EXPLORACIÓN GEOELÉCTRICA (SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES Y TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS) EN EL ÁREA GEOTÉRMICA DE PAIPA (BOYACÁ)

Bogotá, junio de 2010

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
SERVICIO GEOLÓGICO
INGEOMINAS

Libertad y Orden

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
INGEOMINAS

EXPLORACIÓN GEOELÉCTRICA (SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES Y TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS) EN EL ÁREA GEOTÉRMICA DE PAIPA (BOYACÁ)

Ismael Enrique Moyano Nieto
Geólogo
Subdirección de Recursos del Subsuelo

Bogotá, junio de 2010

CONTENIDO

1. INTRODUCCION 9

1.1. OBJETIVOS 9
1.2. LOCALIZACIÓN 9

2. ESTUDIOS ANTERIORES 11

3. METODOLOGÍA 14

3.1. DEFINICIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV). 14
3.2. MANEJO DE DATOS. 15
3.3. MODELOS GEOELÉCTRICOS 16

4. PROSPECCION GEOELÉCTRICA 18

4.1. DATOS DE CAMPO 19
4.2. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 19
4.2.1 Generación de modelos geoeléctricos 19
4.2.2 Evaluación de la calidad de los SEV 22

5. ANALISIS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION 23

5.1. CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS. 23
5.2. MAPAS DE ISORESISTIVIDAD 25

6. TOMOGRAFIAS ELECTRICAS 34

6.1. MARCO TEORICO 34
6.2. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 36
6.2.1 Tomografía 01 37
6.2.2 Tomografía 02 38
6.2.1 Tomografía 03 39
6.2.2 Tomografía 04 40
6.2.3 Tomografía 05 41

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 42

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio (Tomada de Google Maps). 10
Figura 2. Localización de los SEV realizados en 1982 11
Figura 3. Área de cubrimiento con SEM (Vásquez, 2002) 12
Figura 4. Arreglo electródico tipo Schlumberger 15
Figura 5. Ejemplo de manejo de datos de campo y ajuste de la curva del SEV. 16
Figura 6. Ejemplo de interpretación de un SEV. 16
Figura 7. Resistividades comunes de algunas rocas y materiales 17
Figura 8. Mapa geológico del área de estudio. 21
Figura 9. Distribución de la resistividad aparente a 10 metros de profundidad 25
Figura 10. Distribución de la resistividad aparente a 20 metros de profundidad 26
Figura 11. Distribución de la resistividad aparente a 30 metros de profundidad 27
Figura 12. Distribución de la resistividad aparente a 50 metros de profundidad 28
Figura 13. Distribución de la resistividad aparente a 75 metros de profundidad 29
Figura 14. Distribución de la resistividad aparente a 100 metros de profundidad 30
Figura 15. Distribución de la resistividad aparente a 150 metros de profundidad 31
Figura 16. Distribución de la resistividad aparente a 200 metros de profundidad 32
Figura 17. Arreglo electródico para tomografías eléctricas (Wenner) 34
Figura 18. Localización de Tomografías 36
Figura 19. Tomografía eléctrica 1. 37
Figura 20. Localización de tomografías 1, 2, 4 y 5. 38
Figura 21. Tomografía eléctrica 2 38
Figura 22. Localización de tomografía 3 “El Hervidero” 39
Figura 23. Tomografía eléctrica 3 40
Figura 24. Tomografía eléctrica 4 40
Figura 25. Tomografía eléctrica 5 41

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Localización de los SEV realizados. 18
Tabla 2. Descripción Geológica de las unidades presentes y SEV realizados sobre ellas. 23
Tabla 3. Caracterización geoeléctrica de las unidades Geológicas. 24

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXOS 1. DATOS DE CAMPO SEV..... 45
ANEXOS 2. MODELOS GEOELECTRICOS..... 47
ANEXOS 3. DATOS TOMOGRAFIAS 49

RESUMEN

Como parte del proyecto de Exploración de Recursos Geotérmicos adelantado por INGEOMINAS en el área geotérmica de Paipa (Boyacá), se adquirieron, procesaron e interpretaron un total de 77 sondeos eléctricos verticales y 5 tomografías eléctricas en un área de 143 Km^2 cubriendo tanto las zonas con depósitos y estructuras de origen volcánico como los principales puntos de emergencia de fuentes termales. Con la información de los modelos geoeléctricos generados y la información geológica disponible para el área de trabajo, se construyó una tabla de relación de la resistividad con los posibles materiales encontrados así como su posible saturación con agua, concentrada particularmente en anomalías inferiores a 10 Ohm.m relacionadas con la presencia de agua caliente y/o salobre. Se procesaron mapas de isoresistividad aparente a 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150 y 200 metros de profundidad a partir de los cuales se identificaron dos zonas principales con registro de anomalías de resistividad relacionadas con aguas salobres y/o termales: la zona Lanceros – aeropuerto - Sochagota que tiene un marcado control estructural sobre el ascenso de fluido (fallas El Bizcocho, Canocas, Cerro Plateado y El Hornito) hasta cerca de 50 metros de profundidad a partir del cual la anomalía se expande saturando los depósitos superficiales más recientes. Para la zona La Playa - Olitas se identificó una anomalía de baja resistividad a 200 metros de profundidad sin manifestación termal y/o salobre en superficie, pero sí fuentes de emisión de gases (El Hervidero), en donde mediante tomografía eléctrica se identificó una zona de mayor fracturamiento que favorece la permeabilidad y ascenso de fluidos igualmente relacionados con una estructura de falla (Falla Cerro Plateado). Para el área de estudio, en donde existen fuentes salobres calientes y frías, se encontró que el método de resistividad eléctrica empleado permite determinar zonas de muy baja resistividad que se asocia a éstas fuentes salobres, sin poderse determinar si éstas son calientes o no.

ABSTRACT

As a part of the Geothermal Resources Exploration project, carried by INGEOMINAS at the geothermal area of Paipa (Boyacá), 77 vertical electric soundings and 5 electrical tomographies were acquired, processed and interpreted in an area of 143 square kilometers covering the volcanic - related structures and deposits and also the main thermal springs. With the information generated from the resistivity models and the geology and geochemistry for the survey area, were elaborated a comparison table between the resistivity and the ground materials and also the potential content of groundwater, focused principally on anomalies below 10 ohm.m related to hot and/or salty water. There were generated apparent resistivity maps at depths of 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150 and 200 meters with which were identified two zones with low resistivity anomalies related with hot and/or salty water: the Lanceros – aeropuerto - Sochagota zone that showed high structural control on fluid rise (El Bizcocho, Canocas, Cerro Plateado and El Hornito faults) from depth to 50 meters below surface, where the low resistivity anomaly spreads into the recent deposits. For the La Playa - Olitas zone were identified a low resistivity anomaly at 200 meters below surface, not related to any surface hot and/or salty spring but with the presence of gas springs (El Hervidero) where with an electrical tomography were identified a highly fractured zone related to a fault zone (Cerro Plateado Fault) that increases the permeability and helps for the fluid and gas ascent. For this study area, with the presence of both hot and cold salty springs, the electrical resistivity method applied helped to identify very low resistivity zones associated to this water, but it could't be determinate if those were hot or not.

1. INTRODUCCION

Como parte del proyecto de exploración de recursos geotérmicos adelantado por INGEOMINAS en el área del Municipio de Paipa (Departamento de Boyacá) se efectuaron, en los meses de noviembre de 2009 y marzo de 2010, dos campañas de adquisición de datos geoeléctricos, durante las cuales personal de INGEOMINAS realizó 77 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y 05 tomografías eléctricas dentro del área de trabajo. El presente informe contiene el procesamiento, interpretación y análisis de los datos, como un aporte para la consolidación del modelo geotérmico para el área de estudio.

1.1. OBJETIVOS

- Adquirir, procesar e interpretar información geoeléctrica (Sondeos Eléctricos Verticales –SEV y tomografías eléctricas) en el área geotérmica de Paipa (Boyacá), del proyecto de exploración de recursos geotérmicos que adelanta INGEOMINAS.

- Evaluar la relación entre las propiedades geofísicas interpretadas con la presencia de aguas termales y/o salobres en el subsuelo.

1.2. LOCALIZACIÓN

La zona de trabajo está localizada al sur-oriente del casco urbano del Municipio de Paipa, abarca una extensión de 143 km^2 correspondiente al cubrimiento del mapa “Geología del sector del sur del Municipio de Paipa (Boyacá)” realizado por INGEOMINAS (Velandia, F. Cepeda H. 2004, escala 1:25.000).

Figura 1. Localización del área de estudio (Tomada de Google Maps).

2. ESTUDIOS ANTERIORES

A continuación se describen, de manera breve, los estudios geofísicos realizados dentro del área de estudio, haciendo énfasis en los aspectos relevantes y/o útiles para el análisis y procesamiento de información en el presente informe.

Aplicación del método geoeléctrico para los cuerpos volcánicos del sector carbonífero San Nicolás-Salitre. (PALACIO, T. Informe No. 1897 INGEOMINAS, 1982). Se realizaron 24 SEV en el sector conocido como "El Durazno", en el que afloran rocas con intensa alteración hidrotermal (Brecha Hidrotermal, mapa geológico) entre rocas de la Formación Guaduas. El objetivo principal del estudio fue la delimitación en profundidad del "cuerpo volcánico", con un enfoque destinado a la valoración del potencial carbonífero en el sector.

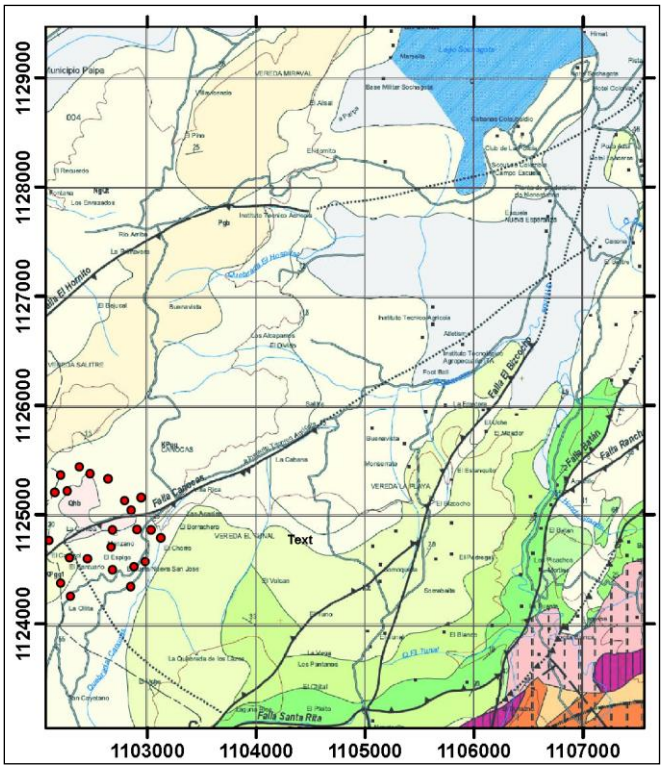


Figura 2. Localización de los SEV realizados en 1982

A partir de los SEV realizados se concluye que el “cuerpo volcánico” tiene una resistividad más alta (100-200 Ω.m) en comparación con las rocas arcillosas del terciario (menor a 100 Ω.m).

Exploración geofísica con el método electromagnético en el municipio de Paipa (VASQUEZ, L. 2002).
Utilizando el método de sondeos electromagnéticos (SEM), se realizó un cubrimiento del área que presenta manifestación de fuentes termales (figura 3) para establecer la resistividad de los materiales del subsuelo.

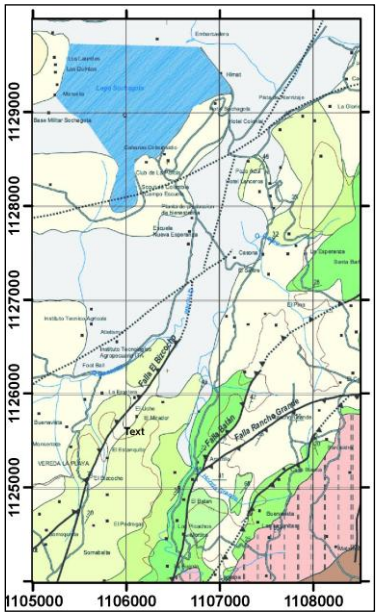


Figura 3. Área de cubrimiento con SEM (Vásquez, 2002)

La hipótesis de trabajo para este estudio se basó en que, dentro del área estudiada, las aguas termales presentan un elevado contenido de sales lo cual hace que tengan una conductividad alta y, por lo tanto, se espera que la resistividad eléctrica de los materiales saturados con estas aguas sea lo suficientemente baja (menor a 11 Ω.m) como para diferenciarlos del entorno geológico.

Con la información interpretada se construyeron perfiles y mapas de isoresistividad a 5, 25, 50, 100 y 150 metros de profundidad, resaltando las zonas que registraran resistividades menores a 11 Ω.m como áreas en las que la roca posiblemente se encuentra saturada con agua salobre.

De igual forma se realizó una caracterización de la resistividad del agua en función de la temperatura con la cual se generaron mapas de distribución de la temperatura a 5, 25, 50, 100 y 150 metros de profundidad.

Se determinó que la resistividad del agua decae con el aumento en la temperatura y el contenido de SDT y, a su vez, la resistividad media de la roca presenta este mismo

comportamiento tomando como referencia valores inferiores a 1 Ω.m para rocas que contengan agua termal. Bajo esta hipótesis se interpreta la presencia de aguas termales en varios puntos del área de trabajo a profundidades que van desde superficiales hasta más de 130 metros al sur-occidente de la zona estudiada (predio de la UPTC e ICBF), recomendando la realización de perforaciones exploratorias para comprobar estas observaciones.

3. METODOLOGÍA

A continuación se presenta, de manera general, un marco conceptual sobre los fundamentos del método empleado así como los criterios utilizados para el manejo, análisis e interpretación de la información levantada en campo

3.1. DEFINICIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV).

Los métodos eléctricos de prospección geofísica están basados en la estimación de las propiedades eléctricas de los materiales presentes en el subsuelo, buscando establecer la relación de estas características con la composición y otras propiedades físicas-químicas de las rocas.

En el caso de los SEV, se introduce una corriente (miliamperios) en el subsuelo utilizando dos electrodos: A y B (electrodos de corriente) y se mide la diferencia de potencial (Voltaje) entre otros dos electrodos: M y N (electrodos de potencial). Estos cuatro electrodos van ubicados sobre una línea recta, con A y B en los extremos y MN en el medio (Figura 4).

Con la información de corriente, voltaje y distancia entre electrodos se puede calcular la "resistividad aparente" del terreno, la cual se deriva de la ley de Ohmn y está expresada por la ecuación:

$$\rho a = k * \Delta V/I$$

En donde "ρa" es la resistividad aparente, "ΔV" es la diferencia de potencial (voltaje) entre los electrodos MN, "I" es la corriente eléctrica medida entre los electrodos AB y "*k"* es una constante geométrica relacionada al arreglo electródico.

Los sondeos realizados para el presente proyecto utilizaron el arreglo electródico tipo "Schlumberger", en el cual se incrementa la separación entre los electrodos de corriente AB, mientras que los electrodos de potencial MN permanecen fijos a una distancia preferiblemente inferior a 1/5 de AB; esta distancia se varía cuando la diferencia de potencial entre los electrodos MN es muy baja y no puede diferenciarse del potencial natural del suelo. Para este caso, la ecuación de resistividad aparente sería la siguiente:

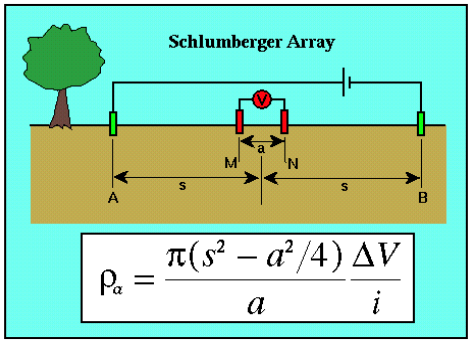


Figura 4. Arreglo electródico tipo Schlumberger

En donde "S" corresponde a la distancia desde el centro del arreglo hasta cada electrodo de corriente (AB/2) y "a" equivale a la distancia entre los electrodos de potencial MN.

3.2. MANEJO DE DATOS.

Con los datos obtenidos en el terreno se construye una gráfica de ρa vs AB/2, (escala log/log), que registra la variación de la resistividad aparente del terreno con el incremento en la profundidad teórica de sondeo (distancia AB/2); dicha gráfica debe ser una línea curva continua y suave con pendientes ascendentes menores de 45º y descendentes inferiores a 80º. Por lo anterior, se debe realizar una revisión de los valores de resistividad aparente obtenidos en campo, para identificar datos anómalos que no estén relacionados con las propiedades del terreno; dichos datos son eliminados con el objeto de obtener una gráfica con las características anteriormente descritas.

De igual manera, cuando se varía la distancia entre los electrodos de potencial (MN), se repite la medida de resistividad aparente del terreno para los dos últimos valores de AB correspondientes a la distancia MN inicial, obteniendo dobles valores de resistividad para el mismo punto (empalmes) que, en condiciones ideales de homogeneidad del terreno y circunstancias de medición, deberían ser idénticos toda vez que corresponden a un mismo espesor de roca. Sin embargo por la gran cantidad de variables que inciden en la toma de los datos, estos puntos pueden no coincidir y es necesario realizar ajustes tales como eliminar algunos de estos puntos dobles para suavizar la curva de resistividad o trasladar verticalmente algunos de los tramos hasta hacerlos coincidir en una misma curva.

Ejemplo:

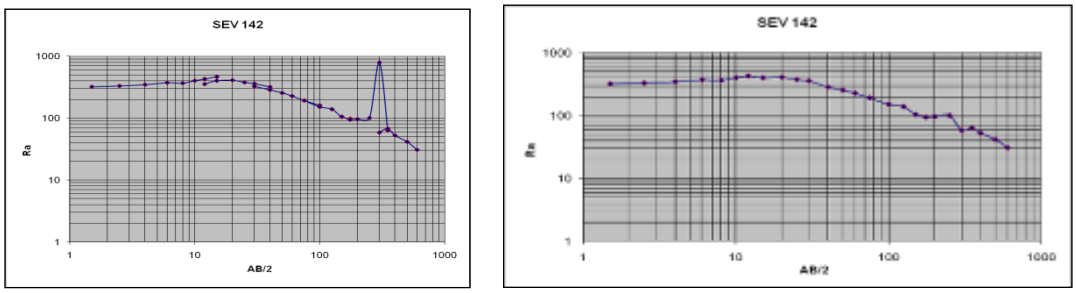


Figura 5. Ejemplo de manejo de datos de campo y ajuste de la curva del SEV. A los datos originales (izq) se les depura eliminando empalmes y datos anómalos para obtener una curva más homogénea (der).

3.3. MODELOS GEOELÉCTRICOS

Una vez graficados los datos de variación de la resistividad aparente Vs. distancia AB/2, se procede a la interpretación de la información mediante la modelación teórica superponiendo capas, con resistividades y espesores tales, que formen una curva de resistividad aparente lo más similar posible a la obtenida en el terreno, tomando como base que cada inflexión o cambio de pendiente en la curva supone un cambio en la resistividad del terreno (cambio en el material, tipo o saturación de fluido). Esta inversión de los datos de campo puede ser realizada a mano empleando curvas tipo para diferente número de capas ó mediante un *software* especializado que agiliza el proceso.

