

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se elaboraron cinco perfiles de resistividad 2D para cada uno de los dispositivos electrónicos; Dipolo-Dipolo, Wenner-Schlumberger y Wenner; cada una de las líneas corresponde a la zona de estudio mostrada en la Figura 6.1 con las características mencionadas anteriormente. A continuación se muestran el análisis y los resultados obtenidos.



Figura 6.1 Esquema de la zona de estudio y las líneas estudiadas (Modificada de Google Earth, 2010).

El estudio requiere una profundidad de investigación de 15 m, factor relacionado con el arreglo eléctrico o configuración electroica que se empleó, de manera que los modelos de resistividad alcanzaran tal profundidad.

Se menciona que las interpretaciones realizadas parten de la forma de las anomalías de resistividad que relacionamos con tubos lávicos y con la alta resistividad, considerando la existencia de aire dentro de la estructura buscada y/o que los tubos se encuentran parcialmente rellenos, no se descarta la posible infiltración de agua en la zona que afectara a nuestros resultados.

La zona de estudio presentó cambios abruptos de topografía mayores a 5 m como se muestran en la Figura 6.2 con lo que se realizo corrección topográfica a los perfiles 2D obtenidos, para tener una mejor certeza en las dimensiones de los tubos lávicos, además, estos cambios se deben a la existencia de estructuras ígneas como son los túmulos, crestas de presión y colapsos de tubos volcánicos, con lo que hacer esta corrección permite conjuntar los resultados de este estudio con la geología de Los Encinos.

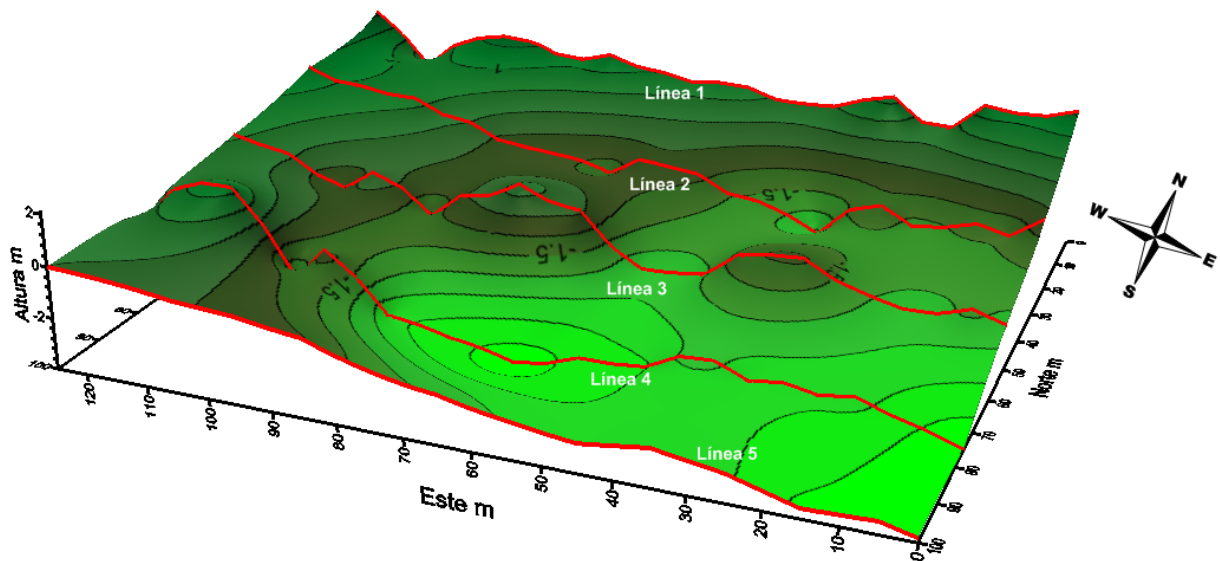


Figura 6.2 Esquema de la topografía de la zona de estudio zona de estudio.

6.1 Resultados Dipolo-Dipolo

6.1.1 Perfiles de Resistividad 2D

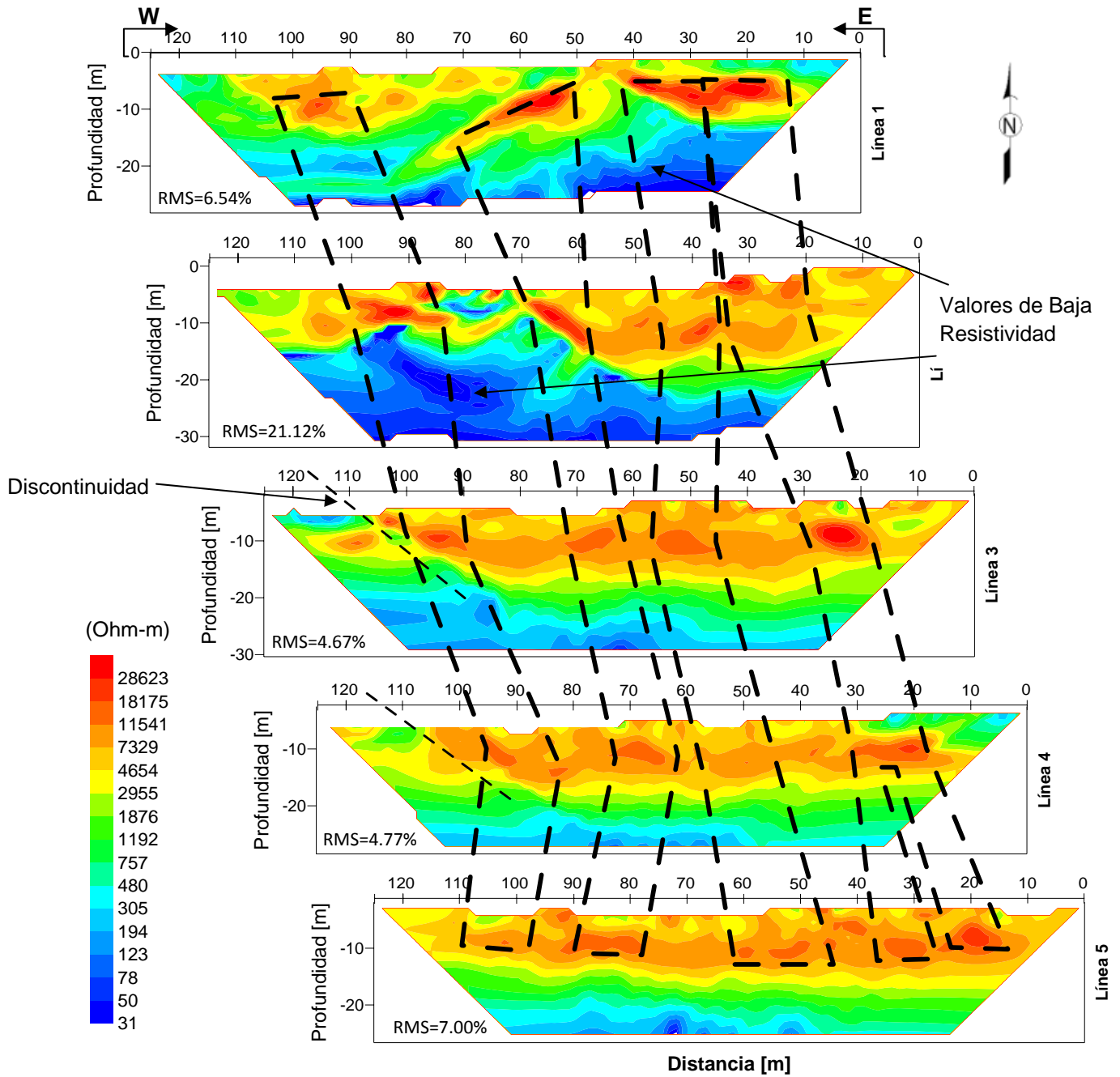


Figura 6.3 Perfiles de resistividad de la Línea 1 a 5, con la configuración Dipolo-Dipolo, correlacionado los distintos tubos volcánicos ubicados en cada modelo.

