Tratado de geofísica aplicada. Madrid: Madrid Litoprint.
- [2] Espinosa, V. (2013). Geofísica aplicada a las investigaciones paleontológicas mediante los métodos de sísmica de refracción y resistividad eléctrica. Quito.
- [3] González de Vallejo, L. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación.
- [4] INIGEMM. (2013). Hoja geológica Puyango escala 1:50 000. Quito: Instituto Nacional de Investigación Geológica Mineral Metalúrgico.
- [5] Jaillard, E., Laubacher, G., Bengtson, P., Dhondt, A., & Bulot, L. (1999). Estratigrafía y Evolución de la Cuenca Cretácica Ante-Arco Celica-Lancones en el Suroeste del Ecuador. *Earth Sciences*, 51-68.
- [6] McDowell, P., Barker, R., Butcher, A., Culshaw, M., Jackson, P., McCann, D., . . . Arthur, J. (2002). *Geophysics in engineering investigations*. London.
- [7] Monreal, R. (2013). LA EXPLORACIÓN GEOLÓGICA. CTS EPISTEMUS, 73-77.
- [8] Orellana, E., & Mooney, H. (1966). Tablas y curvas patrón para Sondeos Eléctricos Verticales sobre terrenos estratificados. *Interciencia*, 34.