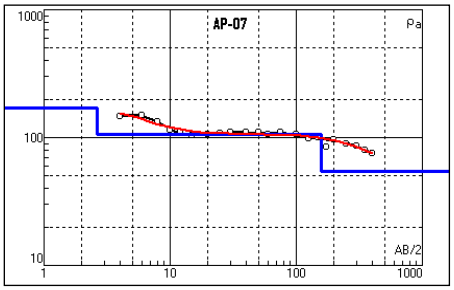


Figura 6. Ejemplo de interpretación de un SEV. Se observan los datos de campo (puntos blancos), 3 interfaces de diferente resistividad y curva teórica (línea continua).

Como los modelos geoeléctricos representan capas o interfaces de diferente resistividad, se requiere hacer una revisión geológica y estratigráfica del terreno estudiado con el objeto de relacionar esta propiedad con las características de las rocas tales como: granulometría, saturación de fluidos y composición de estos, fracturamiento, entre otros.

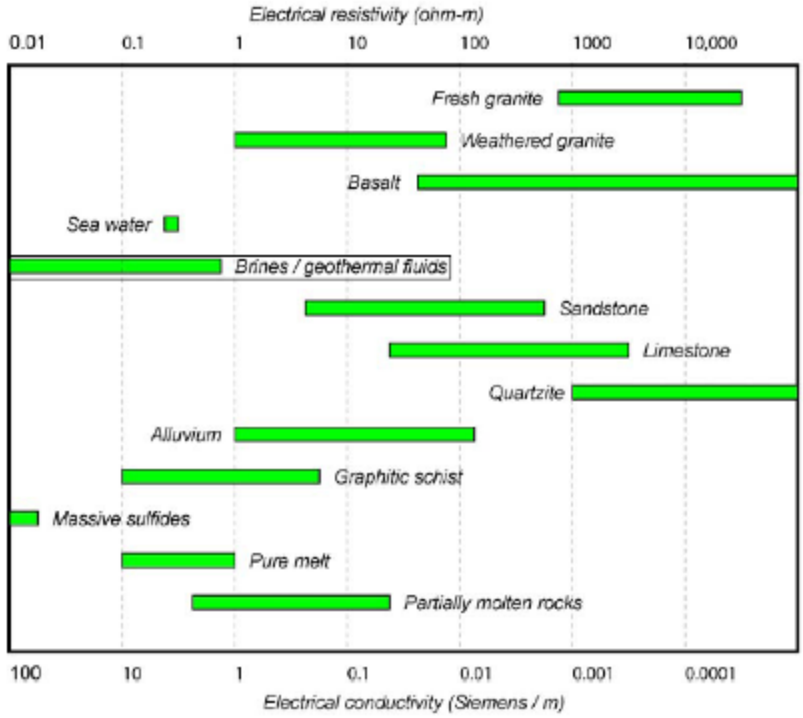


Figura 7. Resistividades comunes de algunas rocas y materiales

La figura 7 muestra los rangos de resistividad de las rocas y materiales más comunes, se resalta que la resistividad asociada a salmueras y fluidos hidrotermales, la cual es menor a 1 Ω.m, es diferenciable de los materiales aluviales (1-100 Ω.m) y areniscas (5-500 Ω.m), dando como resultado resistividades bastante menores para aquellas rocas que se encuentran saturadas de agua salobre respecto a las saturadas con agua dulce.

4. PROSPECCION GEOELÉCTRICA

A continuación se presenta la información relacionada con el procesamiento e interpretación de los datos de campo.

Tabla 1. Localización de los SEV realizados.

SEV	COORDENADAS			SEV	COORDENADAS			SEV	COORDENADAS		
	X Este	Y Norte	Z		X Este	Y Norte	Z		X Este	Y Norte	Z
1	1107701	1121955	2598	27	1106992	1128183	2517	53	1104635	1126619	2608
2	1109468	1123610	2712	28	1107189	1129546	2517	54	1104973	1127755	2556
3	1108078	1120956	2621	29	1103675	1128146	2761	55	1105574	1126672	2532
4	1107018	1123136	2578	30	1105765	1124652	2709	56	1105754	1126786	2516
5	1107022	1118143	2725	31	1107309	1122460	2580	57	1105098	1128222	2583
6	1108016	1118406	2768	32	1105639	1127385	2528	58	1103342	1125175	2592
7	1107377	1119129	2684	33	1105225	1124156	2722	59	1103952	1129405	2522
8	1108834	1119138	2759	34	1110824	1121338	2797	60	1105978	1129804	2510
9	1108426	1119811	2707	35	1110000	1121462	2713	61	1104098	1125482	2564
10	1108915	1120474	2678	36	1109850	1122848	2747	62	1104957	1127224	2544
11	1108921	1121100	2631	37	1108802	1121922	2626	63	1105770	1128530	2518
12	1107784	1126139	2628	38	1108109	1123028	2613	64	1108214	1125729	2641
13	1107919	1124221	2774	39	1109101	1123280	2745	65	1102654	1125304	2683
14	1109903	1125248	2535	40	1103794	1119011	2731	66	1106096	1126479	2539
15	1106672	1125559	2533	41	1105173	1120862	2760	67	1105332	1129559	2523
16	1107040	1124919	2570	42	1106005	1119573	2801	68	1105927	1127844	2523
17	1106646	1126421	2546	43	1105642	1121290	2773	69	1106360	1127442	2534
18	1106953	1126984	2526	44	1104936	1118561	2826	70	1105927	1127844	2523
19	1110411	1126027	2509	45	1103187	1120801	2766	71	1107260	1127387	2526
20	1108366	1126091	2617	46	1102244	1123243	2761	72	1106786	1128506	2523
21	1107210	1127391	2446	47	1103524	1117823	2746	73	1106987	1123337	2509

22	1108133	1128844	2568	48	1105495	1123034	2737	74	1107807	1122280	2583
23	1106977	1127579	2514	49	1104407	1125057	2630	75	1107907	1129667	2518
24	1110478	1122343	2772	50	1103361	1124265	2730	76	1106911	1127791	2521
25	1109134	1124118	2743	51	1102926	1126381	2786	77	1107364	1128872	2528
26	1106655	1127227	2530	52	1102476	1126888	2714				

4.1. DATOS DE CAMPO

Como resultado de las dos etapas de campo, se adquirieron un total de 77 SEV con apertura máxima entre electrodos de hasta 700 metros de AB/2, abarcando toda el área de estudio y con una concentración mayor hacia las zonas que presentan evidencias de actividad hidrotermal.

4.2. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

4.2.1. Generación de modelos geoeléctricos

La interpretación de los sondeos se realizó con el software de uso libre **IPI2Win** de la Universidad de Moscú (http://geophys.geol.msu.ru/ipi2win.htm) el cual permite, a partir de la información generada en el terreno, la construcción de la curva de resistividad aparente Vs AB/2 (profundidad teórica de sondeo) y la inversión de los datos para la generación de un modelo geoeléctrico del subsuelo en el punto analizado.

Para el manejo de los datos y generación de los modelos geoeléctricos se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Depuración de la información de campo, mediante la eliminación de los datos de resistividad aparente anómalos, para obtener una curva con la menor dispersión posible.
- Para el caso de curvas con empalmes (tramos con igual apertura de AB/2 pero diferente de MN) en las que los valores de resistividad repetidos fueran muy similares, se suprimieron para dejar un solo dato de resistividad para cada AB/2.
- En las curvas que tuvieran empalmes muy separados (diferencias grandes en la resistividad aparente para puntos con igual AB/2 pero diferente MN/2), se realizó un traslado vertical de los diferentes tramos hacia aquel que tuviera la mayor densidad de información. Este proceso no afecta el espesor ni los contrastes de resistividad entre las capas presentes.
- Se busca generar un modelo geoeléctrico representativo del terreno, con el menor número de capas sin incrementar sensiblemente el error de ajuste entre la curva teórica y la de campo.

- No incluir en el modelo geoeléctrico capas con resistividades que no correspondan con los materiales presentes y esperados en el terreno (excesivamente altas o bajas).
- Interpretación de la información y construcción del modelo geoeléctrico desde la superficie hacia abajo.

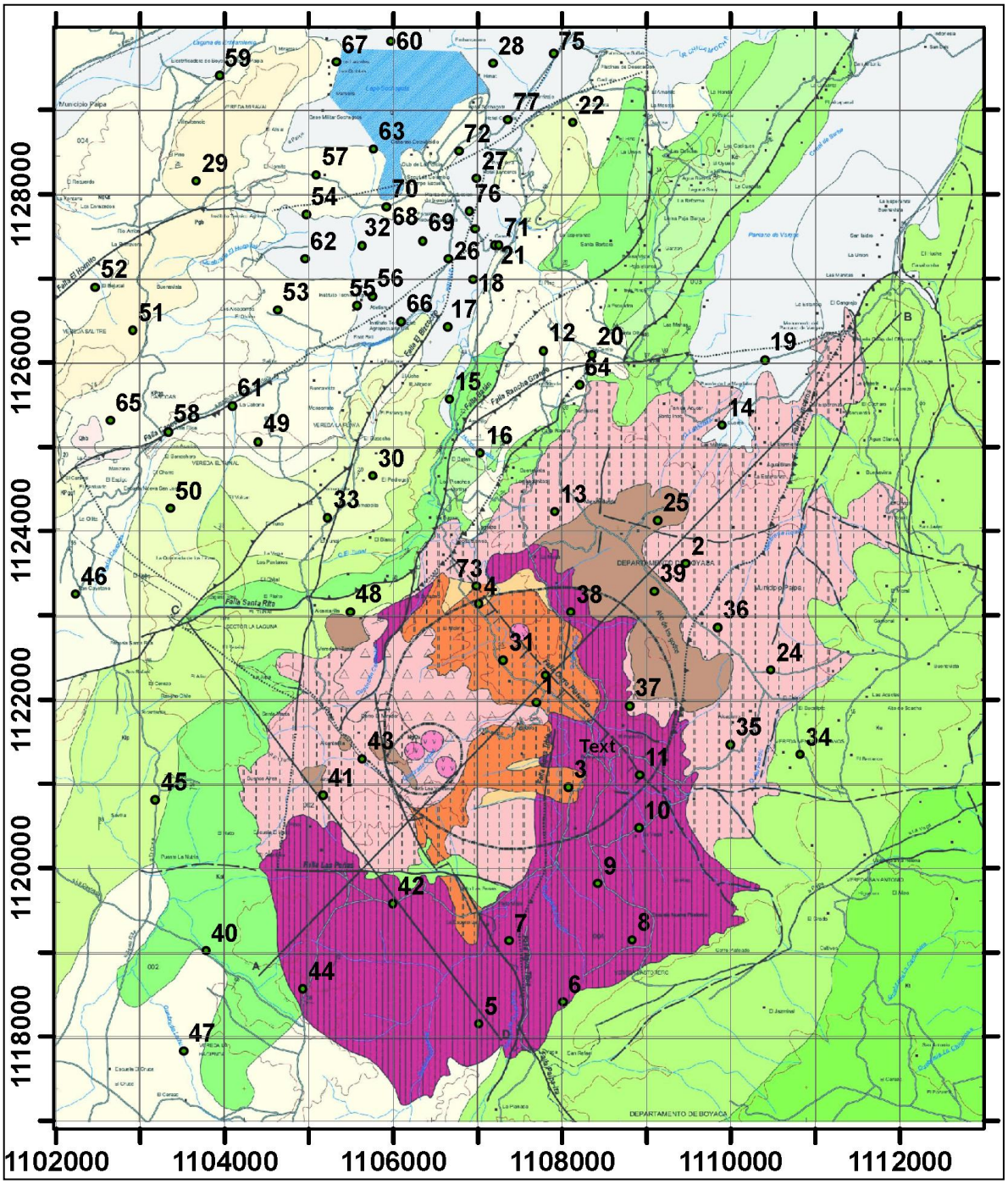


Figura 8. Mapa geológico del área de estudio y localización de los sondeos realizados.

4.2.2. Evaluación de la calidad de los SEV

De acuerdo al error de ajuste calculado entre la curva de campo y la curva teórica obtenida a partir del modelo geoeléctrico, se discriminaron los sondeos en tres categorías de acuerdo a su calidad:

a) BUENA: menor al 6%.
b) ACEPTABLE: entre el 6% al 12%
c) NO ACEPTABLE: mayor al 12%

Esta clasificación permite considerar que, con un menor error de ajuste, el modelo teórico puede acercarse más a las características reales del subsuelo. Por lo tanto se debe tener en cuenta este error al momento de validar la información que puede ser obtenida de cada SEV o perfiles geoeléctricos para la generación del modelo geológico-geofísico del área estudiada.

5. ANALISIS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION

A continuación se presenta un análisis de los datos procesados con el objeto de relacionar la información geofísica obtenida con algunos aspectos hidrotermales del subsuelo en la zona de trabajo.

5.1. CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS.

Como parte del procesamiento de la información y para establecer parámetros comunes a los diferentes materiales y rocas, se integró la interpretación de los modelos geoeléctricos de los sondeos realizados con la información geológica disponible (PARDO, N. Mapa geológico de vulcanitas de Paipa: planchas 171 y 191, INGEOMINAS 2004, escala 1:25.000), para de esta forma definir rangos de resistividad relacionables con cada tipo de material encontrado (Ver Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Descripción Geológica de las unidades presentes y SEV realizados sobre ellas.

UNIDAD GEOLOGICA	DESCRIPCION	SEV REALIZADOS
Formación Une (Ku)	Areniscas cuarzosas con intercalaciones de shales.	34
Formación Churuvita (Kch)	Shales negros con intercalaciones de areniscas cuarzosas con glauconita.	No se realizaron
Formación Conejo (Kc)	Shales negros y grises con algunas intercalaciones de areniscas finas.	16
Formación Plaeners (Kpl)	Limolitas silíceas en capas finas o medias con algunas intercalaciones de fosforitas y shales.	40
Formación Los Pinos (Klp)	Shales negros y grises con intercalaciones de areniscas cuarzosas y capas finas de limolitas silíceas	15, 45 y 48
Formación Labor y Tierna (Klt)	Areniscas cuarzosas, friables y bien seleccionadas	22, 30, 33 y 50,
Formación Guaduas (KPgg)	Arcillolitas, limolitas, mantos de carbón y areniscas cuarzosas	58, 61 y 65
Formación Bogotá (Pgb)	Areniscas cuarzosas y líticas, niveles de limolitas.	29 y 51
Formación Tilatá (NgQt)	Predominancia de arenas con intercalaciones de limos y conglomerados, hacia la base conjunto de conglomerados aluviales, hacia el techo intercalaciones de ceniza.	12, 20, 46, 47, 49, 52, 53, 57, 59, 63, 64, 67, 68 y 70
Ignimbritas cristalo-vìtreas	Depósito mal seleccionado de cenizas cristalinas y vidrio, altamente soldado.	3, 25 y 39

UNIDAD GEOLOGICA	DESCRIPCION	SEV REALIZADOS
Miembro Vulcano sedimentario I.4	Arenitas volcánicas y limolitas, areniscas y conglomerados con intercalaciones de mantos de lignitos y, al tope, láminas de caídas de ceniza.	1, 2, 4, 13, 24, 31, 35, 36, 41, 43, 73, 74
Caídas de ceniza	Capas masivas de ceniza negra y violeta con gradación de pómez, ricas en lapilli acrecionales. Son coetáneas a dos (2) de los flujos de ceniza y bloques de domo.	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 37, 38, 42 y 44
Cuaternario	Arenas, limos, arcillas y conglomerados de depósitos aluviales, lacustres y fluvio-lacustres.	14, 17, 18, 19, 21, 23, 27, 26, 28, 32, 54, 55, 56, 60, 62, 66, 69, 71, 72, 75, 76 y 77

Una vez comparada esta información con los datos de campo y modelos geoeléctricos de los SEV realizados, se determinaron aspectos comunes para cada unidad que pueden ser característicos de la misma y, por lo tanto, útiles para su identificación en áreas en las que no aflora.

Tabla 3. Caracterización geoeléctrica de las unidades Geológicas.

UNIDAD GEOLOGICA	CARACTERIZACION GEOELECTRICA
Formación Une (Ku)	Presenta capas de alta resistividad (mayores a 8000 Ω.m) intercaladas con otras de menor valor (100-200 Ω.m) relacionables con la alternancia de areniscas y shales descrita en la columna litológica
Formación Conejo (Kc)	Resistividad menor a 25Ω.m llegando hasta 4 Ω.m en profundidad, concordante con la predominancia de shales y posibilidad de saturación con agua salobre en profundidad, SEV realizado en el sector de “La Playa” cerca a la piscina “El Delfín”.
Formación Plaeners (Kpl)	Resistividad baja a media (10 a 250 Ω.m)
Formación Los Pinos (Klp)	Predominancia de resistividad baja (10-50 Ω.m) relacionada con shales y media (150-270Ω.m) con areniscas.
Formación Labor y Tierna (Klt)	Resistividad media-alta (400-600 Ω.m) relacionada con areniscas, llegando a ser muy alta en superficie (más de 2000 Ω.m) por disminución en la saturación de agua.
Formación Guaduas (KPgg)	Resistividad predominante baja (menor a 50 Ω.m) para las arcillolitas y media (100-400 Ω.m) para niveles más arenosos
Formación Bogotá (Pgb)	Resistividad muy alta (mayor a 1500 Ω.m) correspondiente con areniscas con baja saturación.
Formación Tilatá (NgQt)	Resistividad predominante de 20 a 100 Ω.m (arenas-limos), puede presentar valores hasta más de 1000 Ω.m por presencia de conglomerados.
Ignimbritas cristalo-vìtreas	Resistividad baja predominante (menor a 20 Ω.m) con algunas capas de resistividad media-baja (100 a 200 Ω.m)
Miembro Vulcano sedimentario I.4	Presenta valores menores a 100 Ω.m (arenitas-limolitas) y entre 300 a 600 Ω.m (areniscas-conglomerados)
Caídas de ceniza	Presenta variaciones desde menos de 60 Ω.m (ceniza), hasta 100-300 Ω.m (lapilli)
Cuaternario	Rangos de resistividad menores a 100 Ω.m (arcilla-arena) con ocasionales capas de 100-300 Ω.m (arena-conglomerado).

Del análisis anterior se puede evidenciar que la resistividad de las rocas arenosas con alto grado de litificación (Formación Une) es muy alta respecto a rocas con carácter más

arcilloso e inclusive mayor que otras rocas arenosas con menor grado de compactación (Formación arenisca tierna).

De acuerdo a las observaciones de campo y la localización de los sondeos, se debe resaltar que en las zonas del aeropuerto, piscinas y área de "La Playa", se presentan resistividades muy bajas en los sondeos realizados, ocasionadas por la evidente presencia de fuentes termales salobres y depósitos recientes con alto contenido de sales. En este aspecto, y de acuerdo a la caracterización de las unidades geológicas realizada previamente, se puede estimar que una resistividad muy baja (menor a 10 Ω.m) está relacionada con la presencia de rocas saturadas con agua salobre.

5.2. MAPAS DE ISORESISTIVIDAD

Tomando como referencia la distribución espacial de los sondeos realizados, los datos de campo y sus respectivos modelos geoeléctricos, se generaron mapas de distribución de la resistividad aparente a diferentes profundidades con el objeto de delimitar aquellas áreas de muy baja resistividad (inferior a 10 Ω.m) las cuales, de acuerdo con los análisis hechos, pueden indicar la presencia de aguas salobres.