Con los 5 perfiles de resistividad (Fig. 6.3) se puede estimar la ubicación de cuatro tubos lávicos, a una profundidad de entre 5 a 15 m y anchura de 5 a 10 m, a partir de las anomalías de mayor resistividad, sabiendo que los basaltos tienen una resistividad de 10 a 1.3×10^7 (seco) $\text{ohm}\cdot\text{m}$ (Telford *et al.*, 1976) sin fracturamiento, el basalto de esta zona estudio se encuentra bastante sano debido a las resistividades altas obtenidas, los tubos lávicos presentan una alta resistividad debido a su condición de aislamiento de la temperatura y del intemperismo externo, por lo que las resistividades de 25,000 $\text{ohm}\cdot\text{m}$ a 80,000 $\text{ohm}\cdot\text{m}$, son los valores máximos encontrados en el estudio, la sensibilidad de este arreglo permitió ubicarlos debido a que es muy sensible a cambios horizontales y permite mapear cavidades o diques.

La geología de la zona señalaba la posible existencia de tubos de lava perpendiculares a las líneas de Tomografía Eléctrica, al comparar los cinco perfiles del arreglo Dipolo-Dipolo se puede tener una correlación debido a que dichas anomalías se pueden localizar en las mismas posiciones aunque a menor tamaño y forma como se muestran en la Figura 6.3, parecen corroborar su existencia y tener una tendencia como la descrita por la geología.

El bajo valor de resistividad encontrado en los perfiles 1 y 3 ($x=85$ m), con respecto al perfil 2 donde se visualiza mejor; permitió ver que en esa zona existe alguna estructura con resistividad entre 50 y 20 $\text{ohm}\cdot\text{m}$, que se localiza a una profundidad de entre los 10 y 24 m, debido a que no se tiene información geológica o hidrológica, no se puede concluir al respecto.

Línea 1

Este perfil se presenta tres valores de alta resistividad ($> 10,000$ $\text{ohm}\cdot\text{m}$) a una profundidad aproximada de 4 a 12 m, con un anchura de 30 a 6 m, por la forma y características se relacionan con los tubos volcánicos.

Cabe mencionar que la línea se encontraba cercana a una pared de roca, hallándose escombros y desperdicios de construcción, razón que puede afectar los resultados.

La profundidad de investigación alcanzada fue de 28 m, permitió buscar otras anomalías relacionadas con los tubos lávicos en la parte profunda que fueran de nuestro interés o que se comportaran resistivamente como los valores encontrados en la parte media del modelo, pero esto no sucedió. Se localizó un contorno de bajo valor de resistividad (100 $\text{ohm}\cdot\text{m}$) en $x=85$ m, se relaciona con la presencia de agua, aunque no se tiene la certeza debido a la que existe poca información al respecto y a que esta anomalía se encontró a los 20 m de profundidad.

Línea 2

Se observan algunos valores de resistividad altos ($> 10,000$ $\text{ohm}\cdot\text{m}$) dispersos en la parte superior del perfil 2, los relacionamos con los tubos lávicos buscados a una profundidad de entre 5 y 14 m, de tamaños menores a 8 m de anchura.

Se observan bajos contraste de resistividad de 20 $\text{ohm}\cdot\text{m}$ ($x=85$ m), tanto en la parte superior como a una profundidad de 20 m, una posible explicación para dicho contraste es en la parte superior el electrolito empleado está presente, debido a que hace al material se comporte como un buen conductor; y en la zona inferior se localiza posiblemente agua o algún material altamente conductivo, aparte de ello no aparecen algunas otras anomalías relevantes en los 30 m de profundidad que se alcanzaron.

Línea 3

La forma que presentan cinco valores altos de resistividad ($> 12,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) observados en la Figura 6.3, son del tipo de anomalía esperado para poder relacionarlo con los tubos lávicos, ubicándolas a profundidades de entre 6 y 10 m, con anchura de 5 a 15m, la posición de tres valores de alta resistividad se localiza en la misma posición que en los modelos 1 y 2 de este arreglo.

En la parte oeste del modelo se observa una discontinuidad en las resistividades, que pudiera deberse a una fractura en el material que se extiende en la profundidad, además, debajo de ese lugar ($x= 85 \text{ m}$), aparece una anomalía de baja resistividad ($<300 \text{ ohm}\cdot\text{m}$), a los 22 m de profundidad, en la misma posición que en los perfiles 1 y 2, en esta imagen eléctrica es la última donde aparece dicho contraste resistivo, el estudio no tiene el alcance para determinar que tipo de estructura origina este fenómeno.

Línea 4

En este perfil se presentaron seis anomalías de diferentes anchuras de 4 a 20 m a una profundidad de entre 6 y 14 m, las anomalías pequeñas debido a nuestro espaciamiento de 5 m entre electrodos es difícil decir si existen o no, debido a que no se pueden comprobar con algún otro perfil, por otro lado, la discontinuidad ubicada en el perfil 3, quedan algunos rasgos, pero se necesita corroborar dicha discontinuidad con otro tipo de arreglo debido a que no se aprecia claramente.

Línea 5

El perfil presento más de siete anomalías de alta resistividad ($>10,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) a una profundidad de entre 4 y 10 m, con una anchura de entre 20 y 4 m. Este perfil presentó mas anomalías que los otros perfiles de este arreglo, los valores de resistividad que en este perfil resultaron, muestran los cambios que pueden ocurrir con solo una separación de 25 m que existen entre cada línea.