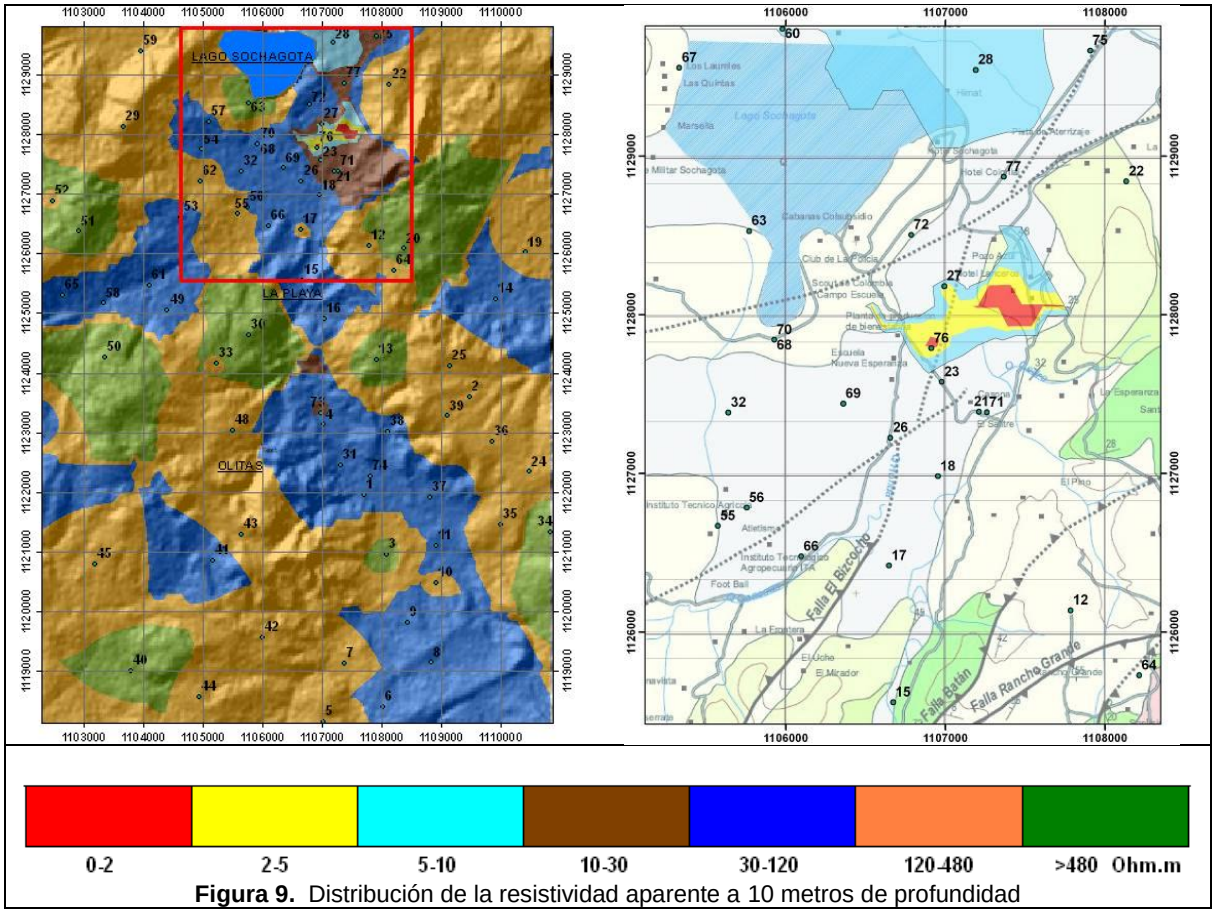


Figura 9. Distribución de la resistividad aparente a 10 metros de profundidad

En la distribución de la resistividad aparente a 10 metros de profundidad, se observa que los valores inferiores a 10 Ω.m (rojo, amarillo y azul claro) están localizados al norte del área en la zona de afloramiento de aguas termales (sector Lanceros, aeropuerto y planta de tratamiento de aguas residuales).

La distribución de la resistividad aparente dentro del área de trabajo muestra valores bajos (café, 10 a 30 Ω.m) formando una aureola alrededor de los puntos con muy baja resistividad relacionado con materiales muy finos saturados posiblemente con agua salobre, mientras que los valores bajos-medios se encuentran en las áreas cubiertas por depósitos cuaternarios aluviales (azul oscuro, 30 a 120 Ω.m) y los mayores valores en las áreas en donde afloran rocas y materiales más consolidados.

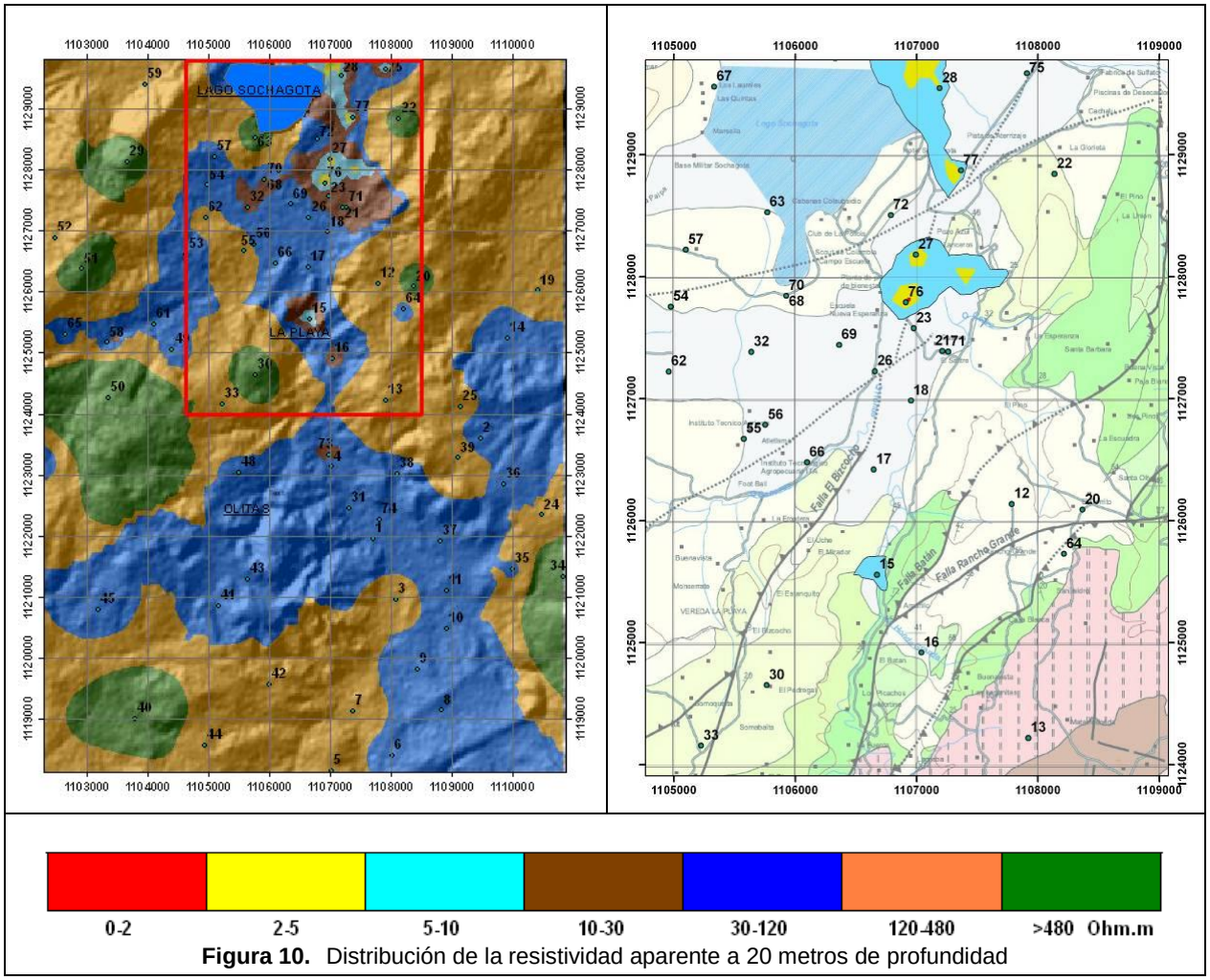


Figura 10. Distribución de la resistividad aparente a 20 metros de profundidad

A 20 metros de profundidad se encuentra que los valores de resistividad inferiores a 10 Ω.m siguen concentrados hacia el norte en la zona de afloramiento de aguas termales pero adicionalmente se encuentra un punto de baja resistividad en el sector de “La Playa”

(Piscina El Delfín, SEV 15) en donde se encuentra otra área de presencia y aprovechamiento de estas aguas.

Los valores bajos de resistividad (café) se identifican nuevamente en las áreas de Lanceros y aeropuerto y también se ubican en el sector de La Playa (SEV 15 y 16), en la zona central, identificada como “El Hervidero”, en donde se presentan puntos de escape de gas (SEV 73) y en el sector del Instituto Técnico Agrícola (ITA, SEV 32 y 68).

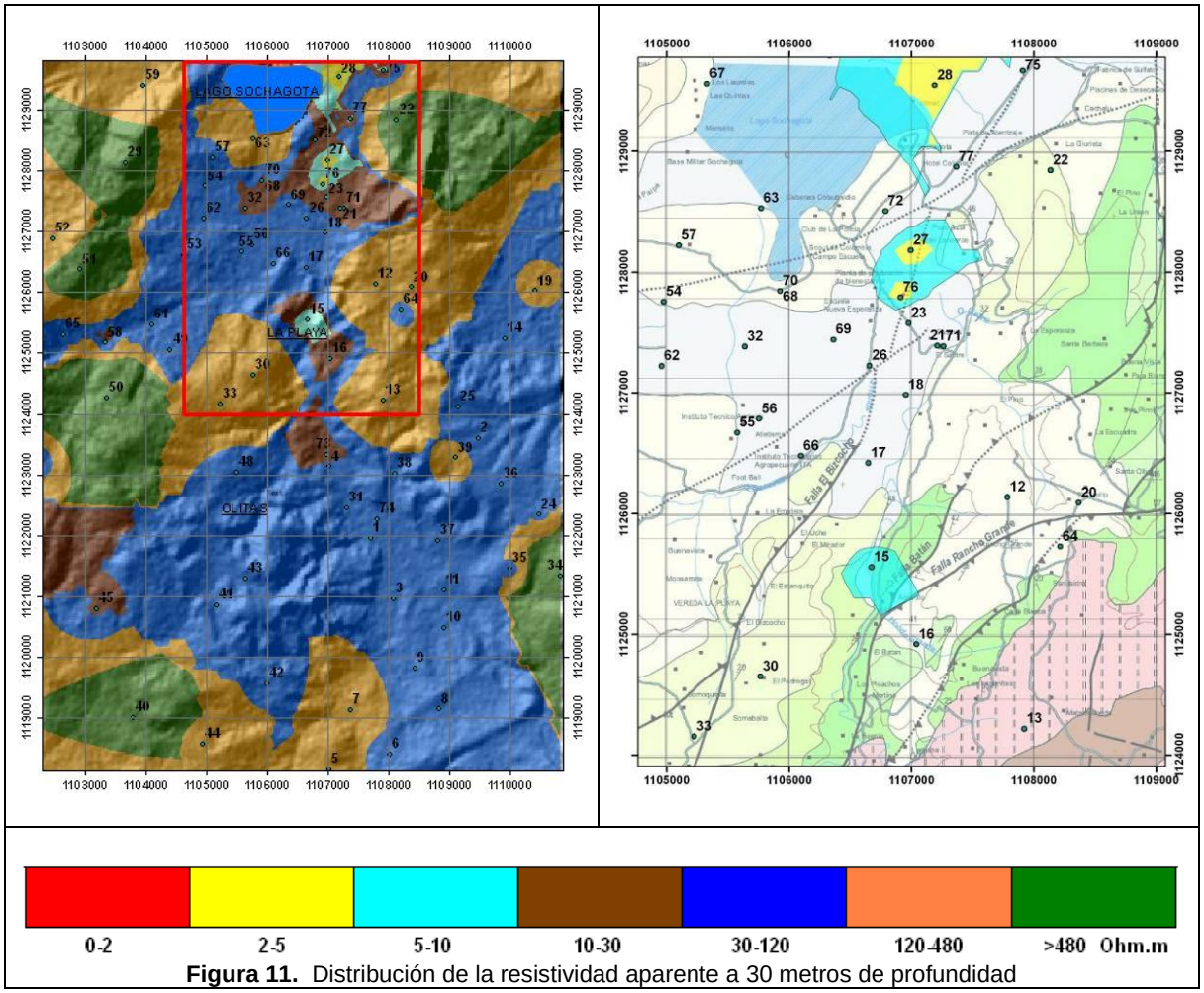


Figura 11. Distribución de la resistividad aparente a 30 metros de profundidad

A 30 metros de profundidad la distribución de las resistividades más bajas y de interés en el presente trabajo no registran grandes variaciones respecto a los 20 metros a excepción de una aparente extensión de la zona de baja resistividad hacia el sur-oriente en el sector de La Playa (SEV 15) y el aeropuerto (SEV 28), este último casi hasta conectar con la zona de Lanceros.

En el aspecto regional se encuentra que las resistividades bajas (café) muestran una continuidad al norte conectando el área de Lanceros con el Aeropuerto y el ITA, así como al centro casi conectando el sector de La Playa con “El Hervidero”. Las resistividades bajas-medias (azul) se encuentran relacionadas y demarcando la presencia de depósitos

volcánicos y cuaternarios aluviales mientras que las más altas se asocian con las unidades antiguas compuestas por rocas consolidadas.

A los 50 metros de profundidad se encuentra, al norte, una reducción en la extensión de las áreas de resistividad baja mientas que en la zona central (La playa, SEV 15) mantiene su extensión.

De igual forma se observa que el área con resistividades bajas (café, 10-30 Ω.m) se extiende hacia el occidente desde el sector de Lanceros bajo los terrenos del ICBF, UPTC e ITA al sur del Lago Sochagota y desde el área de La Playa (SEV 15) hacia el sur.

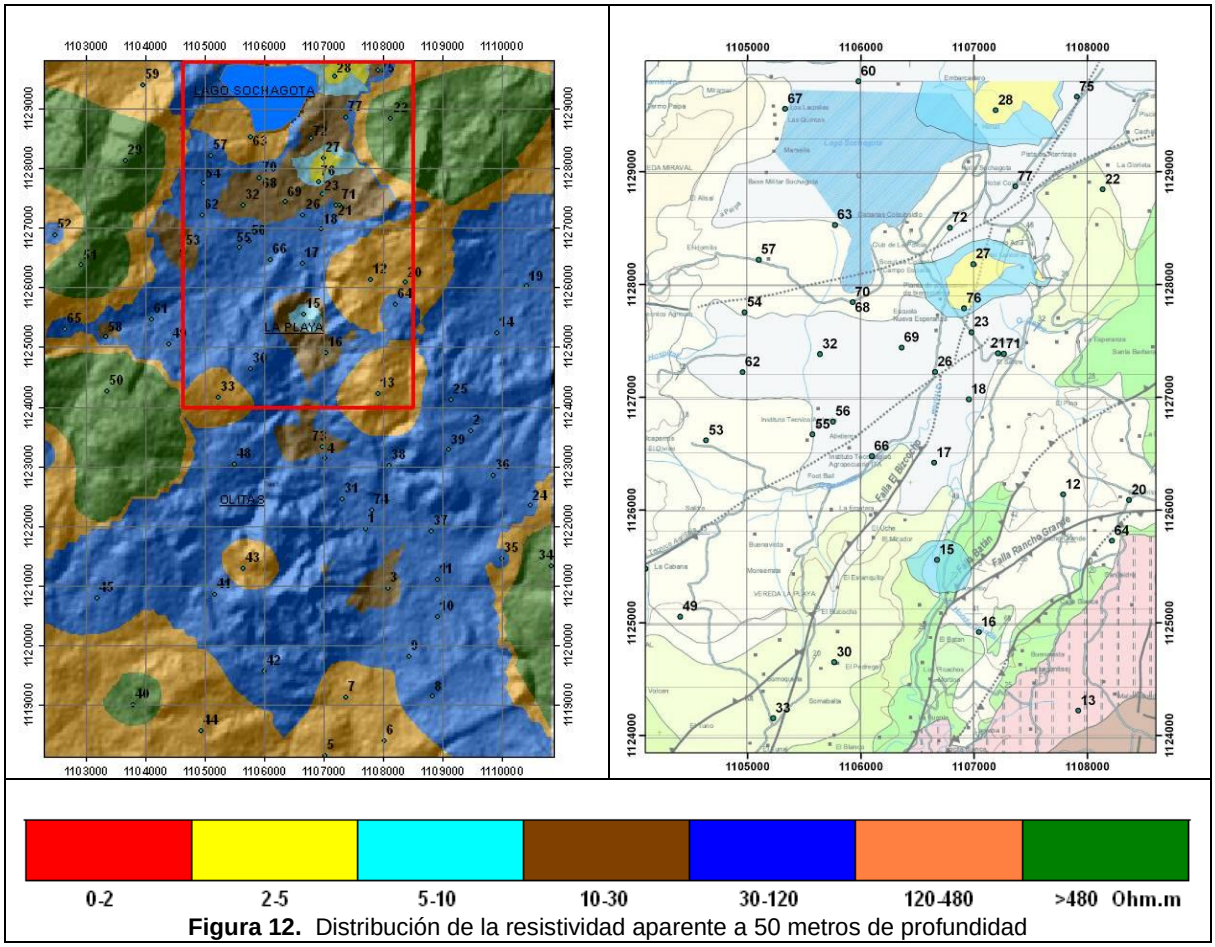


Figura 12. Distribución de la resistividad aparente a 50 metros de profundidad

A los 75 metros de profundidad se observa, en la parte norte, una extensión de la zona de baja resistividad del aeropuerto-planta de tratamiento hacia el occidente por el borde norte del Lago Sochagota llegando hasta el Club Militar (SEV 67), mientras que en la zona de Lanceros registra una reducción en su extensión. Hacia la parte de La playa se encuentra una extensión del área de baja resistividad hacia el sur-oriente conectando los sondeos 15 y 16.

Respecto a la resistividad baja (café, 10 a 30 Ω.m) se observa una amplia extensión hacia el occidente desde el área de Lanceros hasta el ITA y hacia el sur-oriente hasta el sector de La Casona (SEV 71). En la parte central se encuentra una franja en sentido Sur-norte desde el sector de Olitas (SEV 1) hasta el área de La Playa.