6.1.2 Modelo 3D

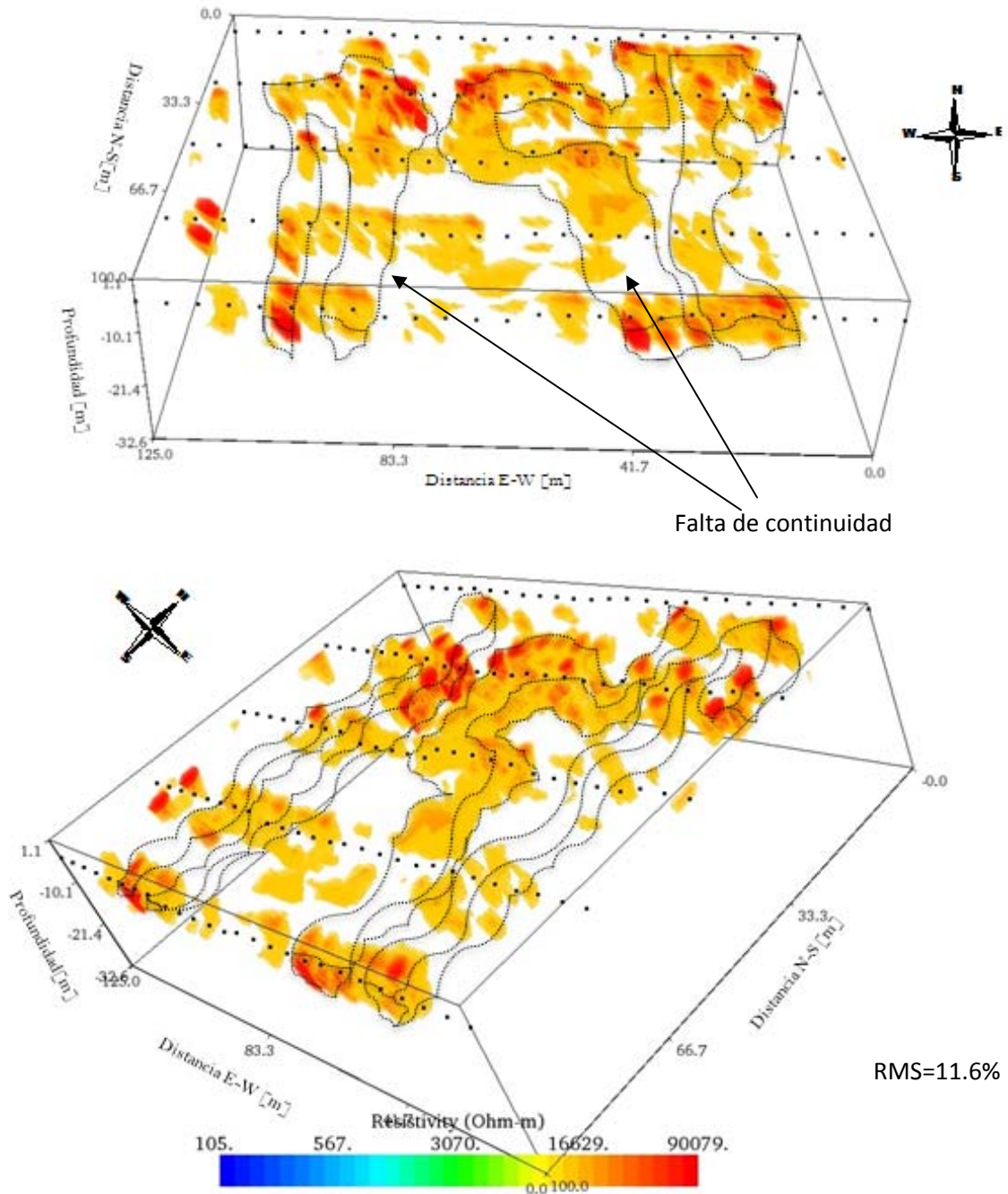


Figura 6.4 Modelo 3D obtenido a partir de una inversión 3d con la información de las líneas estudiadas, con un filtrado de resistividades, eliminando las menores a 16,000 ohm•m, a) Modelo 3D muestra la profundidad de los tubos lávicos, b) muestra la morfología de la estructura estudiada.

El modelo obtenido después de una inversión 3D (Fig. 6.4), de las diferentes líneas, no produjo un resultado que mostrara claramente los tubos lávicos, debido a la falta de continuidad en los valores de resistividad, sin embargo, considerando solo los valores de altas resistividades ($>15,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$), se puede hacer una interpretación como la mostrada que caracteriza los tubos volcánicos a partir de estas resistividades, la profundidad a la que se localizan las formas obtenidas no superan los diez metros. Se infieren cuatro tubos lávicos con valores de resistividad mayores a $15,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, una anchura de 5 a 15 m aproximadamente, la confiabilidad de esta interpretación y de la existencia de los tubos lávicos es baja, debido como ya se mencionó, a la falta de continuidad en los valores de resistividad y la separación existente entre las líneas de medición.

Con el arreglo Dipolo-Dipolo, la señal se ve disminuida con la separación entre separación de los electrodos, por lo que afecta a los resultados al realizar la inversión; por otra parte la sensibilidad horizontal que caracteriza esta configuración no ayuda a localizarlos, aunque es bueno en la localización de cavidades, en los tubos lávicos, no lo permitió, debido a la alta resistividad por parte del terreno y los cambios abruptos de topografía que existen entre línea y línea.

6.1.3 Comparación entre modelos 2D y 3D

Al comparar los modelos se observa que para los perfiles de resistividad 2D, se pueden ubicar fácilmente los altos valores de resistividad y por la forma se relacionan con los tubos lávicos, lo que permite saber por lo menos la existencia de 4 tubos, que se muestran en el modelo propuesto en la Figura 6.3, al compararlos con el modelo 3D (Fig. 6.4), aparece una anomalía correlacionable en la posición $x=90 \text{ m}$, sabiendo que una inversión 3D los datos que se invierten son todos los tomados en campo, los modelos obtenidos difieren bastante, por otra parte el ruido y la sensibilidad de arreglo, dificultan la caracterización de los tubos mostrados en el modelo 3D.

6.2 Resultados Wenner-Schlumberger

6.2.1 Perfiles de Resistividad 2D

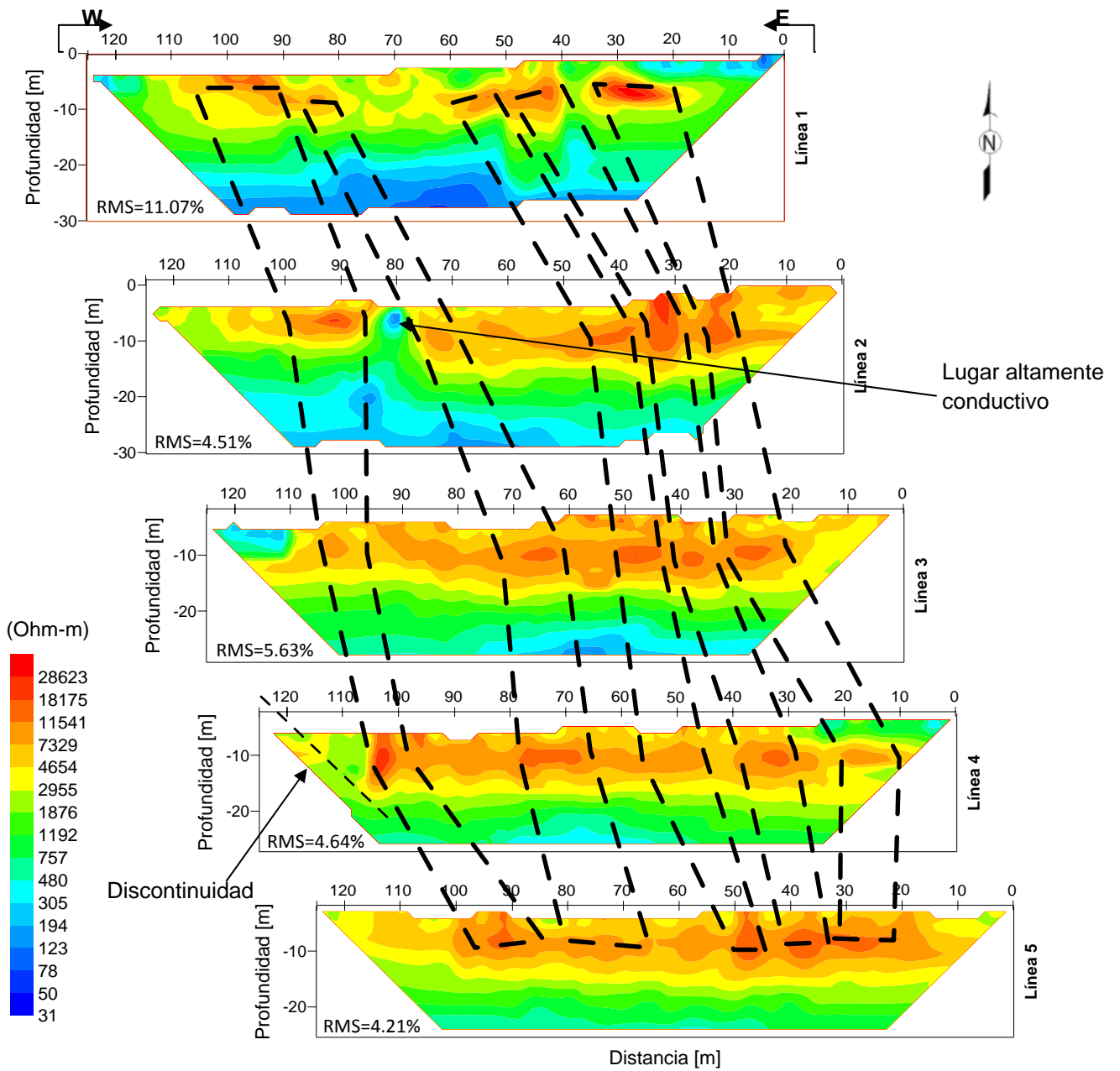


Figura 6.5 Perfiles de resistividad de la Línea 1 a 5, con la configuración Wenner-Schlumberger, correlacionado los distintos tubos volcánicos ubicados en cada modelo.

Con el arreglo Wenner-Schlumberger, se observan en la Figura 6.5 los altos valores de resistividad ($> 8,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) asociados con los tubos volcánicos buscados, aunque se pierden detalles de las estructuras geológicas que existen, sirve para tener una clara caracterización de cinco probables tubos lávicos, debido a que los valores de resistividad se observan en la misma profundidad de entre 6 y 12 m, con una anchura aproximadamente de 6 a 15 m.

Para este arreglo sabemos que tiene una modalidad sensibilidad a las estructuras horizontales y verticales, en base en ello esta configuración sirve para corroborar los resultados de los dispositivos Wenner y Dipolo-Dipolo, aunque los resultados obtenidos son bastante aceptables, partiendo de que en los 5 perfiles, las anomalías siguieron una tendencia en forma y ubicación.

Línea 1

El perfil 1 de este arreglo presenta la existencia de cuatro anomalías con anchura de entre 5 a 15 m, a una profundidad de entre 3 y 12 m, con altos valores de resistividad ($>8,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$), la profundidad de investigación que se logro alcanzar fue de 30 m. Las características morfológicas de estos valores son diferentes a las observadas en el perfil 1 del arreglo Dipolo-Dipolo, se mapean de una forma simple, sin rugosidades, pero su ubicación como longitud son bastantes similares.

Línea 2

Las cinco anomalías que se muestran en el perfil 2 son en base a los altos valores de resistividad ($>8,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$), con distancia con respecto a la superficie de 6 m hasta 12 m, con anchura de 3 a 6 m. En el punto $x= 80 \text{ m}$, aparece una anomalía ($200 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) por lo que el suelo puede tener características muy conductoras por la presencia de agua en ese lugar o por poner mal el electrodo en ese punto, por lo que se observa un cambio importante en comparación con las anomalías de $8,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ encontradas en la superficie y que se relacionan con los tubos lávicos buscados.

Otra anomalía de baja resistividad ($200 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) localizada a una profundidad de 20m en $x=85 \text{ m}$, ya ubicada en los perfiles de 2, 3 y 4 del arreglo Dipolo-Dipolo, en este caso, solo se muestra en esté perfil, y de un tamaño menor, falta información para determinar si es una estructura o algún error en la inversión o adquisición de datos.

Línea 3

El perfil de resistividad 3, muestra cinco valores de resistividad altos ($>8,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) en la parte de $x=20 \text{ m}$ a $x=110 \text{ m}$, que parecen pequeñas cavidades no mayores a 6 a 10 m de ancho, las anomalías observadas son pequeñas y agrupadas en una sola zona, que se localizan a una profundidad de 6 a 12 m.

Línea 4

En el punto $x=110 \text{ m}$ del perfil 4, aparece una discontinuidad en la resistividad, podría ser un fallamiento en la roca basáltica o roca fracturada, algo similar se observa en las secciones 3 y 4 de Dipolo-Dipolo, pero considerando que la existencia de paredes cercanas a esos puntos, puede deberse a un material de relleno o de desecho que se afecta nuestros resultados, situación que nuestro estudio no abarca.

Se encontraron cuatro valores de resistividad altos ($>8,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) distribuidos a una profundidad de entre 6 y 12 m, con anchura de 5 a 15 m, similares a los demás perfiles de este tipo de dispositivo electródico, con la profundidad alcanzada de 27 m.

Línea 5

El perfil 5 del arreglo Wenner-Schlumberger muestra tres anomalías de forma alargada (tubos volcánicos) a profundidades de entre 6 a 12 m como en las demás secciones 2D, pero su anchura de 20 m difiere en comparación con el modelo 4 de este tipo de arreglo, por lo que tener 2 o más tubos lávicos cercanos en algunas zonas puede ser la explicación de la forma alargada de la anomalía resistividad.

Las resistividades que se asociamos con tubos volcánicos de este arreglo fueron mayores a ($>8,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) y se obtuvo una profundidad de investigación de 26 m, se menciona en esta línea se obtuvieron las menores profundidades de penetración, por lo que la roca era lo bastante resistiva (sana) en comparación con los demás tendidos.