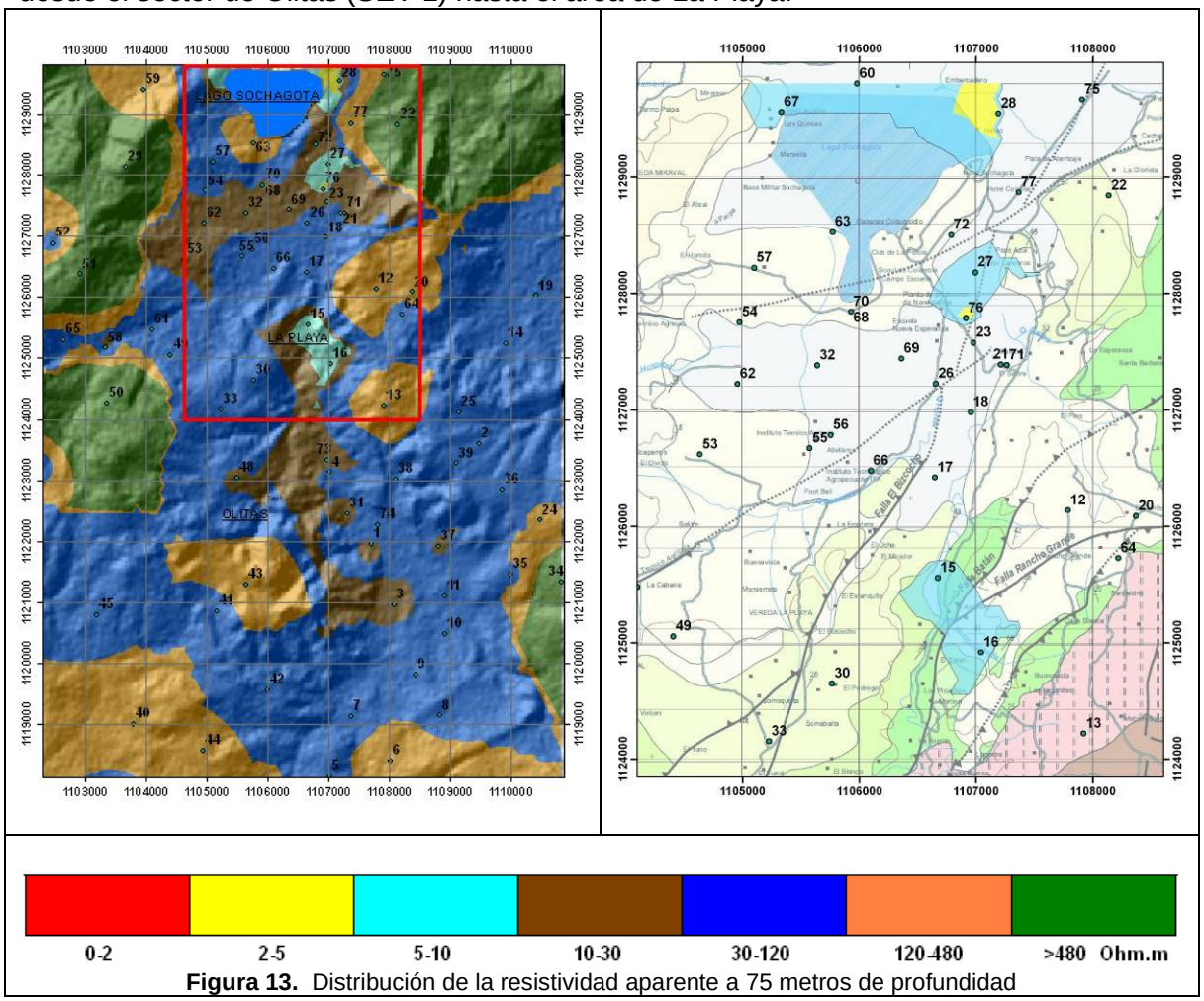


Figura 13. Distribución de la resistividad aparente a 75 metros de profundidad

La distribución de la resistividad a 100 metros de profundidad en el sector norte es similar a la de los 75 metros, se encuentra una franja de muy baja resistividad al norte del Lago Sochagota entre el Club Militar y la planta de tratamiento de aguas residuales y se mantiene el área relacionada a las fuentes del sector de Lanceros. En el sector de La Playa se observa un desplazamiento hacia el sur-oriente de la zona de baja resistividad desde el SEV 15 hacia el SEV16. El área de baja resistividad (café) tiene una distribución espacial igual a la encontrada a los 75 metros de profundidad.

A los 150 metros de profundidad se encuentra que la zona de resistividad muy baja en el sector de Lanceros continúa similar a la presente a 100 metros. Hacia el norte del Lago Sochagota la franja se repliega hacia el sector de la planta de tratamiento de aguas residuales (SEV 28). Hacia el sector de La Playa la zona de muy baja resistividad se termina de desplazar hacia el oriente bajo el SEV 16.

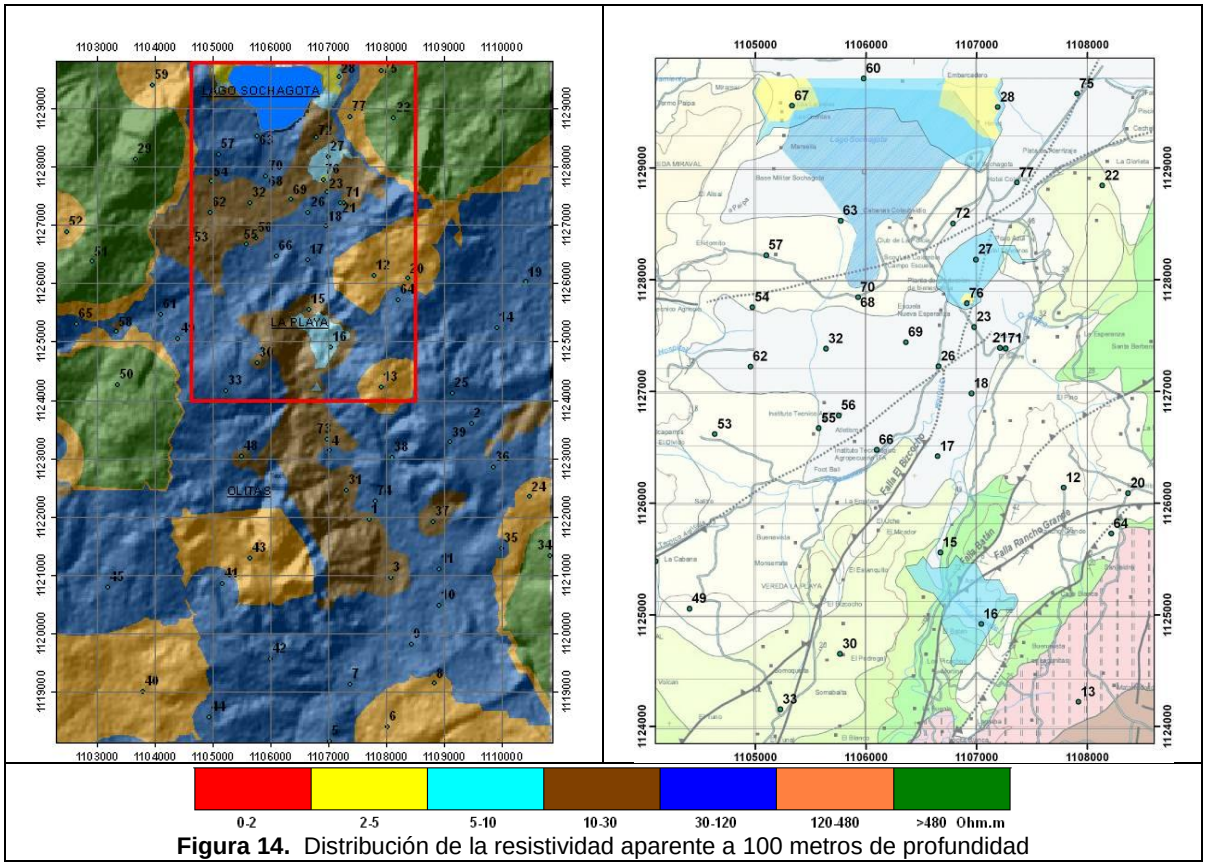


Figura 14. Distribución de la resistividad aparente a 100 metros de profundidad

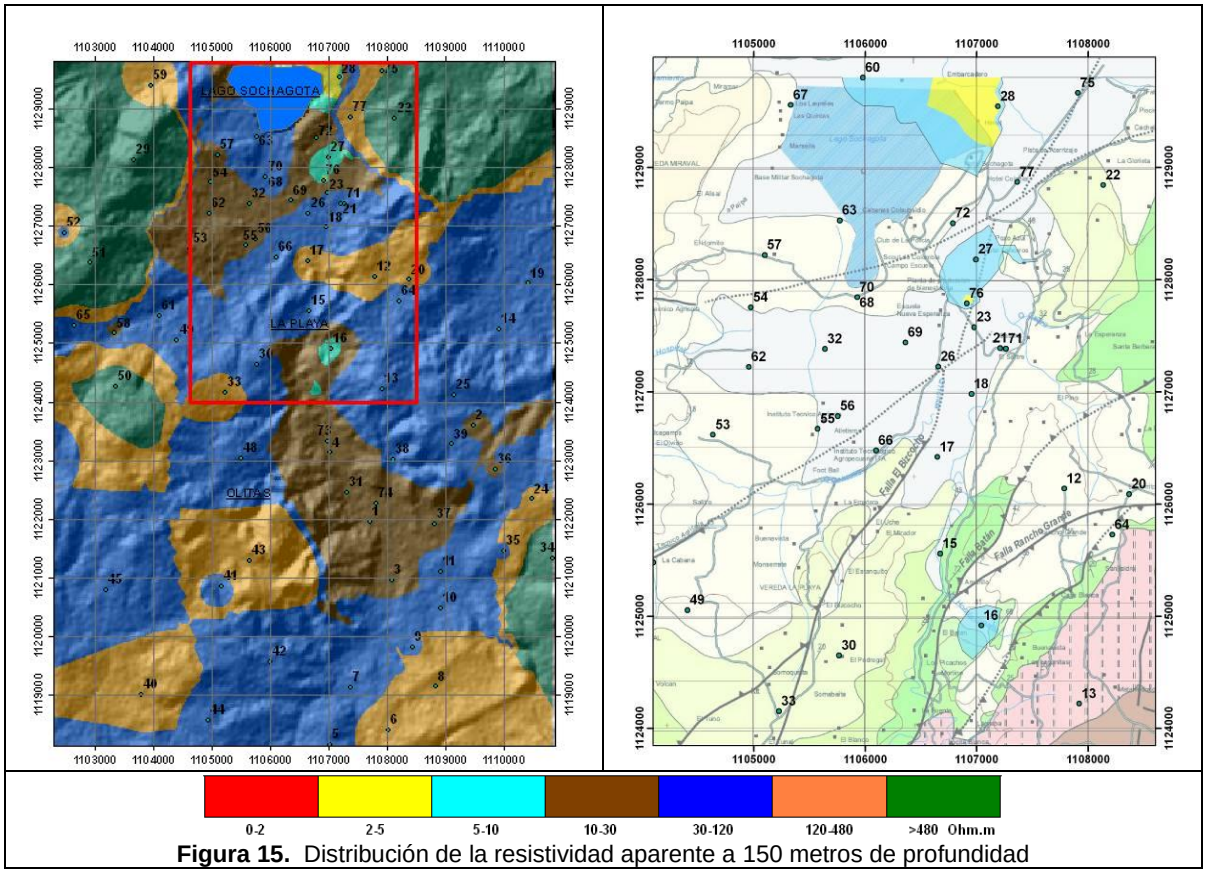


Figura 15. Distribución de la resistividad aparente a 150 metros de profundidad

A los 200 metros de profundidad se observa una conexión entre las dos zonas de muy baja resistividad localizadas al Norte (Lanceros y Planta de tratamiento) y una ligera expansión de la zona de muy baja resistividad en La Playa. A esta profundidad se destaca una zona de muy baja resistividad identificada entre los sectores de Olitas y El Hervidero (SEV 31), la cual no se había evidenciado a las anteriores profundidades y que puede estar indicando la presencia de materiales saturados con agua salobre.

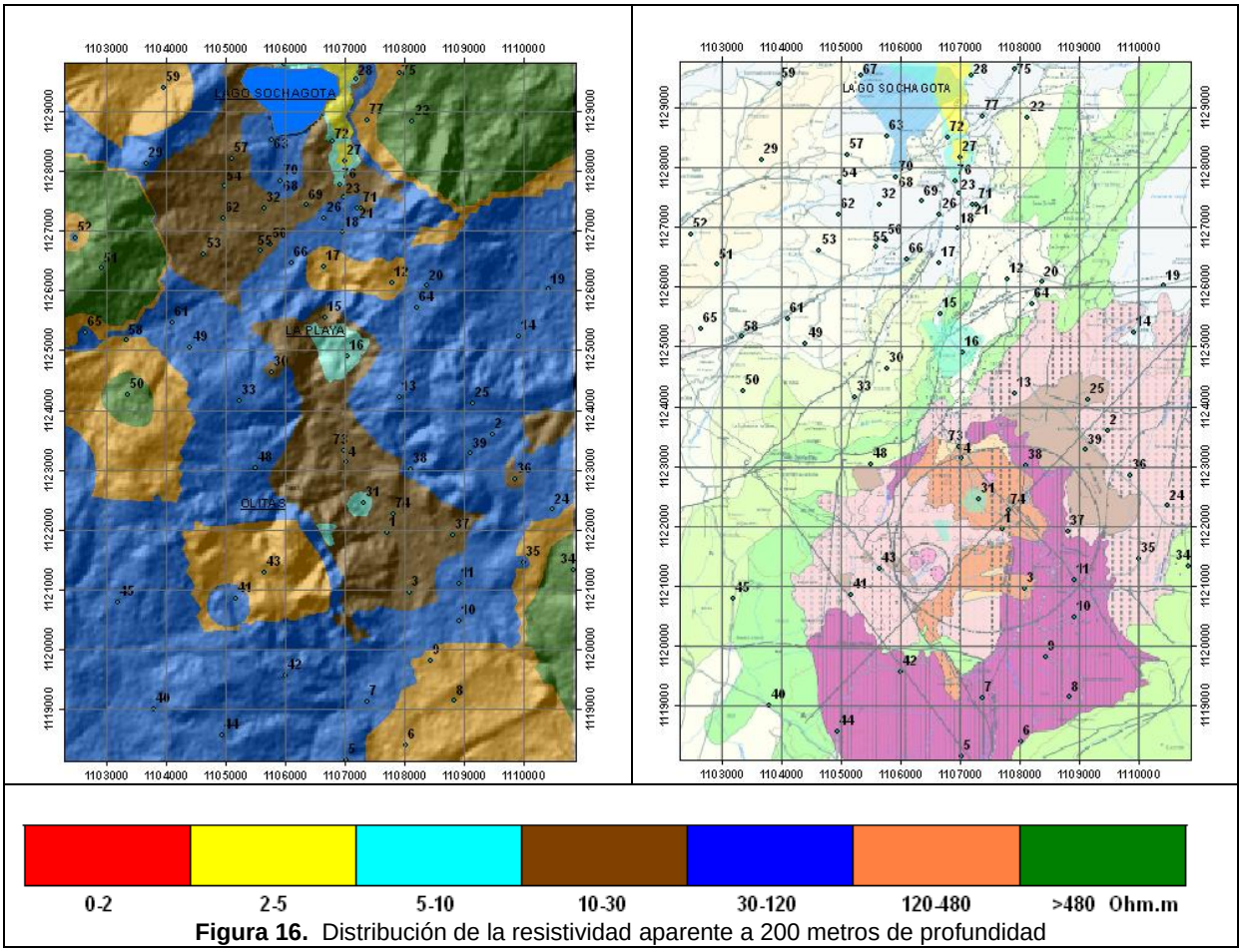


Figura 16. Distribución de la resistividad aparente a 200 metros de profundidad

De acuerdo a la información interpretada de los mapas de isoresistividad, se pueden definir dos áreas principales relacionadas con la presencia de fuentes termales salobres y que además registran anomalías geoeléctricas de muy baja resistividad en profundidad y que a continuación se describirán e interpretarán integrando la información presentada anteriormente:

Zona de Lanceros-Aeropuerto-Sochagota:

Esta área corresponde a la parte norte de la zona de trabajo abarcando desde el sector de La Casona al sur hacia el Río Chicamocha al Norte y desde el Club Militar al occidente hasta el aeropuerto al oriente.

El comportamiento de la anomalía de muy baja resistividad desde profundidad hacia la superficie indica un posible ascenso del fluido en una franja restringida a la zona del Hotel Lanceros y piscinas públicas (ITP), correspondiente a los SEV 76 y 27 y con una posible prolongación hacia el norte, situación que se mantiene así hasta cerca de 30-50 metros de profundidad. A partir de esta profundidad la zona se expande probablemente a medida que satura materiales poco consolidados de alta porosidad y permeabilidad hasta finalmente aflorar en los puntos ya conocidos.

La distribución y geometría de la anomalía de muy baja resistividad se encuentra relacionada con el trazo inferido de las fallas de “El Bizcocho” y “El Hornito”, particularmente hacia la zona en que estas confluyen y en un menor grado con la falla “Canocas”, que afecta y desplaza el trazo de la falla “El Bizcocho”.

Respecto a la zona identificada con color café, que corresponde a un rango de resistividad de 10 a 30 ohmnios metro, tiene una extensión considerable en esta zona y puede estar representando materiales finos saturados que rodean las anomalías de resistividad más baja y probablemente estén interactuando con los fluidos hidrotermales.

La determinación del origen y naturaleza del fluido que satura estos depósitos debe considerar que a través de la Quebrada Honda Grande se realiza el mayor aporte de agua y sedimentos hacia el área de Lanceros, y que este mismo cauce drena la otra zona con presencia de fuentes termales salobres (La Playa). Por lo tanto los sedimentos encontrados en esta zona se encuentran saturados en sales que adicionalmente son concentradas por la evaporación en el valle aluvial, con un menor aporte de agua dulce proveniente de la escorrentía por lluvias.

Zona de La Playa-Olitas:

Corresponde a la parte central del área de trabajo, en la parte alta de la Quebrada Honda Grande, que cubre desde el norte en los puntos de afloramiento de aguas termales (piscinas El Delfín y La Playa) y de gases (El Hervidero), hasta el sur en el sector de Olitas, en cuya parte alta se encuentra un manantial de aguas dulces.

Hacia la parte de La Playa, sondeos 15 y 16, se observa un comportamiento particular en la distribución de la anomalía de muy baja resistividad, la cual parece mostrar un ascenso hacia el nor-occidente desde el SEV 16 hasta el punto de afloramiento en el área de las piscinas (SEV 15), recorrido relacionado con la geometría de la falla “Rancho Grande” que tiene un comportamiento inverso con plano inclinado hacia el sur-oriente.

Hacia el sector de Olitas se encuentra una anomalía a 200 metros de profundidad (SEV 31) la cual puede estar indicando la presencia de materiales de muy baja resistividad posiblemente asociada a la saturación con fluidos termales salobres.

6. TOMOGRAFIAS ELECTRICAS

Como parte de la presente campaña de exploración geofísica, se realizaron 05 tomografías eléctricas en zonas favorables para la implementación del método y que adicionalmente tuvieran manifestaciones de actividad geotérmica. A continuación se presenta un marco teórico general del método empleado y posteriormente se presentarán los datos de campo e interpretación de las tomografías.

6.1. MARCO TEORICO

Una de las grandes limitantes del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) es que con este método no es posible establecer variaciones laterales en la resistividad del terreno, para lo cual resulta más útil la tomografía eléctrica la cual permite establecer variaciones tanto horizontales como laterales a lo largo de un perfil asumiendo que no hay cambios en la resistividad perpendiculares al sentido de sondeo.

El método de campo de las tomografías eléctricas implica el uso de un gran número de electrodos los cuales se ubican a lo largo de una línea y con un espaciamiento uniforme (ver figura 17). En esta figura el valor “a” corresponde a la distancia entre electrodos y el objetivo es hacer una serie de lecturas con arreglo tipo Wenner y apertura de electrodos igual a “1 a” siendo el primero y cuarto electrodos C1 y C2 los electrodos de corriente y los segundo y tercero P1 y P2 como electrodos de potencial.

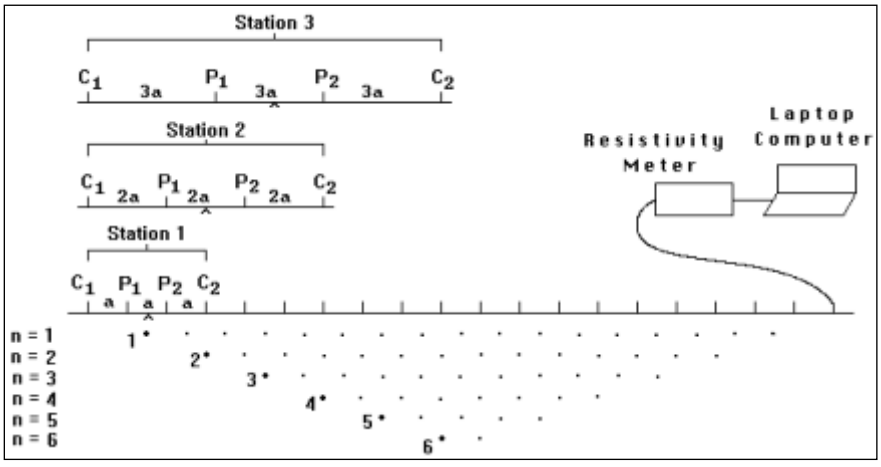


Figura 17. Arreglo electródico para tomografías eléctricas (Wenner)

Una vez finalice la toma de datos con apertura igual a“1a", se procede a aumentar la distancia hacia “2 a” en la cual se utilizarán los electrodos primero y séptimo como C1 y C2 y los tercero y quinto como P1 y P2, y así sucesivamente hasta llegar a la máxima distancia posible de acuerdo al número de electrodos disponibles (6a para el caso del ejemplo de la figura 17.

Para representar gráficamente los resultados de la tomografía eléctrica se utiliza la pseudo-sección en la cual el valor de resistividad aparente medido se localiza en el punto medio de cada arreglo electródico (ver figura 17) y a partir de la localización de todos los valores se genera un perfil mediante la interpolación de éstos para generar una imagen, la cual puede ser muy cercana a la distribución real de la resistividad en el subsuelo pero depende en gran medida del tipo de arreglo empleado, para lo cual se debe hacer una modelación inversa que permita, a partir de los datos de campo, generar un modelo teórico con una distribución de resistividad tal que coincida con los datos medidos en el terreno. Para el caso particular del presente proyecto se utilizó el software RES2DINV V 3.5 (Geotomo software, Malasia. www.geoelectrical.com).

Como se puede apreciar en la figura 17, la profundidad máxima de interpretación en la tomografía estará localizada hacia el centro del perfil, equivalente a cerca de 1/6 de la longitud máxima del mismo y con una reducción en la densidad de datos y profundidad de sondeo hacia los extremos del perfil dando como resultado una especie de embudo que controla la extensión lateral y profundidad de la interpretación.

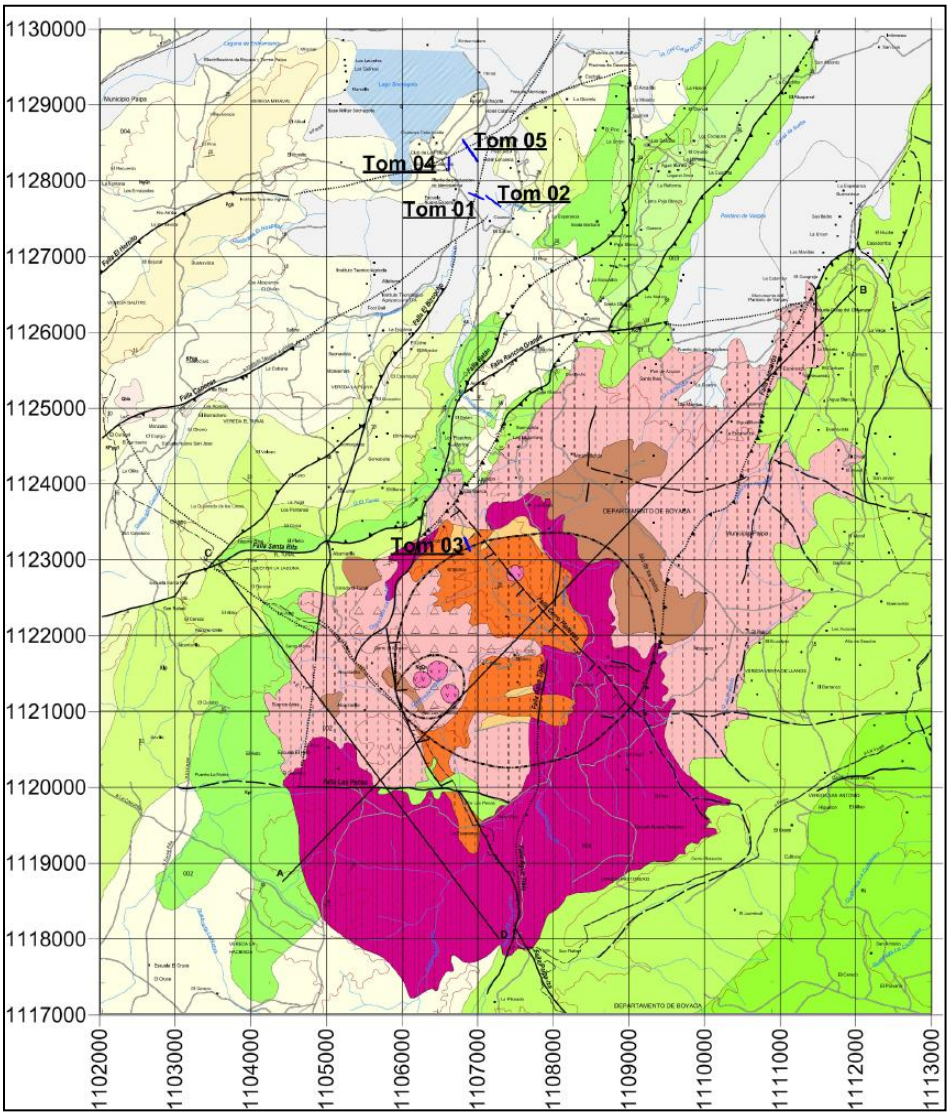


Figura 18. Localización de Tomografías

6.2. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

A continuación se presenta la información referente a la localización, especificaciones técnicas e interpretación de las tomografías eléctricas realizadas dentro del área de estudio.

6.3. Tomografía 01

Esta tomografía se realizó al sur del sector de Lanceros con rumbo S66ºE, se utilizaron 27 electrodos con una distancia entre ellos de 8 metros para una longitud total de 208 metros y profundidad máxima de interpretación de 35 metros.

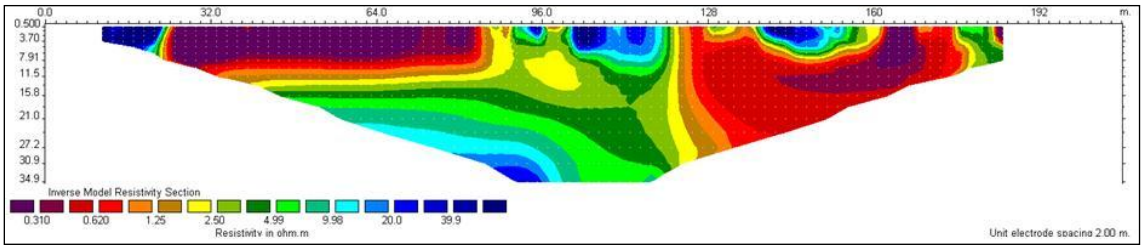


Figura 19. Tomografía eléctrica 1.

En esta imagen se define la distribución de la resistividad cercana a la superficie en donde se pueden interpretar los tonos de azul y verde como aquellos que representan materiales con resistividad menor a 10 Ω.m que, de acuerdo al análisis hecho en el presente informe, se encuentran saturados con fluidos salobres. En este sentido se encuentra que hacia el NW (izquierda de la imagen) hay una capa superficial con muy baja resistividad (azul) y espesor cercano a 10 metros bajo la cual progresivamente aumenta la resistividad hasta 18 metros en donde se pueden interpretar sedimentos finos saturados con agua menos salobre o incluso dulce. Por otra parte, hacia el extremo SE de la imagen (derecha), no se encuentra esta capa de mayor resistividad, indicando una mayor profundidad de los materiales de muy baja resistividad hacia esta zona, la cual coincide con la aproximación hacia el cauce de la quebrada Honda Grande y el trazo inferido de la falla El Bizcocho.

De esta tomografía se puede estimar que, cerca al cauce actual de la quebrada Honda Grande, se encuentra una zona de muy baja resistividad que se extiende hasta más de 20 metros de profundidad y que probablemente esté indicando una mayor saturación con fluidos salobres originados bien sea por infiltración de agua salobre proveniente de la quebrada o también por ascenso de éstos desde el subsuelo a través de una zona de mayor permeabilidad por fracturamiento o falla.

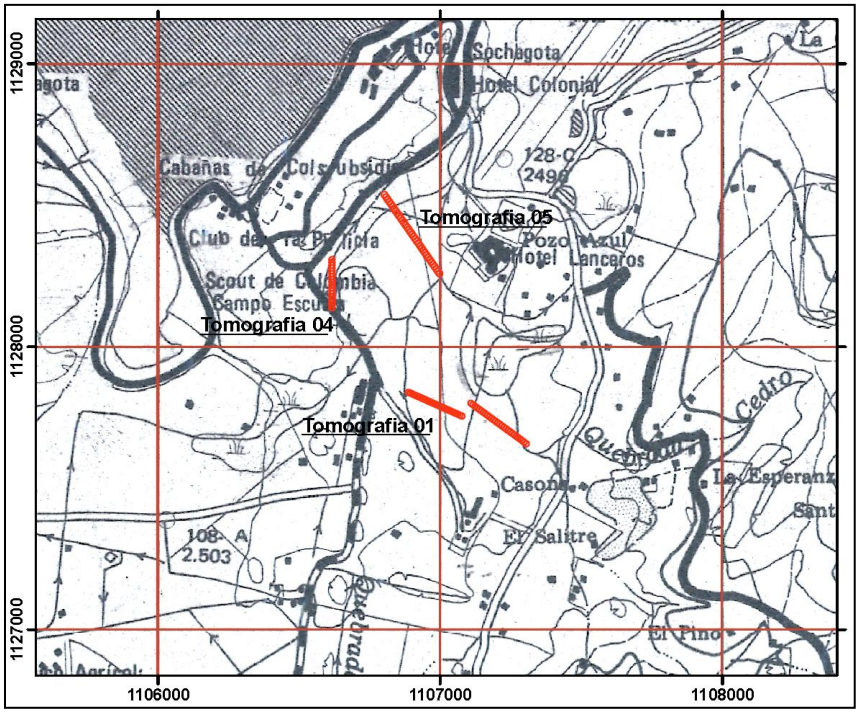


Figura 20. Localización de tomografías 1, 2, 4 y 5.

6.4. Tomografía 02

Realizada al sur del sector de Lanceros al oriente de la tomografía 1 con rumbo S54ºE, se utilizaron 28 electrodos con una distancia entre ellos de 9 metros para una longitud total de 243 metros y profundidad máxima de interpretación de 39 metros.

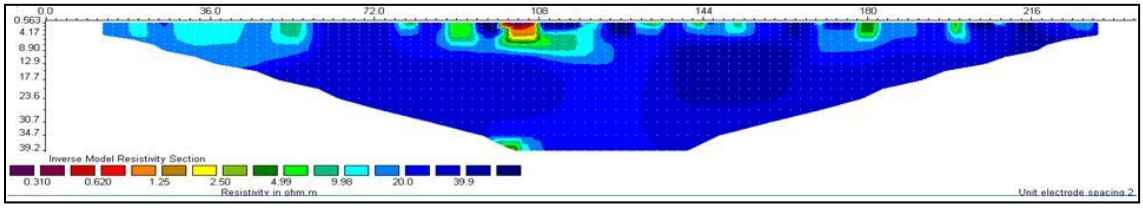


Figura 21. Tomografía eléctrica 2

Esta imagen muestra una distribución de resistividades más homogénea y con valores mayores a 18 Ω.m los cuales representan una composición de materiales finos saturados con agua dulce. Hacia la parte central del sondeo (108 metros) se encuentra una zona de muy baja resistividad (azul) y poca extensión con una profundidad cercana a 9 metros bajo la cual se observa una franja con resistividad cercana a 20 Ω.m (verde), que alcanza una profundidad mayor a la capacidad del sondeo y en la que adicionalmente, en el punto

de 108 metros y a 39 metros de profundidad, se observa una nueva zona de muy baja resistividad.

Esta franja encontrada en la parte central de la imagen podría representar un comportamiento similar al de la tomografía 1 en la que un fluido salobre asciende y se mezcla con agua meteórica reduciendo su concentración de sales y posteriormente, bajo un proceso de evaporación cerca a superficie, saliniza el suelo produciendo esta capa de poca profundidad y muy baja resistividad.

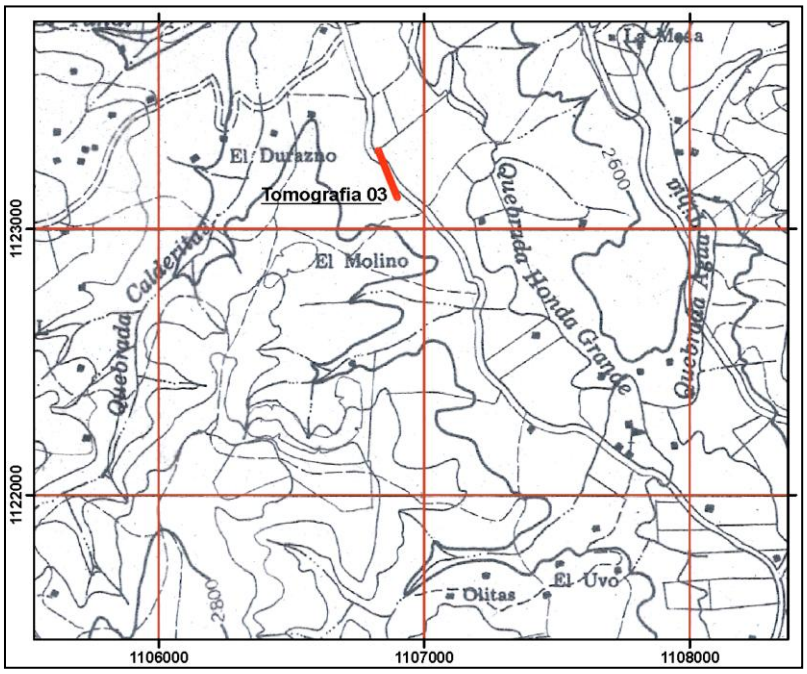


Figura 22. Localización de tomografía 3 “El Hervidero”

6.5. Tomografía 03

Realizada en el sector de “El Hervidero”, en la parte alta de la Quebrada Honda Grande, con rumbo S22ºE, se utilizaron 28 electrodos con una distancia entre ellos de 7 metros para una longitud total de 189 metros y profundidad máxima de interpretación de 30 metros.

Esta imagen no registra resistividades anómalamente bajas toda vez que el fenómeno geotérmico observado en este punto es únicamente escapes de gas y el agua subterránea asociada a los puntos de emisión es fría y con conductividad normal.

En esta imagen se puede observar que la profundidad del nivel freático es cercana a los 4.3 metros (verde) bajo la cual se encuentra una mayor saturación en el terreno (azul), principalmente entre los 28 a 100 metros del sondeo. Esta zona concuerda con el comportamiento de las fuentes de emisión de gases, una de las cuales se encuentra unos

metros al occidente del extremo NW de la imagen (izquierda) y el punto conocido como "El Hervidero" que se localiza hacia los 90 metros del sondeo.

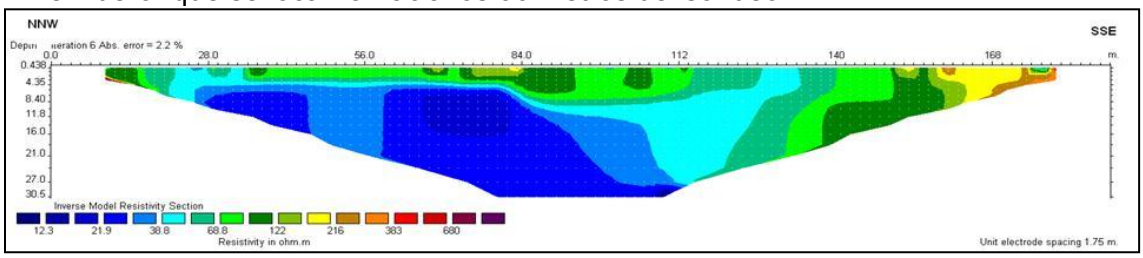


Figura 23. Tomografía eléctrica 3

De acuerdo a lo anterior puede interpretarse la franja de baja resistividad (azul, 12-30 Ω.m) como una zona de alto fracturamiento que permite tanto la mayor saturación de agua como el ascenso de gases, lo cual es concordante con el trazo de la falla Cerro Plateado que tiene una orientación NW-SE.

6.6. Tomografía 04

Realizada al sur-occidente del sector Lanceros, con rumbo N-S, se utilizaron 18 electrodos con una distancia entre ellos de 10 metros para una longitud total de 170 metros y profundidad máxima de interpretación de 26 metros.

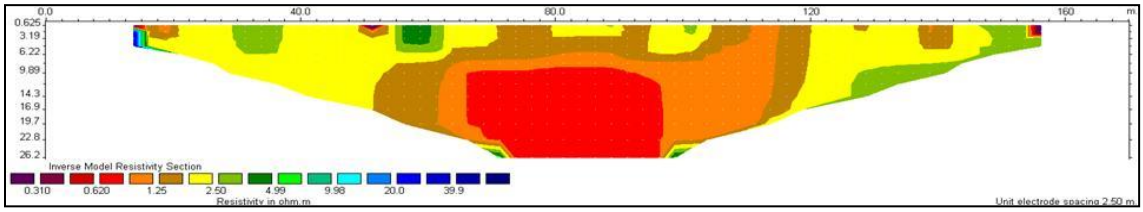


Figura 24. Tomografía eléctrica 4

Esta tomografía fue realizada sobre el trazo inferido de la falla "El Hornito" la cual tiene una dirección aproximada NE-SW. Se encuentra que, si bien en la totalidad del terreno la resistividad medida el muy baja (menor a 3 Ω.m), hay un contraste en la distribución de la resistividad que merece ser señalado y es la zona central del sondeo, con la menor resistividad medida, señalada con color verde (menor a 1 Ω.m) y localizada a partir de los 6 metros de profundidad. Esta área tiene una forma similar a un diapiro y puede estar relacionada con el ascenso del fluido salobre a través de una zona fracturada (falla El Hornito), situación que se ve demostrada un poco más al oeste, al borde sur del Lago Sochagota en predios del club de caza y pesca, en donde se evidenció la presencia de manantiales de agua salobre y fría además de extensas superficies de suelo con costras de sal similares a las encontradas en los sectores de Lanceros y aeropuerto.