6.2.2 Modelo 3D

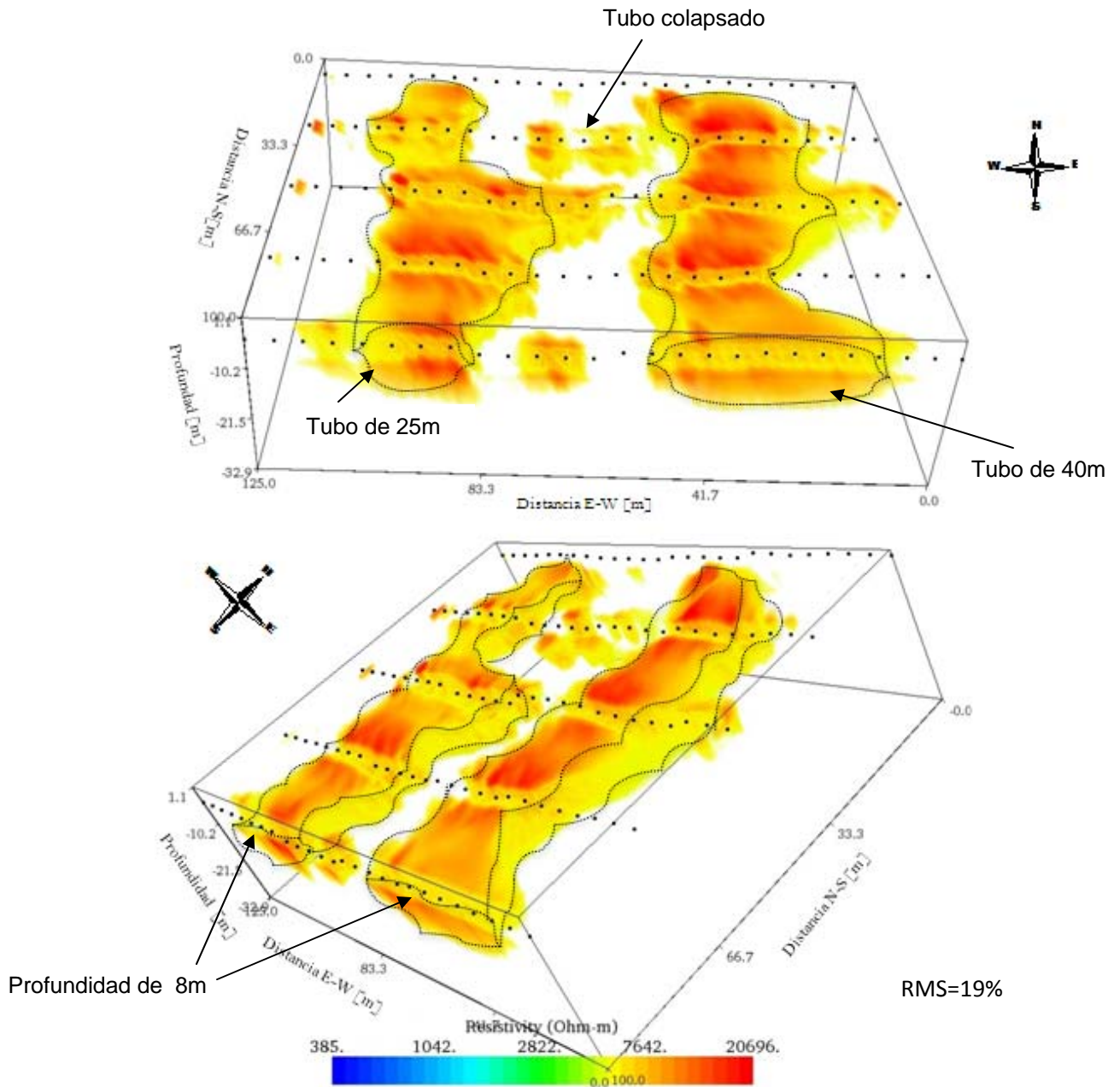


Figura 6.6 Modelo 3D obtenido a partir de una inversión 3d con la información de las líneas estudiadas, con un filtrado de resistividades, eliminando las menores a 7,000 ohm•m, a) Modelo 3D muestra la profundidad de los tubos lávicos, b) muestra la morfología de la estructura estudiada.

El modelo obtenido mediante una inversión 3D (Fig. 6.6), y después de mostrar sólo las resistividades mayores a $7,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, se tienen dos estructuras claramente identificadas de orientación S-N, que poseen un alto valor de resistividad ($>8,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$), asociándolo al aire existente en los tubos lávicos, uno de esos tubos se observa truncado, si se visualiza la topografía de la zona de estudio se relaciona con una depresión en ese lugar.

La anchura de los túneles mostrados en el modelo 3D, varía de 25 a 40 m, lo que hace parecer son tubos lávicos de grandes dimensiones, pero por la falta de resolución y el tipo de inversión imposibilita esa opción, lo que se observa son tubos volcánicos en conjunto, lo suficientemente cercanos, debido a la inversión empleada no permiten una visualización detallada, además de que la separación entre líneas (25 m) no ayuda a ello, con esto resultados se puede inferir que en esa zona existe una o varias estructuras a una misma profundidad máxima de 10 m.

La sensibilidad del arreglo Wenner-Schlumberger, permite una caracterización de los tubos lávicos debido a su sensibilidad horizontal y vertical, en comparación con los otros arreglos, para este estudio es importante esa propiedad, debido a que la profundidad y grosor de la estructura esta estrechamente relacionada en ambas direcciones espaciales.

6.2.3 Comparación entre modelos 2D y 3D.

Los perfiles de resistividad 2D, permiten una ubicación de los altos valores de resistividad ($>8,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) que los relacionamos con los tubos lávicos, por lo que el espesor encontrado y profundidad se ajusta a la información geológica, además, la inversión permite visualizarlos de forma clara y hacer una interpretación por separado de cada perfil de resistividad 2D, con ello se realizó la interpretación, pero sabiendo que cada línea se hizo con una separación de 25 m, los cambios en la anchura de los tubos volcánicos, pueden ser diferentes a los mostrados, con el modelo 3D se podría dar una correlación de dichos modelos, pero la resolución del 3D, no permite la identificación de tubos por separado, permite visualizar un conjunto de tubos lávicos que se localizan muy próximos.

6.3. Resultados Wenner

6.3.1. Perfiles de Resistividad 2D

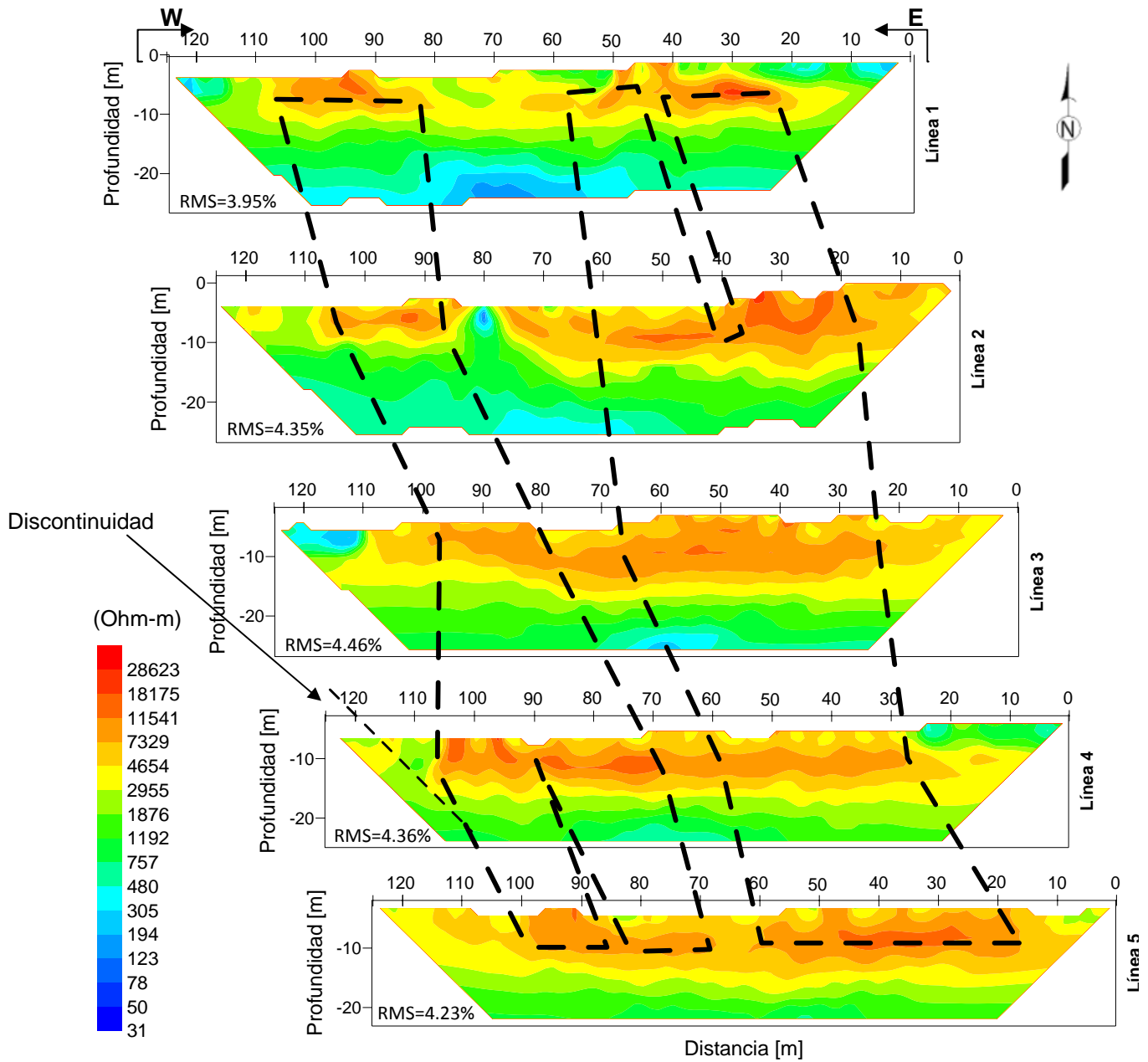


Figura 6.7 Perfiles de resistividad de la Línea 1 a 5, con la configuración Wenner, correlacionado los distintos tubos volcánicos ubicados en cada modelo.

La modalidad Wenner, no permite una correcta determinación de estructuras volcánicas su sensibilidad vertical es muy pobre y la horizontal en este caso sirve poco, en la interpretación mostrada en la Figura 6.7, se muestran 2 tubos lávicos a una profundidad de 5 a 12 m y una anchura de 15 a 40 m. Las anomalías aparecen alargadas y no se distinguen del material de su alrededor, la profundidad que se alcanzó fue de 20 a 30 m, varía demasiado para ser una zona bastante homogénea.

En los perfiles 3, 4 y 5, es difícil ubicar las anomalías relacionadas a los tubos volcánicos, por lo que el modelo planteado en la Figura 6.7 es muy poco justificado con la información que se posee, además de la anchura de los mismos es demasiado grande, lo rescatable del arreglo es que muestra una homogeneidad resistivamente en los perfiles en dirección horizontal, lo que ayuda a nuestro objetivo de localizar los tubos lávicos, debido a que no muestra la presencia de algún otra estructura que pudiera afectar nuestra interpretación.

Línea 1

Con el arreglo Wenner se obtuvo el perfil 1, muestra dos anomalías ($>10,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) las relacionamos con los tubos volcánicos a una profundidad de 4 a 8 m y una anchura de 8 a 12 m, en el perfil se obtuvo una profundidad de 27 m, el resto del perfil se muestra una homogeneidad de las resistividades, permite saber que no hay alguna otra estructura o contraste resistivo en ese perfil.

Línea 2

El perfil de resistividad 2, presenta cuatro valores de resistividad altas ($>10,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) a una profundidad de 5 a 8 m, una de ellas con una anchura de 14 m, por lo que el arreglo Wenner tiene una buena sensibilidad horizontal, y la falta de datos da como resultado este tipo de anomalías, además aparecen resistividades mínimas de $300 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ y máximas de $12,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ en la parte superficial del perfil de resistividad, la roca se encuentra bastante resistiva, por lo que el medio en total parece bastante homogéneo hasta los 27 m que se alcanzó con la inversión.

En la posición $x=80 \text{ m}$ la resistividad es baja ($<300 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) como se observó en los perfiles de resistividad de los otros arreglos, es un lugar bastante conductor que afecta la continuidad de la resistividad de la zona.

Línea 3

En el perfil 3 obtenido al igual que el perfil de resistividad 2 del arreglo Wenner, presenta anomalías alargadas, donde se puede distinguir 3 resistividades mayores a $22,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ a una profundidad de entre 4 y 8 m, de anchura 3 a 5 m, no muestra la existencia de las estructuras buscadas, por lo que no ayuda a dar una posible interpretación de la forma de las mismas, pero sí para saber la extensión de las altas resistividades ($>10,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$), con la profundidad alcanzada 25 m.

Línea 4

Los efectos debidos a los electrolitos hacen disminuir la resistividad natural de la roca por lo que en la parte superficial del modelo se observan los lugares donde se colocó dicho electrolito, que se muestran en la modelo 4, la distribución de la resistividad se encuentra en el rango de 23,000 ohm•m a 500 ohm•m como mínima, a la profundidad alcanzada de 25 m, el arreglo limita la localización clara de los tubos lávicos en comparación con los otros dos arreglos.

Además se localiza la misma discontinuidad en $x= 110$ m, debido a que la resistividad de ese lugar es menor a la de sus alrededores, por lo que un fracturamiento en esa zona es lo más posible o un relleno de material como se había mencionado anteriormente.

Cuatro pequeñas anomalías de alta resistividad ($>23,000$ ohm•m), a una profundidad entre 5 y 12 m, con una anchura de 5 a 15 m, son las que el perfil de resistividad presenta, concentrados entre $x= 70$ m y $x= 110$ m.

Línea 5

Las dos anomalía observadas en el perfil 5 son alargadas, no presentan similitud con las anomalías vistas en todo el estudio, solo se visualizan los valores de alta resistividad distribuidos de forma horizontal, que al igual que los perfiles de resistividad anteriores de este tipo de configuración no se pueden correlación entre si, debido a que solo se presentan anomalías en la parte central de la misma de una extensión de 30 m a una profundidad de 4 a 10 m. Las resistividades obtenidas están en un rango de 800 a 14,000 ohm•m, la roca es poco conductiva, se corrobora la dificultad de fluir de la corriente eléctrica con la profundidad alcanzada de 20 m.