6.7. Tomografía 05

Realizada al occidente del sector Lanceros, con rumbo S25ºE, se utilizaron 34 electrodos con una distancia entre ellos de 10 metros para una longitud total de 330 metros y profundidad máxima de interpretación de 55 metros.

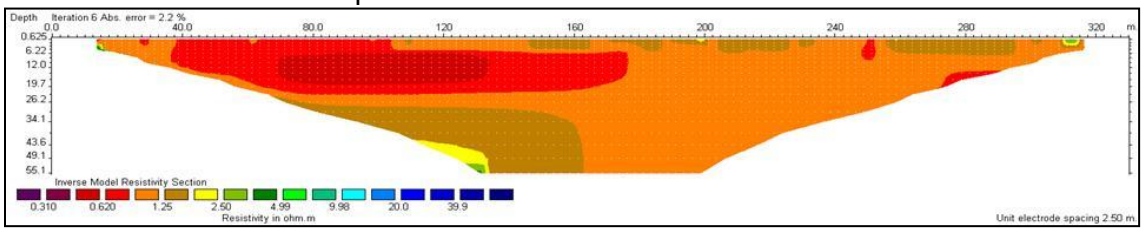


Figura 25. Tomografía eléctrica 5

En esta tomografía, de manera similar a la anterior, la totalidad de las resistividades encontradas es menor a 10 Ω.m y estarían relacionadas con materiales saturados con agua salobre. En la imagen se puede diferenciar una capa de muy baja resistividad (azul) hacia el NW (izquierda) y cerca de 20 metros de espesor desde la superficie del terreno, bajo la cual la resistividad es un poco mayor (verde) y que podría interpretarse como sedimentos saturados con agua salobre de los cuales no es claramente identificable una fuente profunda por lo que pueden estar más relacionados con concentración superficial de las sales por evaporación y recirculación cerca a la superficie.

Hacia el extremo SE de la tomografía (derecha), el cual incluye el cauce de la quebrada La Honda y se encuentra muy cerca de los puntos de afloramiento de agua termal, se observa una zona de resistividad más baja (azul) la cual no tiene una geometría similar a la anterior y parece sugerir una profundización similar a la de la tomografía 1 relacionada con el trazo inferido de la falla El Bizcocho.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se localizaron e interpretaron 77 SEV dentro del área geotérmica de Paipa que permitieron realizar una caracterización geoeléctrica de las unidades geológicas y materiales presentes en el área además de la influencia que las fuentes salobres, termales o no, tienen sobre la resistividad de los mismos. Producto de este análisis se estableció que los materiales que se encuentran saturados con aguas salobres tienen una resistividad muy baja (inferior a 10 Ω.m) y menor en comparación con las demás rocas y materiales que están secos o saturados con agua dulce.

Se generaron mapas de distribución de la resistividad aparente a diferentes profundidades con los cuales es posible hacer un seguimiento del comportamiento de la anomalía de muy baja resistividad, identificando dos áreas principales conocidas por la presencia de fuentes termales salobres (La Playa y Lanceros), en donde la geometría y variación de la anomalía con el cambio de profundidad sugiere un control estructural sobre el ascenso de los fluidos asociado a fracturas (Fallas El Bizcocho, Canocas, Cerro Plateado y El Hornito) hasta cerca a superficie (menos de 50 metros) en donde la anomalía se extiende probablemente mientras el agua salobre satura sedimentos recientes de mayor permeabilidad.

En el sector de olitas se identificó una anomalía de muy baja resistividad a los 200 metros de profundidad la cual no tiene una manifestación comprobable en superficie que permita relacionarla con una fuente salobre, caliente o fría. Adicionalmente se realizó una tomografía eléctrica en el sector de El Hervidero, en donde existen fuentes de emisión de gases pero no fuentes salobres, con la cual se pudo identificar una zona de mayor fracturamiento que favorece la permeabilidad y ascenso de fluidos igualmente relacionados con una estructura de falla (Falla Cerro Plateado).

De acuerdo a las observaciones hechas en campo con apoyo de las tomografías eléctricas se encuentra que el método eléctrico permite determinar zonas de muy baja resistividad asociada a fluidos salobres de alta conductividad pero no establece claramente si estos son termales o no. Lo anterior se evidenció con la tomografía 4 que muestra sedimentos saturados con agua salobre fría y la tomografía 5, que fue realizada en una zona donde se conoce que hay fluidos salobres de alta temperatura, entre las cuales no se establecen diferencias de resistividad que permitan identificar si la fuente es caliente o no.

Se puede hacer una comparación entre las fuentes salobres calientes localizadas en los sectores de Lanceros y La Playa, con la fuente salobre fría localizada al sur del Lago Sochagota, esta última debida probablemente a un mayor tiempo de tránsito cerca a superficie que normaliza la temperatura. En este sentido se puede interpretar que el fluido caliente que brota en la zona de Lanceros y La Playa es salobre desde una profundidad mayor a lo pensado inicialmente (entre 30 a 50 metros), asumiendo que exista una fuente única de fluidos y que los encontrados en el sector del Sochagota tienen el mismo origen pero un mayor tiempo de residencia cerca a la superficie.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta es el posible efecto del drenaje sobre la concentración de sales cerca a superficie, dado que la quebrada Honda Grande recibe agua de la fuente termal y salobre en La Playa y la lleva hacia el sector de Lanceros, en donde los sedimentos aluviales quedan saturados en sales por efecto de la evaporación, aporte de la misma quebrada e infiltración por el ascenso de los fluidos termales salobres registrados hacia el norte del área. Este proceso genera una capa de muy baja resistividad cerca a superficie (alrededor de 20 metros) bien diferenciada en las tomografías eléctricas y mapas de isoresistividad.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

INGEOMINAS, 1982. Aplicación del método geoeléctrico para los cuerpos volcánicos del sector carbonífero San Nicolás-Salitre.

INGEOMINAS, 2002.Exploración geofísica con el método electromagnético en el Municipio de Paipa.

INGEOMINAS, 2002. Geoquímica del sistema geotérmico de Paipa.

INGEOMINAS, 2004. Vulcanismo de Paipa.

INGEOMINAS, 2004. Sondeo preliminar de Radón en el área geotérmica de Paipa.

INGEOMINAS, 2004. Geología del sector sur del Municipio de Paipa (Boyacá): Planchas 171 y 191. Escala 1:25.000.

INGEOMINAS, 2004. Geología del sector sur del Municipio de Paipa (Boyacá). Escala 1:25.000

INGEOMINAS, 2005. Modelo conceptual preliminar del sistema geotérmico de Paipa.

ANEXOS 1. DATOS DE CAMPO SEV

No.	X	Y	Z	DISTANCIA AB/2 (m)																									
				RES1.5	RES2.5	RES4	RES6	RES8	RES10	RES12	RES15	RES20	RES25	RES30	RES40	RES50	RES60	RES75	RES100	RES125	RES150	RES175	RES200	RES250	RES300	RES350	RES400	RES500	RES600	RES700
1	1107701	1121955	2598	97	152	212	164	128	95.8	89.3	83.2	64.9	51.1	41.3	28.1	24.9	22.7	21.1	18.2	13.3	13.6	13.3	13.7	16.1	8.37					
2	1109468	1123610	2712	270	249	206	162	142	132	112	84.9	62	52	48.7	41.9	40.8	38.8	31.7	26.4	24.9	23	24.5	25.8	24.9	22.1	22.6				
3	1108078	1120956	2621	450	504	589	643	581	530	451	344	169	86.1	56	32.8	22.3	20.3	19.7	20.3	20.9	17.7	18.2	18	17.6	16.1	17.4	18.5	19.5	21.1	24.5
4	1107018	1123136	2578	134	146	161	152	119	95	86.7	77.7	67.8	52.3	44.1	46.6	44.8	43.4	39.5	40.9	35.1	25.6	26.4	23.1	23.5						
5	1107022	1118143	2725	273	228	275	295	284	268	253	219	188	165	156	156	149	125	107	89.5	80.7	84.1	87.3	91.3	103	98.5	100	92.3	101	95.7	112
6	1108016	1118406	2768	267	139	95	87.9	89.8	88.7	87.2	74.6	68.9	64.6	85.1	107	144	165	178	195	207	211	250	273	315	301	286	270			
7	1107377	1119129	2684	119	102	89.2	102	127	148	160	178	198	212	206	178	141	114	84.4	60.5	48.6	43.2	43.3	37.9		34.5	35.3	38.7	47.9	58.4	
8	1108834	1119138	2759	160	117	81	63.8	62.8	63.6	65.3	68	71.6	72.7	74.5	83.4	96	102	110	122	130	135	148	169	161	141	124	125	154		
9	1108426	1119811	2707	312	90	84.1	63.8	63.4	63	61	64.4	66	66.1	65.8	69.1		89	91.9	97.8	112	119	118	121	159	125	118	132	163	176	150
10	1108915	1120474	2678	111	115	108	115	121	127	128	120	111	89	70.7	54.9	50.6	49.5	45.7												
11	1108921	1121100	2631	133	99.7	77.5	75.5	83.2	92.6	98.2	75.3	76.9	81.4	84	89.1	74.9	66.3	54	53.2	40.8	40.3	43.6	40.5	39.8	43.7	42.2	68.3			
12	1107784	1126139	2628	880	951	557	311	311	347	375	423	476	481	455	407	403	402	370	296	270	192	154	158	148	123	102	103			
13	1107919	1124221	2774	779	777	792	700	690	624	566	511	410	385	363	329	287	275	212	152	115	95.8	87.8	91.9	90.6		80.5				
14	1109903	1125248	2535	62.2	33.2	37.1	40.2	41.5	38.4	38.7	40.4	42.3	45.3	46.6	48.6	46.6	44.2	41.3	42.7	43.3	41.7	44.3	46.6	43.3	55	53.3	55.4			
15	1106672	1125559	2533	1920	1358	743	304	110	42.7	22	10.8	6.3	6.53	6.42	5.66	5.08	4.29	4.81	8.27	9.23	46.9	37.3	8.12	9.35	10	37.5	17.7	46.6		
16	1107040	1124919	2570	237	217	137	63.1	37.8	29.8	26.5	19.7	16.8	14.7	13	11	10.6	9.16	9.63	9.15	6.99	6.31	5.56	5.2		5.58	5.06				
17	1106646	1126421	2546	249	278	246	210	162	126	94.4	70.8	50.1	44.5	43.7	50.3	58	67.1	80.3	109	131	160	190	219	259	297	300	272	197		
18	1106953	1126984	2526	291	119	63.8	39.4	41.1	42.5	46.2	50.7	57.7	64.5	64.7	55	61.2	63	63.5	74.8	95.1	98.9	96.3	96.4	74.8	76.3	72.8	74.2	62.3	69.6	66.5
19	1110411	1126027	2509	398	246	177	149	145	151	153	159	159	150	130	90.8	71.5	64.2	64.4	64.2	67.2	73.2	78	84.1	92.9	94.7	103	115	127	129	
20	1108366	1126091	2617	1554	1703	1479	1418	1474	1422	1322	1116	634	432	399	262	197	171	158	162	131	140	117	101	99.5	77.5	81.2	79.6	88.5	88	79.1
21	1107210	1127391	2446	794	159	38.6	31	39.6	36.9	34.2	32.7	32.9	35.4	37.8	43.5	48.5	53.8	58.2	62.5	66.2	67.3	66.6	63.4	49.2	41.4	39.1	38.8	33.1	33.2	
22	1108133	1128844	2568	755	336	227	223	257	319	368	462	608	741	835	1067	1204	1346	1109	934	964	1039	1134	1034	859	718					
23	1106977	1127579	2514	11.8	7.8	8.94	11.3	12.4	14.5	15.7	16.1	16.8	18.5	21.1	23.8	26	24	30.4	34	26.6	33.2	32.2	32.1	30.5	27.5	34.2	25.1	46.8		28.1
24	1110478	1122343	2772	379	255	225	174	146	125	121	114	107	99	92.7	83.3	93.5	110	134	141	141	130	103	91.5	77	71	70	71.2	83.2	89.3	95.1
25	1109134	1124118	2743	391	425	365	284	229	201	184	162	132	110	97.7	59.6	62.6	71	63.3	72	69.6	62.6	53.7	38.8	27.4	27.9	32.1	28.7			
26	1106655	1127227	2530	113	109	89	43.9	35.5	30.7	25.2	36.7	34.1	36.4	38.4	38			45.5	46.8	44.4	34.9	34.5	32.9	31.1	31.4	33.1	36.2			
27	1106992	1128183	2517	1.52	1.56	1.59	1.73	1.9	2.07	2.13	2.24	2.29	2.19	2.04	1.78	1.68	1.65	1.61	1.71	1.95	1.6	1.76	1.98	2.4						
28	1107189	1129546	2517	72.8	9.64	5.8	5.29	5.36	5.09	5.07	4.75	4.91	4.66	4.72	4.68	4.3	3.61	4.05	3.2	2.4	2.17		2.39							
29	1103675	1128146	2761	289	305	316	321	327	354	385	454	593	708	798	994	1107	1199	1456	1970	2665	3101									
30	1105765	1124652	2709	2935	3219	3441	2913	2251	1749	1399	932	651	399	335	267	101	89.2	49.3	26.8	24.7	27.9	25.1	27.3							
31	1107309	1122460	2580	132	117	108	88.1	67.6	56	48.4	58.3	51.8	47.5	47.2	48.4	41.9	31.8	22.8	16.1	15.6	11.4	12.4	6.74							
32	1105639	1127385	2528	198	147	94.5	55.3	40.8	36	33.5	29.1	27.8	27.1	27	24.6	23.1	20.6	18.6	15	12.6	11.6	9.54	8.57	6.57	5.2	6.88	5.72	5.48		
33	1105225	1124156	2722	902	442	391	386	410	410	424	431	410	351	303	208	165	133	99.1	111	148	159	114	95.2	78.5	76.9	68.3	74.7			
34	1110824	1121338	2797	543	427	454	569	737	845	954	1156	1492	1778	2102	1970	1625	1218	988	1038	1117	1173	1174	1151	1136	1211	1062			
35	1110000	1121462	2713	261.1	258.1	243.9	206.9	186.6	158.9	137.6	112.3	77.1	60.81	55.15	53.39	57.64	61.84	68.22	74.91	82.01	86.08	90.44	96.18	109.5	123.5	137.9	158	210.6	223	252.5
36	1109850	1122848	2747	376	319	243	212	200	182	173	148	108	83.2	64.9	46.7	35.3	30.4	33.9	29	27.8	25.9	25.8	26.5	27.6	27.9	32.5	34.3	48.5	64.7	66
37	1108802	1121922	2626	30.6	26.9	32.2	34.4	35.4	34.1	32.5	33.4	35.2	34.9	34.9	31.9	30.4	28.2	28.8	25.6	25.1	20.8	22.7	26	31	31.2	33.8	34.1	33.2	36	37.6
38	1108109	1123028	2613	52.8	50.4	61.6	65.3	71.4	77.6	80.1	82.8	83.4	78.6	73.9	65.1	55.5	50.8	44.4	37.3	34.5	33.4	33.7	32.6	28.8	26.9	21.8	20.2			
39	1109101	1123280	2745	356	377	392	344	324	313	298	267	221	187	163	105	66.1	47.4	41.1	38.7	40.4	44.4	49.9	50.3	41.8	42.5	42.7	33.8	29.6		
40	1103794	1119011	2731	278	266	329	427	514	600	676	768	860	868	840	691	565	432	338	288	225	175	139	112	69.8	49.6	42.7	40.1			
41	1105173	1120862	2760	494	311	197	108	84.9	75.9	75	71.3	70.4	70.8	72.7	75.9	80.6	87.3	91	99.1	104	104	101	103	91.9	76.6	74	55.5	51.1	45.2	43.5
42	1106005	1119573	2801	3274	2312	1025	394	295	232	217	185	127	95	74.9	46.4	34.6	31.2	30.4	31.6	32.8	32.8	33.9	34	34.8	35.9	35.2	36.5	35.1	42.5	45.1
43	1105642	1121290	2773	390	253	259	220	187	174	163	154	126	127	123	124	142	151	176	196	199	224	227	201	251	282	272	255	195	134	
44	1104936	1118561	2826	926	791	749	641	539	428	402	390	403	440	420	415	353	237	162	105	108	94.2	87.8	87.9	78.5	80.3	83.7	88.6	89	93.6	
45	1103187	1120801	2766	517.4	485.4	411.9	304.4	214.6	151.4	101.2	63.02	34.69	25.9	25.32	26.16	28.1	31.73	36.43	45.1	54.91	61.78	65.41	68.95	68.1	71.49					
46	1102244	1123243	2761	200	56.6	32.7	23.5	22.5	22.1	23.1	25.3	25.6	28.3	29.4	32.7	33.5	34	34.9	25.7	25.1	25.4	24.9	26.5	26.7	24.7	26.4	28		30.6	34.2
47	1103524	1117823	2746	821	600	478	387	311	259	219	187	153	119	90.4	74.9	64.2	58.5	56.4	70.9	74.1	70.3	53.3	46.5	37.6	44.8	40.5	35.4			
48	1105495	1123034	2737	562	241	159	151	133	126	110	91.7	67.9	56.7	51.9	44.4	37.6	29.6	27.4	28	27	34.2	35.8	29.7	29.8	28.8	31.9	29.1	28.8		
49	1104407	1125057	2630	684	484	307	198	127	99.1	76.3	94.8	53.5	49.1	42.8	46.2	40.7	39.7	41.1	37.6	47.4	37.5	34.7	35.6	50.9	40.1	36.8				
50	1103361	1124265	2730	1287	1277	1150	1036	1268	1589	1766	2159	2644	2960	2959	2796	2737	2651	2717	2999	1636	720	616	557	350	252	128	82.5			
51	1102926	1126381	2786	401	469	531	542	578	632	675	733	760	839	913	1040	1088	1343	1549	1966	2296	2573	2657	2895	2787	2103	1937	1871	1387	1287	
52	1102476	1126888	2714	707	914	932	745	563	471	385	296	199	150	96	43.7	34.4	34.2	37.9	50	52.3	53.5	55.5	59.7	57.7	62.3	65.2	81.4	68.8		
53	1104635	1126619	2608	133	84.7	86.2	80.6	68.5	59.5	54.8	42.4	31.2	25.7	24.8	20.6	24.5	25	24.6	21.4	20.3	17.5	15.5	15.2	11.3	9.28	8.18	7.28	6.75	6.56	7.38
54	1104973	1127755	2556	321	299	193	138	117	86.1	70.5	53.3	48.1	45.6	43.4	36.2	33.1	32	30.6	29.7	27.5	26.6	24.5	24.2	21.9	21.2	23.6				
55	1105574	1126672	2532	3875	1923	908	523	445	394	383	384	304	221	156	105	61.9	47.8	36.8	30	26.9	25	23.1	21.6	13.2	17.4	16.7	15.4	12.7		
56	1105754	1126786	2516	223	169	90.9	74.1	67.1	62	64	58.5	55.4	53	50.8	44.5	37.1	33.4		24.7	24.6	21.2	24.3	23.4	20.6	17	11.6	9.61			
57	1105098	1128222	2583	216	213	202	159	128	105	85.3	67.8	53	53.1	47.1	39.5	40.8	39.3	37.4	38.5	32.5	25.9	24.6	22.8	24.1	14.8	14.4	15.2	14.6		
58	1103342	1125175	2592	344	402	288	126	78.3	53.8	43.8	34.4	23	20.6	19.4	17.4	17.4	16.6	17.3	17.8	17.5	18.3	17.6		16.7	20	21				
59	1103952	1129405	2522	529	564	476	364	334	319	314	291	258	229	218	183	170	163	175	210	194	146	153	151	123	80.1	68.5	72.8			
60	1105978	1129804	2510	10.6	4.01	4.15	5.33	6.41	7.33	10.5	11.2	11.7	11.7	11.6	11	10.6	10.2	9.56	8.29	7.94	7.78	8.03	7.95	8.53	9.73	10.9	11.8	15.1	15.9	16.3
61	1104098	1125482	2564	526	196	134	97	83.1	81.1	81.2	87.4	68.6	74.1	80	88.8	97.5	103	105	103	90.3	78.9	77.8	61.2	15.9	14.5	16.5	9.45	7.35		
62	1104957	1127224	2544	586	255	224	243	263	272	267	250	154	123	97.2	55.9	32.1	26.5	23.9	17.3	18	23.4	17.6	23.8	32.8	27.2	34				
63	1105770	1128530	2518	3351	1423	793	819	780	748	773	806	710	597	569	527	472	424	282	147	65.8	72.4	43.1	42	41.6	40.4	49.5				
64	1108214	1125729	2641	117	51.9	48.7	40.9	33.7	32	32.6	34.2	23.6	24.1	24.1	22.9	22.8	23.2	24	21.8	24.2	22.8	22.1	24.1	24.3	28.3	24.5				
65	1102654	1125304	2683	282	278	210	114	72.3	58.6	61.7	58.1	50.5	47.8	50.2	61.9	69.6	73.4	75	80.5	85.2	89.7	75.4	73.9	65	59.1	55.8	40.4			
66	1106096	1126479	2539	237	233	176	95.3	60.6	49.1	53	47.5	43.8	41.5	45.2	56.3	55.3	73.4	74.6	80.8	87.4	90.4	78.8	76.3	67.1	60.7	57.9	40.3			
67	1105332	1129559	2523	1913	831.19	532.65	266.24	206.71	173.63	152.24	131.35	72.31	61.86	51.7	53.07	25.61	19.27	9.23	4.06	7.59	23.9	15.9	22.03	34.3		31.3				
68	1105927	1127844	2523	175	60.8	20.2	14.3	16.8	14.9	13	10.9	5.89	5.97	4.7	3.77	3.2	3.48	2.34	2.92		4.51	4.22	6.28	5.82	7.38	8.65	9.56			
69	1106360	1127442	2534	1410	837	484	236	187	162	145	131	63.1	44.7	34.2	31.1	20.7	11.4	11.7	15.7	10.7	22.5	10.8	13.6	38.2	28.6	32				
70	1105927	1127844	2523	132	110	90.3	65.3	52.5	50.2	54	53.5	39.7	39.9	41.5	36.3	37.9	39.9	48.6	64.1	68.3	75.6	82.2	79	63.3	47.8	40.3	33.3		36.5	
71	1107260	1127387	2526	2.57	1.94	1.62	1.49	1.52	1.55	1.6	1.67	1.3	1.31	1.28	1.34	1.35	1.38	1.49	1.7	1.68	1.83	2.15	2.76	2.59						
72	1106786	1128506	2523	93.1	105		120	131	120	114	101	50.7	35	24.9	18.4	21.4	20.8	20	18.8	21	17.5	20.3		18.4	24.6	32.6				
73	1106987	1123337	2509	16.6	17.2	16.3	13.7	13.2	12.7	12.8	12.8	11.6	11.3	10.8	10.5	10.7	10.5	10.1	8.79	8.66	8.42	7.36	7.53	6.26	6.68	6.52	11.4	9.19		
74	1107807	1122280	2583	587	546	425	249	135	93.5	76.6	76.4	63.1	68.3	74.8	82.7	89.1	87.6	81.5	68.4	43.5	25.4	20.2	18.1	11.8	9.03					
75	1107907	1129667	2518	189	110	62.2	36.5	19	12.1	5.88	3.95	1.05	0.85	0.72	2.82	1.83	2.25													
76	1106911	1127791	2521	7.54	2.77	1.21	1.12	1.04	1.03	1.18	1.1	0.98	0.96	0.86		1.28	0.93	1.03	0.74	1.34	1.54		4.43							
77	1107364	1128872	2528	189	110	62.2	36.5	19	12.1	6.35	3.65	2.14	1.74	1.46	28.6	18.5	22.8													