6.3.2 Modelo 3D

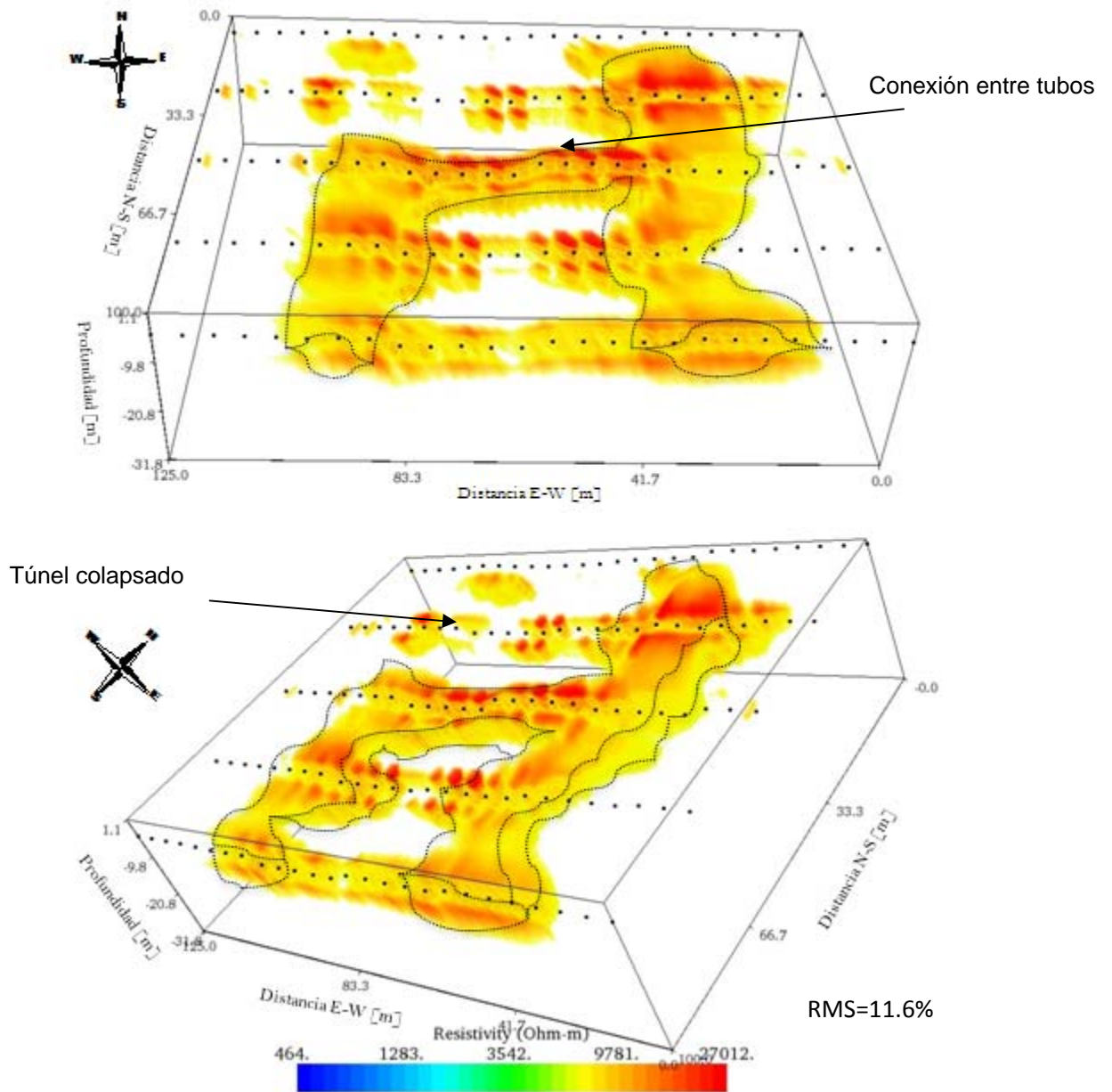


Figura 6.8 Modelo 3D obtenido a partir de una inversión 3d con la información de las líneas estudiadas, con un filtrado de resistividades, eliminando las menores a 10, 000 ohm•m, a) Modelo 3D muestra la profundidad de los tubos lávicos, b) muestra la morfología de la estructura estudiada.

El modelo 3D obtenido con la configuración Wenner permite determinar una estructura de alta resistividad mayor a 10,000 ohm•m interconectada, debido a la sensibilidad vertical del arreglo, la estructura que se observa es de forma plana, que no es posible relacionarlo con los tubos lávicos, la tendencia que sigue es similar a las estructuras encontradas en el modelo 3D del arreglo Wenner-Schlumberger, e incluso el colapso o truncamiento de la estructura a los 50 m (línea 2) permite observar que algún fenómeno geológico ocurre ahí, que afecta la continuidad de resistividades en la estructura mostrada en la Figura 6.8, su localización de la estructura es somera no rebasa los 5 m con respecto a la superficie, la anchura es variante de entre 10 a 30 m, en una zona incluso se conectan algunos segmentos de los valores de alta resistividad en el modelo, probablemente por efectos de los electrodos, que producen dicho fenómeno y a la inversión empleada.

6.3.3 Comparación entre modelos 2D y 3D

Esta configuración en particular, en comparación con los demás estudiados en este trabajo, no permite una interpretación mas confiable para la caracterización de tubos lávicos, debido a que es un arreglo útil para cambios verticales, pero nos permite saber que no hay estructuras horizontales que se localicen en la zona de estudio, como lo muestran los perfiles de resistividad 2D, las altos valores de resistividad se localizaron en una zona no mayor a 10 m de profundidad, pero no la identificación particular de algunas anomalías, por lo que son muy similares las interpretaciones en el modelo mostrado en la Figura 6.7 y modelo 3D (Fig. 6.8), debido a esa falta de datos y de sensibilidad del arreglo.

Dichas tendencias de las estructuras encontradas corresponde a los tubos lávicos, que se identifican en las configuraciones Dipolo-Dipolo y Wenner-Schlumberger.

6.4 Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos con los distintos dispositivos electródicos permitió obtener perfiles de resistividad 2D y modelos 3D, donde se muestran la posible localización de los tubos lávicos, a una profundidad aproximada de entre 6 y 12 m con respecto a la superficie, debido a que en esa zona se encontraron los altos valores de resistividad (>10,000 ohm•m), se infiere a partir de ello la existencia de por lo menos tres tubos lávicos que se hallan en la zona de estudio, aunque los grosores de los mismo puede variar al paso de las diferentes líneas.

En la parte oeste de los perfiles 3 y 4, de los diferentes arreglos se observa una discontinuidad en las resistividades, considerando que en las cercanías se localiza una pared y que material de construcción (ladrillos, arena, varillas, etcétera) se encontraba en la superficie, puede deberse a ello y ha un relleno de ese tipo de material, por otro lado la vegetación se encontraba de tamaños mayores a 2 m, por lo que si no es relleno, es un fracturamiento de la roca ígnea en ese lugar.

La línea 2 en el punto $x = 80$ m tiene una región de valores de baja resistividad (<300 ohm•m) probablemente la infiltración en la roca del electrolito empleado o la existencia de una base de uno torre de alta tensión, pero por su forma y tamaño en los perfiles sugiere un fracturamiento en la roca, debido a que es solo son un par de metros donde ocurre ese fenómeno.

El error RMS obtenido por el Programa EarthImager 2D (Advanced Geosciences, Inc., 2008) es el mínimo, los resultados no cambiaban si el error aumentaba a valores mayores a 15 %, este

parámetro da confianza a la inversión utilizada, además, la profundidad a la que se llegó fue mayor a 20 m permitió visualizar algunas estructuras a esa profundidad.

Las resistividades aparentes son mayores 10,000 ohm•m, con ese tipo de resistividad y a la geología, el basalto que encontramos es sano ($>10,000$ ohm•m), es decir con el mínimo de intemperismo y fracturamiento, las zonas donde la resistividad llegó a bajar hasta 20 ohm•m, se debe a la infiltración de agua meteórica, debido a que es una zona de amplia vegetación que crea lugares por donde se infiltre el líquido.

El dispositivo Dipolo-Dipolo, permitió ubicar claramente los tubos volcánicos en su posición y espesor, ayudo a caracterizar que dichos perfiles de resistividad 2D fueran correlacionables, a pesar de que la separación entre líneas es de 25 m, los tubos se comportaron de una forma bastante lineal y las anomalías aparecieron.

Con la modalidad Wenner-Schlumberger, permitió ver que los tubos existen pero con una menor resolución en los perfiles 2D, con ello se pudo ver que las anomalías aparecen en las mismas ubicaciones que el Dipolo-Dipolo, y que por las características de este arreglo, se aprecia en el modelo 3D un alto contraste de resistividades ($>7,000$ ohm•m) congruente con los perfiles 2D.

El arreglo Wenner ayudó a ver el estado de la roca, que se encontró bastante homogénea, no hay cambio abrupto de litología o estructuras que pudieran confundirse con los tubos volcánicos, debido a que los altos valores de resistividad ($>10,000$ ohm•m) se localizaron en el mismo lugar donde se determinaron los tubos volcánicos.

Cabe mencionar que las profundidades de investigación de cada perfil de resistividad 2D son diferentes a pesar de ser el mismo arreglo con las mismas características de separación de electrodos y longitud, se debe a la topografía que se le está ingresando esta siendo referenciada con respecto al primer electrodo de la primera línea, con lo que las líneas posteriores se encuentran arriba o debajo de este nivel, las variaciones de hasta 5 m se deben a eso. Por otro lado los niveles de medición profundidad medida a los que las configuraciones llegaron fueron: Dipolo-Dipolo de 20, Wenner de 8 y el de Wenner-Schlumberger 13. Que según Edwards (1977), para estos niveles se alcanzarían profundidades teóricas después de invertir de 29 m, 21m, 23 m respectivamente, resultados aproximados a los obtenidos en los perfiles 2D como se observa en la tabla 2.