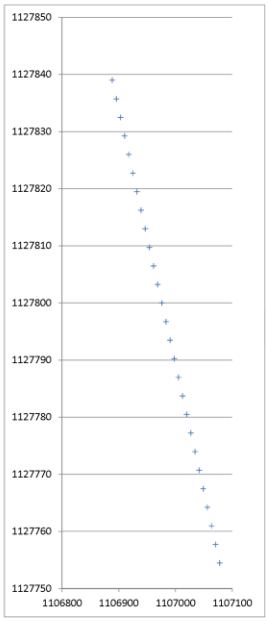
ANEXOS 2. MODELOS GEOELECTRICOS

					RESISTIVIDAD								ESPESOR					
No.	X	Y	Z	Error	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	E1	E2	E3	E4	E5	E6
1	1107701	1121955	2598	12.69	64.2	1137	44.8	12.3					0.75	0.64	22			
2	1109468	1123610	2712	3.66	289	158	19.3	74.6	7.96	23.5			1.48	5.88	4.87	15.4	8.71	
3	1108078	1120956	2621	4.59	430	1995	21.3	14.5	660				1.97	1.98	66.7	373		
4	1107018	1123136	2578	5.1	116	418	72.6	21	92.8	4.11	658		1.19	0.92	9.79	9.89	27.4	48.1
5	1107022	1118143	2725	3.65	379	70.2	1354	159	29.9	395	23.4	859	0.75	0.5	0.862	35.5	31	45
6	1108016	1118406	2768	6.35	428	39.9	227	19.7	421	114			0.862	1.11	2.2	5.01	226	
7	1107377	1119129	2684	2.69	136	47.9	862	43.2	10.4	646			1.22	2.06	5.49	107	82.4	
8	1108834	1119138	2759	5.38	187	49.5	72.7	285	33	633			1.22	2.99	28.9	75.9	78.4	
9	1108426	1119811	2707	10.64	449	61.1	151						0.75	28.4				
10	1108915	1120474	2678	3.38	110	285	15.1	49.9					4.92	4.08	5.89			
11	1108921	1121100	2631	7.66	169	29.8	88.1	27.4	325				1.05	0.54	36.2	157		
12	1107784	1126139	2628	7.09	1116	63.9	2221	344	96.7				1.85	1.34	2.93	54.8		
13	1107919	1124221	2774	2.63	791	353	35.9	274	16.4				5.36	37.6	45.7	81.7		
14	1109903	1125248	2535	3.7	107	6.41	182	13.5	139	13.3	63.1		0.75	0.44	1.09	3.56	10.1	19.1
15	1106672	1125559	2533	44.04	1794	8.73	1.36	414					2.07	16.1	17.4			
16	1107040	1124919	2570	5.23	274	25.7	10.4	4.58					1.9	7.27	49.9			
17	1106646	1126421	2546	23.49	268	30.2	1079						4.71	24.3				
18	1106953	1126984	2526	5.99	514	67	16.3	188	21.2	385	57.5		0.75	1.76	2.37	5.11	13.2	23.3
19	1110411	1126027	2509	3.08	532	129	334	18.9	91.3	207			0.926	5.54	6.6	13.2	145	
20	1108366	1126091	2617	7.07	1603	174	75.7						8.86	65.9				
21	1107210	1127391	2446	7.28	1507	5.17	212	8.51	179	28.3			0.75	0.612	1.29	5.06	35.3	
22	1108133	1128844	2568	9.06	1380	158	9445	672					0.75	4.41	7.49			
23	1106977	1127579	2514	15.18	14.7	1.54	30						1.02	0.551				
24	1110478	1122343	2772	7.24	381	140	37	484	13.9	334			1.38	9.06	10.2	26.7	71.4	
25	1109134	1124118	2743	7.44	433	183	20.8	203	3.75	485			2.49	10.5	9.95	29.3	53.6	
26	1106655	1127227	2530	7.01	126	7.3	48.5	9.32	372				2.39	1.61	88.1	81.6		
27	1106992	1128183	2517	2.99	1.52	5.54	0.716	3.62	0.624	266			4.84	5.15	12.9	21.7	50.5	
28	1107189	1129546	2517	24.69	91.3	5.04	1.97						0.587	33.9				
29	1103675	1128146	2761	7.6	272	589	174	1688	7809				1.31	0.82	3.36	35.4		
30	1105765	1124652	2709	5.56	2697	6017	536	11.3	31.8				1.26	1.95	17.5	21.9		
31	1107309	1122460	2580	13.58	129	24.9	124	16.9	5.46				3.2	3.91	8.04	66.6		
32	1105639	1127385	2528	4.47	208	30.8	21.4	5.12					1.7	12.6	49.3			
33	1105225	1124156	2722	9.82	1710	79	514	33.9	419	51			0.75	0.37	14.2	14.1	25.9	
34	1110824	1121338	2797	9.99	685	156	8749	207	10000	10.5			0.986	1.18	6.23	19.3	33.8	
35	1110000	1121462	2713	3.22	254	41.9	91	981					5.77	21.5	146			
36	1109850	1122848	2747	6.18	438	203	30.7	10.7	365				1.08	9.16	83.2	83.6		
37	1108802	1121922	2626	5.17	27.9	35.4	9.24	43.4					1.55	40.6	29.9			
38	1108109	1123028	2613	3.65	50	101	33.7	11.1					2.52	14.9	187			
39	1109101	1123280	2745	3.45	377	269	15.6	145	17.1				4.15	13.3	26.8	50.7		
40	1103794	1119011	2731	4.74	253	3439	259	10.4	433				3.04	4.71	82	121		
41	1105173	1120862	2760	2.98	586	303	67.5	264	37.9				0.9	1	35.5	41.4		
42	1106005	1119573	2801	4.29	4122	253	29.7	51.9					1.36	9.46	162			
43	1105642	1121290	2773	10.67	473	222	102	357	98.1				0.75	5.07	27.8	223		
44	1104936	1118561	2826	5.66	877	126	1264	12.5	89.4				3.61	2.73	8.91	5.6		
45	1103187	1120801	2766	1.68	521.8	158.5	19.75	269.4	8921				2.87	3.21	33.93	85.65		
46	1102244	1123243	2761	7.27	358	22.1	129	23.3	307				0.75	13.8	5.24	447		
47	1103524	1117823	2746	6.55	1086	479	189	29.7	201	28.3			0.75	2.87	10.6	18	24	
48	1105495	1123034	2737	4.89	1129	45.2	261	59.8	9.51	30.2			0.75	0.52	2.47	17.8	6.94	
49	1104407	1125057	2630	8.24	897	448	102	38.6					0.75	1.49	6.08			
50	1103361	1124265	2730	17.71	1165	20172	514	43.4					7.45	7.1	111			
51	1102926	1126381	2786	17.38	402	720	5650	485					1.71	22.7	163			
52	1102476	1126888	2714	6.6	499	3440	364	7.41	74.3				0.75	0.64	9.39	8.11		
53	1104635	1126619	2608	4.07	222	16.5	130	19.6	27	4.67	174		0.75	0.288	3.12	17.1	72.5	455
54	1104973	1127755	2556	4.41	371	151	44.1	29.5	9.81	425			1.37	2.97	14.1	97.7	128	
55	1105574	1126672	2532	5.67	6790	1207	217	680	33	13			0.75	1.6	2.13	6.25	78.4	
56	1105754	1126786	2516	9.2	285	60.3	14.2	52.6	6.88				1.16	23.7	35.3	52		
57	1105098	1128222	2583	4.44	218	42.4	13.3						4.13	72.7				
58	1103342	1125175	2592	6.14	314	1333	48.7	16.7	351				0.75	0.48	5.53	322		
59	1103952	1129405	2522	6.49	585	299	68.1	550	50.5				1.99	13.7	12.6	29		
60	1105978	1129804	2510	5.63	19.7	0.587	98.9	6.63	32.3				0.75	0.557	2.42	158		
61	1104098	1125482	2564	12.27	718	79.4	367	5.93					0.895	26.4	19.8			
62	1104957	1127224	2544	6.25	1139	52.6	985	35.9	5.27	70.6			0.75	0.736	2.65	28.7	26.4	
63	1105770	1128530	2518	8.45	5889	720	32.7	387					0.75	32.7	246			
64	1108214	1125729	2641	7.85	212	7.03	158	23.4					0.75	0.29	0.769			
65	1102654	1125304	2683	4.85	242	758	47.9	133	17.8				0.75	0.606	24.8	85.6		
66	1106096	1126479	2539	3.16	205	532	11.9	90.7	18.4	169	16.4		0.75	0.812	1.08	3.57	8.02	72.6
67	1105332	1129559	2523	31.4	1649	134	1.84	304					1.54	16.1	16.6			
68	1105927	1127844	2523	8.2	338	5.62	44.8	4.21	0.903	39.1			0.817	0.949	1.97	23.5	24.1	
69	1106360	1127442	2534	11.86	1687	214	37.4	4.69	77				1.23	6.21	17.9	32.2		
70	1105927	1127844	2523	9.76	140	51.1	13.8	342	20.6				1.61	12	11.1	27.4		
71	1107260	1127387	2526	6.77	3.36	1.5	1.1	3.46					0.75	11.9	36.3			
72	1106786	1128506	2523	9.31	91.6	417	5.45	72.5	4.14	191			2.36	2.18	7.92	15.1	39	
73	1106987	1123337	2509	8.66	17.2	11	3.32	18.7					2.95	73.7	107			
74	1107807	1122280	2583	7.69	632	52	250	7.94					2.5	13	17			
75	1107907	1129667	2518	23.29	242	46	0.245	10.4					1.04	3.48	6.41			
76	1106911	1127791	2521															
77	1107364	1128872	2528															

ANEXOS 3. DATOS TOMOGRAFIAS

TOMOGRAFIA 1

NOMBRE	Paipa-La casona
ELECTRODOS	27
LINEAS	8
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS (m)	8
RUMBO	114



Coordenadas electrodos		
ELECTRODO	X	Y
1	1107077.8	1127754.5
2	1107070.5	1127757.75
3	1107063.2	1127761
4	1107055.9	1127764.25
5	1107048.6	1127767.5
6	1107041.3	1127770.75
7	1107034	1127774
8	1107026.7	1127777.25
9	1107019.4	1127780.5
10	1107012.1	1127783.75
11	1107004.8	1127787
12	1106997.5	1127790.25
13	1106990.2	1127793.5
14	1106982.9	1127796.75
15	1106975.6	1127800
16	1106968.3	1127803.25
17	1106961	1127806.5
18	1106953.7	1127809.75
19	1106946.4	1127813
20	1106939.1	1127816.25
21	1106931.8	1127819.5
22	1106924.5	1127822.75
23	1106917.2	1127826
24	1106909.9	1127829.25
25	1106902.6	1127832.5
26	1106895.3	1127835.75
27	1106888	1127839

LINEA 1				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	2	3	4	8.282
2	3	4	5	99.461
3	4	5	6	0.016
4	5	6	7	0.238
5	6	7	8	0.174
6	7	8	9	0.213
7	8	9	10	0.24
8	9	10	11	0.175
10	11	12	13	0.278
11	12	13	14	0.742
13	14	15	16	16.421
14	15	16	17	0.155
15	16	17	18	17.120
16	17	18	19	17.551
17	18	19	20	1.553
18	19	20	21	1.253
19	20	21	22	15.119
20	21	22	23	0.466
21	22	23	24	51.323
22	23	24	25	11.876
23	24	25	26	0.207
24	25	26	27	0.179

LINEA 2				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	3	5	7	1.507
2	4	6	8	2.940
3	5	7	9	0.235
4	6	8	10	0.422
5	7	9	11	0.472
6	8	10	12	0.014
7	9	11	13	0.737
8	10	12	14	1.543
9	11	13	15	1.580
10	12	14	16	3.030
11	13	15	17	0.548
12	14	16	18	2.614
13	15	17	19	1.238
14	16	18	20	2.709
15	17	19	21	17.634
16	18	20	22	0.785
17	19	21	23	0.223
18	20	22	24	0.009
19	21	23	25	0.168
20	22	24	26	17.920
21	23	25	27	1.178

LINEA 3				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	4	7	10	1.547
2	5	8	11	3.864
3	6	9	12	0.575
4	7	10	13	0.848
5	8	11	14	0.907
6	9	12	15	1.745
7	10	13	16	1.826
8	11	14	17	0.282
9	12	15	18	0.168
10	13	16	19	1.236
11	14	17	20	2.762
12	15	18	21	2.628
13	16	19	22	0.04
14	17	20	23	1.141
15	18	21	24	4.278
16	19	22	25	4.315
17	20	23	26	0.238
18	21	24	27	1.400

LINEA 4				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	5	9	13	1.804
2	6	10	14	13.363
3	7	11	15	14.487
4	8	12	16	14.884
5	9	13	17	14.372
6	10	14	18	13.988
7	11	15	19	15.289
8	12	16	20	10.265
9	13	17	21	1.956
10	14	18	22	6.194
11	15	19	23	19.197
12	16	20	24	0.075
13	17	21	25	0.829
14	18	22	26	1.035
15	19	23	27	1.751

LINEA 5				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	6	11	16	1.490
2	7	12	17	8.756
3	8	13	18	28.766
4	9	14	19	2.940
5	10	15	20	15.699
6	11	16	21	7.336
7	12	17	22	102.739
8	13	18	23	1.163
9	14	19	24	18.395
10	15	20	25	1.256
11	16	21	26	1.842
12	17	22	27	0.337

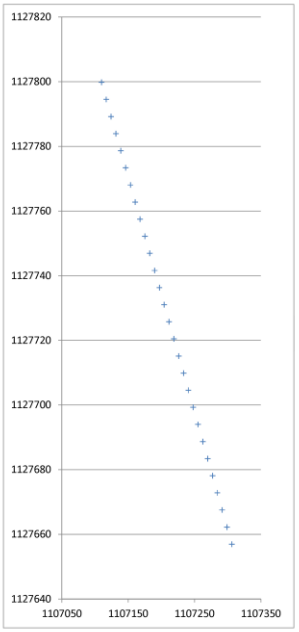
LINEA 6				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	7	13	19	2.150
2	8	14	20	4.800
3	9	15	21	3.577
4	10	16	22	13.377
5	11	17	23	1.682
6	12	18	24	12.467
7	13	19	25	16.790
8	14	20	26	1.941
9	15	21	27	2.015

LINEA 7				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	8	15	22	15.278
2	9	16	23	16.939
3	10	17	24	2.867
4	11	18	25	16.088
5	12	19	26	242.234
6	13	20	27	1.405

LINEA 8				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	9	17	25	5.486
2	10	18	26	11.740
3	11	19	27	2.468

TOMOGRAFIA 02

NOMBRE	TOMOGRAFIA 2
ELECTRODOS	28
LINEAS	8
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS (m)	9
RUMBO	126



Coordenadas electrodos		
ELECTRODO	X	Y
1	1107306	1127657
2	1107298.7	1127662.29
3	1107291.4	1127667.58
4	1107284.2	1127672.87
5	1107276.9	1127678.16
6	1107269.6	1127683.45
7	1107262.3	1127688.74
8	1107255	1127694.03
9	1107247.8	1127699.32
10	1107240.5	1127704.61
11	1107233.2	1127709.9
12	1107225.9	1127715.19
13	1107218.6	1127720.48
14	1107211.4	1127725.77
15	1107204.1	1127731.06
16	1107196.8	1127736.35
17	1107189.5	1127741.64
18	1107182.2	1127746.93
19	1107175	1127752.22
20	1107167.7	1127757.51
21	1107160.4	1127762.8
22	1107153.1	1127768.09
23	1107145.8	1127773.38
24	1107138.6	1127778.67
25	1107131.3	1127783.96
26	1107124	1127789.25
27	1107116.7	1127794.54
28	1107109.4	1127799.83

LINEA 1				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	2	3	4	33.733
2	3	4	5	30.812
3	4	5	6	34.944
4	5	6	7	26.999
5	6	7	8	6.945
6	7	8	9	9.932
7	8	9	10	21.341
8	9	10	11	23.489
9	10	11	12	20.823
10	11	12	13	21.529
11	12	13	14	23.146
12	13	14	15	21.839
13	14	15	16	22.923
14	15	16	17	22.913
15	16	17	18	0.244
16	17	18	19	1.947
17	18	19	20	21.276
18	19	20	21	20.450
19	20	21	22	20.096
20	21	22	23	19.302
21	22	23	24	17.573
22	23	24	25	16.141
23	24	25	26	14.884
24	25	26	27	15.413
25	26	27	28	16.275

LINEA 4				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	5	9	13	27.295
2	6	10	14	28.715
3	7	11	15	27.546
4	8	12	16	26.387
5	9	13	17	28.027
6	10	14	18	25.177
7	11	15	19	24.360
8	12	16	20	22.256
9	13	17	21	1.632
10	14	18	22	20.469
11	15	19	23	20.353
12	16	20	24	19.928
13	17	21	25	1353.45
14	18	22	26	22.019
15	19	23	27	21.341
16	20	24	28	19.516

LINEA 2				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	3	5	7	34.757
2	4	6	8	35.190
3	5	7	9	29.773
4	6	8	10	25.176
5	7	9	11	20.930
6	8	10	12	26.995
7	9	11	13	28.213
8	10	12	14	22.748
9	11	13	15	21.842
10	12	14	16	22.798
11	13	15	17	22.823
12	14	16	18	22.594
13	15	17	19	6.472
14	16	18	20	19.721
15	17	19	21	21.376
16	18	20	22	20.375
17	19	21	23	19.953
18	20	22	24	20.379
19	21	23	25	20.465
20	22	24	26	0.494
21	23	25	27	17.718
22	24	26	28	17.804

LINEA 5				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	6	11	16	27.231
2	7	12	17	27.601
3	8	13	18	25.596
4	9	14	19	25.494
5	10	15	20	24.239
6	11	16	21	22.785
7	12	17	22	20.707
8	13	18	23	19.108
9	14	19	24	18.849
10	15	20	25	19.849
11	16	21	26	20.019
12	17	22	27	21.790
13	18	23	28	18.820

LINEA 8				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	9	17	25	22.581
2	10	18	26	25.242
3	11	19	27	20.587
4	12	20	28	19.641

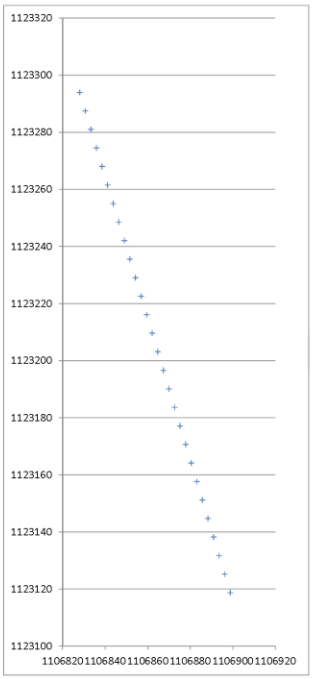
LINEA 3				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	4	7	10	32.837
2	5	8	11	29.125
3	6	9	12	25.273
4	7	10	13	26.675
5	8	11	14	28.816
6	9	12	15	27.198
7	10	13	16	25.159
8	11	14	17	23.640
9	12	15	18	22.853
10	13	16	19	23.061
11	14	17	20	21.468
12	15	18	21	20.957
13	16	19	22	20.225
14	17	20	23	20.530
15	18	21	24	21.133
16	19	22	25	22.257
17	20	23	26	21.576
18	21	24	27	20.030
19	22	25	28	17.999

LINEA 6				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	7	13	19	34.653
2	8	14	20	25.975
3	9	15	21	23.522
4	10	16	22	21.654
5	11	17	23	20.849
6	12	18	24	19.742
7	13	19	25	19.895
8	14	20	26	18.639
9	15	21	27	18.315
10	16	22	28	18.996

LINEA 7				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	8	15	22	23.010
2	9	16	23	25.513
3	10	17	24	21.463
4	11	18	25	20.212
5	12	19	26	21.099
6	13	20	27	18.816
7	14	21	28	18.097

TOMOGRAFIA 3

NOMBRE	Paipa-ElHervidero
ELECTRODOS	28
LINEAS	7
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS (m)	7
RUMBO	N22W



Coordenadas electrodos		
ELECTRODO	X	Y
1	1106828	1123294
2	1106830.6	1123287.51
3	1106833.2	1123281.02
4	1106835.9	1123274.53
5	1106838.5	1123268.04
6	1106841.1	1123261.55
7	1106843.7	1123255.06
8	1106846.3	1123248.57
9	1106849	1123242.08
10	1106851.6	1123235.59
11	1106854.2	1123229.1
12	1106856.8	1123222.61
13	1106859.4	1123216.12
14	1106862.1	1123209.63
15	1106864.7	1123203.14
16	1106867.3	1123196.65
17	1106869.9	1123190.16
18	1106872.5	1123183.67
19	1106875.2	1123177.18
20	1106877.8	1123170.69
21	1106880.4	1123164.2
22	1106883	1123157.71
23	1106885.6	1123151.22
24	1106888.3	1123144.73
25	1106890.9	1123138.24
26	1106893.5	1123131.75
27	1106896.1	1123125.26
28	1106898.7	1123118.77

LINEA 1				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	2	3	4	123.972
2	3	4	5	78.104
3	4	5	6	50.011
4	5	6	7	44.006
5	6	7	8	47.693
6	7	8	9	42.632
7	8	9	10	47.444
8	9	10	11	43.437
9	10	11	12	55.524
10	11	12	13	49.343
11	12	13	14	78.595
12	13	14	15	69.107
13	14	15	16	88.020
14	15	16	17	79.447
15	16	17	18	73.462
16	17	18	19	67.935
17	18	19	20	57.414
18	19	20	21	55.937
19	20	21	22	61.825
20	21	22	23	75.967
21	22	23	24	99.612
22	23	24	25	141.302
23	24	25	26	158.515
24	25	26	27	277.965
25	26	27	28	166.268

LINEA 2				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	3	5	7	52.850
2	4	6	8	36.171
3	5	7	9	40.910
4	6	8	10	38.730
5	7	9	11	31.847
6	8	10	12	31.292
7	9	11	13	32.207
8	10	12	14	34.081
9	11	13	15	42.762
10	12	14	16	49.084
11	13	15	17	46.690
12	14	16	18	49.478
13	15	17	19	55.285
14	16	18	20	61.108
15	17	19	21	61.038
16	18	20	22	59.764
17	19	21	23	60.316
18	20	22	24	71.118
19	21	23	25	91.175
20	22	24	26	101.15
21	23	25	27	135.074
22	24	26	28	130.926

LINEA 3				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	4	7	10	34.465
2	5	8	11	33.582
3	6	9	12	36.971
4	7	10	13	33.027
5	8	11	14	29.708
6	9	12	15	27.321
7	10	13	16	33.213
8	11	14	17	36.261
9	12	15	18	38.933
10	13	16	19	40.651
11	14	17	20	44.782
12	15	18	21	47.261
13	16	19	22	55.184
14	17	20	23	55.233
15	18	21	24	53.799
16	19	22	25	61.592
17	20	23	26	70.173
18	21	24	27	95.192
19	22	25	28	85.923

LINEA 4				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	5	9	13	33.987
2	6	10	14	32.383
3	7	11	15	31.524
4	8	12	16	29.992
5	9	13	17	29.322
6	10	14	18	30.360
7	11	15	19	34.226
8	12	16	20	39.589
9	13	17	21	44.890
10	14	18	22	43.756
11	15	19	23	45.197
12	16	20	24	42.145
13	17	21	25	46.777
14	18	22	26	48.604
15	19	23	27	60.393
16	20	24	28	58.860

LINEA 5				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	6	11	16	30.253
2	7	12	17	28.477
3	8	13	18	30.152
4	9	14	19	32.089
5	10	15	20	33.129
6	11	16	21	36.921
7	12	17	22	40.774
8	13	18	23	41.244
9	14	19	24	41.545
10	15	20	25	38.661
11	16	21	26	37.266
12	17	22	27	40.506
13	18	23	28	38.076

LINEA 6				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	7	13	19	28.867
2	8	14	20	32.512
3	9	15	21	35.375
4	10	16	22	36.721
5	11	17	23	36.425
6	12	18	24	34.627
7	13	19	25	36.813
8	14	20	26	34.666
9	15	21	27	35.749
10	16	22	28	29.051

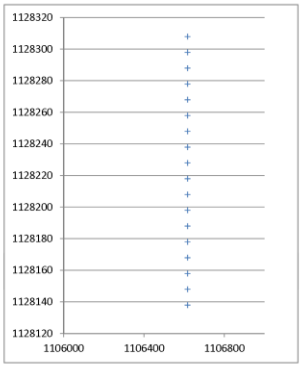
LINEA 7				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	8	15	22	33.640
2	9	16	23	34.343
3	10	17	24	34.920
4	11	18	25	32.978
5	12	19	26	31.533
6	13	20	27	30.874
7	14	21	28	26.186

LINEA 8				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	9	17	25	29.998
2	10	18	26	29.104
3	11	19	27	29.202
4	12	20	28	25.628

LINEA 9				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	10	19	28	22.803

TOMOGRAFIA 4

NOMBRE	Paipa-La casona
ELECTRODOS	18
LINEAS	5
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS (m)	10
RUMBO	180



Coordenadas electrodos		
ELECTRODO	X	Y
1	1106617	1128138
2	1106617	1128148
3	1106617	1128158
4	1106617	1128168
5	1106617	1128178
6	1106617	1128188
7	1106617	1128198
8	1106617	1128208
9	1106617	1128218
10	1106617	1128228
11	1106617	1128238
12	1106617	1128248
13	1106617	1128258
14	1106617	1128268
15	1106617	1128278
16	1106617	1128288
17	1106617	1128298
18	1106617	1128308

LINEA 1				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	2	3	4	2.354
2	3	4	5	2.003
3	4	5	6	1.741
4	5	6	7	1.699
5	6	7	8	1.597
6	7	8	9	1.491
7	8	9	10	1.467
8	9	10	11	1.641
9	10	11	12	1.150
10	11	12	13	1.683
11	12	13	14	1.619
12	13	14	15	1.885
13	14	15	16	1.543
14	15	16	17	1.530
15	16	17	18	1.690

LINEA 2				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	3	5	7	2.508
2	4	6	8	1.762
3	5	7	9	1.640
4	6	8	10	1.549
5	7	9	11	1.446
6	8	10	12	1.165
7	9	11	13	1.509
8	10	12	14	1.477
9	11	13	15	1.505
10	12	14	16	1.595
11	13	15	17	1.507
12	14	16	18	2.091

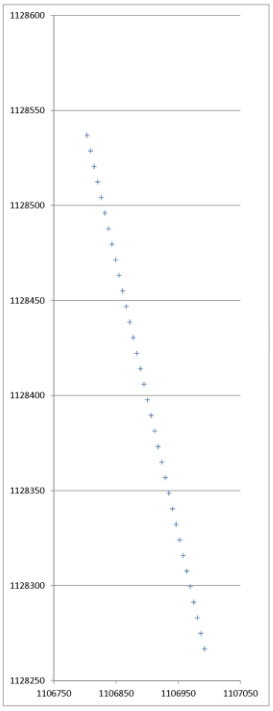
LINEA 3				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	4	7	10	2.734
2	5	8	11	1.633
3	6	9	12	1.067
4	7	10	13	1.577
5	8	11	14	1.603
6	9	12	15	1.695
7	10	13	16	1.537
8	11	14	17	1.395
9	12	15	18	1.661

LINEA 4				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	5	9	13	3.053
2	6	10	14	1.808
3	7	11	15	1.672
4	8	12	16	1.619
5	9	13	17	1.291
6	10	14	18	1.660

LINEA 5				
ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	6	11	16	3.588
2	7	12	17	1.540
3	8	13	18	1.686

TOMOGRAFIA 5

NOMBRE	TOMOGRAFIA 5
ELECTRODOS	34
LINEAS	10
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS (m)	10
RUMBO	145



Coordenadas electrodos

ELECTRODO	X	Y
1	1106803	1128537
2	1106808.7	1128528.81
3	1106814.5	1128520.62
4	1106820.2	1128512.43
5	1106825.9	1128504.24
6	1106831.7	1128496.05
7	1106837.4	1128487.86
8	1106843.1	1128479.67
9	1106848.8	1128471.48
10	1106854.6	1128463.29
11	1106860.3	1128455.1
12	1106866	1128446.91
13	1106871.8	1128438.72
14	1106877.5	1128430.53
15	1106883.2	1128422.34
16	1106889	1128414.15
17	1106894.7	1128405.96
18	1106900.4	1128397.77
19	1106906.1	1128389.58
20	1106911.9	1128381.39
21	1106917.6	1128373.2
22	1106923.3	1128365.01
23	1106929.1	1128356.82
24	1106934.8	1128348.63
25	1106940.5	1128340.44
26	1106946.3	1128332.25
27	1106952	1128324.06
28	1106957.7	1128315.87
29	1106963.4	1128307.68
30	1106969.2	1128299.49
31	1106974.9	1128291.3
32	1106980.6	1128283.11
33	1106986.4	1128274.92
34	1106992.1	1128266.73

LINEA 1

ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	2	3	4	1.410
2	3	4	5	1.166
3	4	5	6	0.972
4	5	6	7	0.896
5	6	7	8	0.833
6	7	8	9	0.825
7	8	9	10	0.728
8	9	10	11	0.718
9	10	11	12	0.737
10	11	12	13	0.755
11	12	13	14	0.802
12	13	14	15	0.863
13	14	15	16	0.863
14	15	16	17	0.953
15	16	17	18	0.987
16	17	18	19	1.068
17	18	19	20	1.089
18	19	20	21	0.786
19	20	21	22	1.211
20	21	22	23	1.213
21	22	23	24	1.193
22	23	24	25	1.190
23	24	25	26	1.054
24	25	26	27	1.023
25	26	27	28	1.064
26	27	28	29	1.172
27	28	29	30	1.203
28	29	30	31	1.245
29	30	31	32	1.245
30	31	32	33	0.949
31	32	33	34	1.179

LINEA 2

ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	3	5	7	1.166
2	4	6	8	1.016
3	5	7	9	0.946
4	6	8	10	0.896
5	7	9	11	0.814
6	8	10	12	0.763
7	9	11	13	0.747
8	10	12	14	0.747
9	11	13	15	0.756
10	12	14	16	0.782
11	13	15	17	0.388
12	14	16	18	0.393
13	15	17	19	0.879
14	16	18	20	0.89
15	17	19	21	0.926
16	18	20	22	0.997
17	19	21	23	0.09
18	20	22	24	1.028
19	21	23	25	0.994
20	22	24	26	1.069
21	23	25	27	1.110
22	24	26	28	0.982
23	25	27	29	0.991
24	26	28	30	1.100
25	27	29	31	1.070
26	28	30	32	1.030
27	29	31	33	0.971
28	30	32	34	0.974

LINEA 3

ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	4	7	10	1.130
2	5	8	11	1.097
3	6	9	12	1.026
4	7	10	13	0.946
5	8	11	14	0.886
6	9	12	15	0.894
7	10	13	16	0.89
8	11	14	17	0.897
9	12	15	18	0.904
10	13	16	19	0.931
11	14	17	20	0.928
12	15	18	21	0.947
13	16	19	22	0.96
14	17	20	23	1.008
15	18	21	24	1.019
16	19	22	25	1.162
17	20	23	26	1.029
18	21	24	27	1.078
19	22	25	28	1.048
20	23	26	29	1.014
21	24	27	30	1.001
22	25	28	31	1.011
23	26	29	32	1.064
24	27	30	33	1.048
25	28	31	34	0.99

LINEA 4

ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	5	9	13	1.174
2	6	10	14	1.134
3	7	11	15	1.075
4	8	12	16	1.016
5	9	13	17	1.011
6	10	14	18	1.026
7	11	15	19	1.033
8	12	16	20	1.034
9	13	17	21	1.030
10	14	18	22	1.029
11	15	19	23	1.040
12	16	20	24	1.070
13	17	21	25	1.061
14	18	22	26	1.081
15	19	23	27	1.104
16	20	24	28	1.104
17	21	25	29	1.074
18	22	26	30	1.030
19	23	27	31	1.022
20	24	28	32	1.047
21	25	29	33	0.998
22	26	30	34	1.038

LINEA 5

ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	6	11	16	1.217
2	7	12	17	1.176
3	8	13	18	1.150
4	9	14	19	1.143
5	10	15	20	1.126
6	11	16	21	1.140
7	12	17	22	1.152
8	13	18	23	1.142
9	14	19	24	1.118
10	15	20	25	1.125
11	16	21	26	1.139
12	17	22	27	1.156
13	18	23	28	1.148
14	19	24	29	1.163
15	20	25	30	1.128
16	21	26	31	1.075
17	22	27	32	1.075
18	23	28	33	1.054

LINEA 6

ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	7	13	19	1.262
2	8	14	20	1.224
3	9	15	21	1.225
4	10	16	22	1.229
5	11	17	23	1.239
6	12	18	24	1.219
7	13	19	25	1.220
8	14	20	26	1.305
9	15	21	27	1.243
10	16	22	28	1.212
11	17	23	29	1.200
12	18	24	30	1.221
13	19	25	31	1.193
14	20	26	32	1.145
15	21	27	33	1.094
16	22	28	34	1.104

LINEA 7

ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	8	15	22	1.295
2	9	16	23	1.304
3	10	17	24	1.313
4	11	18	25	1.986
5	12	19	26	1.338
6	13	20	27	1.345
7	14	21	28	1.332
8	15	22	29	1.318
9	16	23	30	1.307
10	17	24	31	1.292
11	18	25	32	1.272
12	19	26	33	1.201
13	20	27	34	1.167

LINEA 8

ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	9	17	25	1.365
2	10	18	26	1.384
3	11	19	27	1.412
4	12	20	28	1.413
5	13	21	29	1.420
6	14	22	30	1.410
7	15	23	31	1.406
8	16	24	32	1.400
9	17	25	33	1.343
10	18	26	34	1.283

LINEA 9

ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	10	19	28	1.453
2	11	20	29	1.483
3	12	21	30	1.504
4	13	22	31	1.498
5	14	23	32	1.506
6	15	24	33	1.479
7	16	25	34	1.441

LINEA 10

ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	11	21	31	1.561
2	12	22	32	1.555
3	13	23	33	1.583
4	14	24	34	1.558

LINEA 11

ELECTRODO				RES APP (OHM.M)
C1	V1	V2	C2	
1	12	23	34	1.586