Los modelos 3D, obtenidos carecen de resolución horizontal y vertical, debido a que la inversión realizada es con base en todo el conjunto de datos adquiridos. Los resultados no permiten una caracterización de un tubo lávico en particular, sino a un conjunto de tubos o a tubos con dirección oblicua a nuestras líneas, las dimensiones que se visualizan en estos modelos son mayores a 10 m en anchura, corroborando con los perfiles de resistividad 2D, no hay anomalías tan grandes en los arreglos Dipolo-Dipolo y Wenner-Schlumberger, por lo que se descartan que halla tubos de esas dimensiones en la zona de estudio, pero se infiere que por la cercanía de los tubos, lo que se muestra en las imágenes eléctricas 3D son los tubos lávicos en conjunto, pues siguen una tendencia S-N, y una profundidad no mayor a los 12 m, esto se muestra principalmente en los arreglos Wenner-Schlumberger y Wenner, para el caso del Dipolo-Dipolo su densidad de datos impide una inversión mejor.

En conjunto el aplicar las tres configuraciones, permitió tener la certeza que en la zona de estudio se localizan estructuras de alto contraste resistivo ($>7,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$), que al correlacionarla con la geología del lugar, es viable la existencia de tubos lávicos sabiendo que poseen aire en dicha estructura lo que hace que sean altamente resistivo, además, con las diferentes configuraciones se estudiaron los cambios verticales y horizontales de la resistividad en la zona.

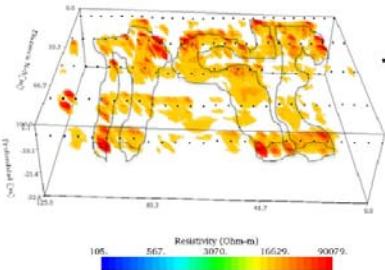
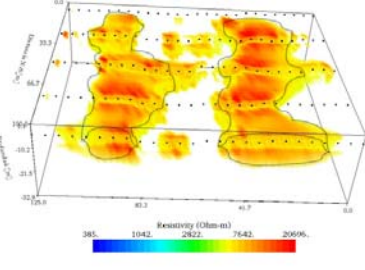
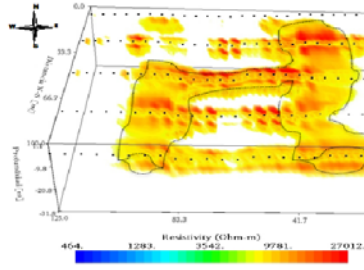
A continuación se presenta la Tabla 2, donde se muestran los resultados obtenidos con las tres configuraciones utilizadas en este estudio, señalando los parámetros más importantes para caracterizar los tubos lávicos.

Tabla 2 Resultados de las diferentes configuraciones aplicados en la caracterización de tubos lávicos.

		PERFILES DE RESISTIVIDAD 2D						
Ar re	Li ne	Dipolo-Dipolo	Wenner-Schlumberger	Wenner	Resultados			
Interpretación					Los tres arreglos muestran anomalías de alta resistividad asociados con tubos lávicos. Características del arreglo con resultados sean distintas, muestran profundidades y ubicaciones similares.			
	Número de tubos lávicos	1 2 3 4 5	4 a 5 4 a 5 5 6 Más de 7	4 5 5-6 4 3		2-3 4 3 4 2	El número de tubos: 5 a partir de los arreglos D-D y W-Sch. (sensibilidad.)	
	Anchura de los tubos lávicos	1 2 3 4 5	6 a 30 Menos a 8 5 a 15 4 a 20 4 a 20	5 a 15 3 a 6 6 a 10 5 a 15 20		8 a 12 Menor a 14 3 a 5 5 a 15 30		Anchura de tubos de 5 a 10 m, en promedio

Profundidad aproximada de	1	4 a 12	3 a 12	4 a 8	Tubos entre los 6 a 12 m
	2	5 a 14	6 a 12	5 a 8	
	3	6 a 10	6 a 12	4 a 8	
	4	6 a 14	6 a 12	5 a 12	
	5	4 a 10	6 a 12	4 a 10	
Profundidad del arreglo (m).	1	28	30	27	Profundidades alcanzadas: Dipolo-Dipolo 27 m Wenner-Schlumberger 28 m Wenner 24m.
	2	30	30	27	
	3	30	28	25	
	4	25	27	25	
	5	25	26	20	
Observaciones.	1	Valores de baja resistividad en $x=85$ m, a una profundidad de 20 m.	Cuatro anomalías de alta resistividad.	La forma de las anomalías alargadas.	Los tres arreglos muestran en las mismas posiciones los tubos lávicos.
	2	Valores de baja resistividad en $x=85$ m, superficialmente y a una profundidad mayor de 20 m.	Valores de baja resistividad en $x=85$ m, superficialmente y a una profundidad mayor de 20 m.	Valores de baja resistividad en $x=80$ m, superficialmente.	Zona de baja resistividad, asociada con base de alta tensión.
	3	Una discontinuidad en la parte oeste.	Las anomalías aparecen en una área de $x=20$ m y $x=110$ m.	La anchura de las anomalías 3 a 15 m	D-D y W-Sch, muestran tubos lávicos en la misma posición y ubicación.
	4	Una discontinuidad en la parte oeste.	Una discontinuidad en la parte oeste.	Una discontinuidad en la parte oeste.	Fractura probable discontinuidad.
	5	Gran número de anomalías de resistividad.	Tres anomalías de alta resistividad.	La forma de las anomalías alargadas.	Ruido reflejado en el número de las anomalías.
Resultados General.	4 tubos lávicos, a una profundidad de 5 a 15 m y anchura de 5 a 10 m.	5 tubos lávicos, a una profundidad de 6 a 12 m y anchura de 6 a 15 m.	2 tubos lávicos, a una profundidad de 5 a 12 m y anchura de 15 a 40 m.	La interpretación de Wenner-Schlumberger se adecua a nuestros resultados por que mostro características presentes en los demás arreglos	

MODELOS 3D

Arreglo	Dipolo-Dipolo	Wenner-Schlumberger	Wenner	Resultados
Interpretación				Los altos valores de resistividad mostrados en los tres modelos, difieren debido al ruido y al arreglo, con ello se muestran dos tendencias en los arreglos W-Sch y Wenner, que se infieren siguen los tubos lávicos.
Número de tubos lávicos.	4	2	1	Dificultad con definir numero de tubos.
Anchura de los tubos lávicos (m).	5 a 15	25 a 40	10 a 30	Por el ancho de las anomalías, se piensa que son un conjunto de tubos lávicos cercanos.
Profundidad aproximada de tubos lávicos (m).	Menor a 10	10	Menor a 5	Profundidad aproximada de los tubos <10 m
Profundidad de del arreglo (m).	Aproximadamente 30	Aproximadamente 30	Aproximadamente 30	Aproximadamente 30, corrección topográfica permite esa profundidad.
Observaciones.	Falta de continuidad en los valores de alta resistividad.	Tubos lávicos de anchura demasiado grande.	Se juntan los tubos lávicos en la línea 3.	Discontinuidad en la resistividad, en parte NE asociada c una base de alta tensión.
Resultado General.	La falta de continuidad en los valores de alta resistividad hace poco confiable el modelo 3D.	Se visualizan al conjunto de tubos lávicos en dos paquetes.	Presentan un paquete de tubos lávicos que bifurca en la línea 3.	Dos paquetes de tubos lávicos se presentan con W-Sch y Wenner, para DP-DP falta de continuidad para definir número de tubos.

A continuación se presenta los tubos lávicos en la Figura 6.9 con base en el arreglo Wenner-Schlumberger, debido a los resultados obtenidos en los perfiles de resistividad 2D.

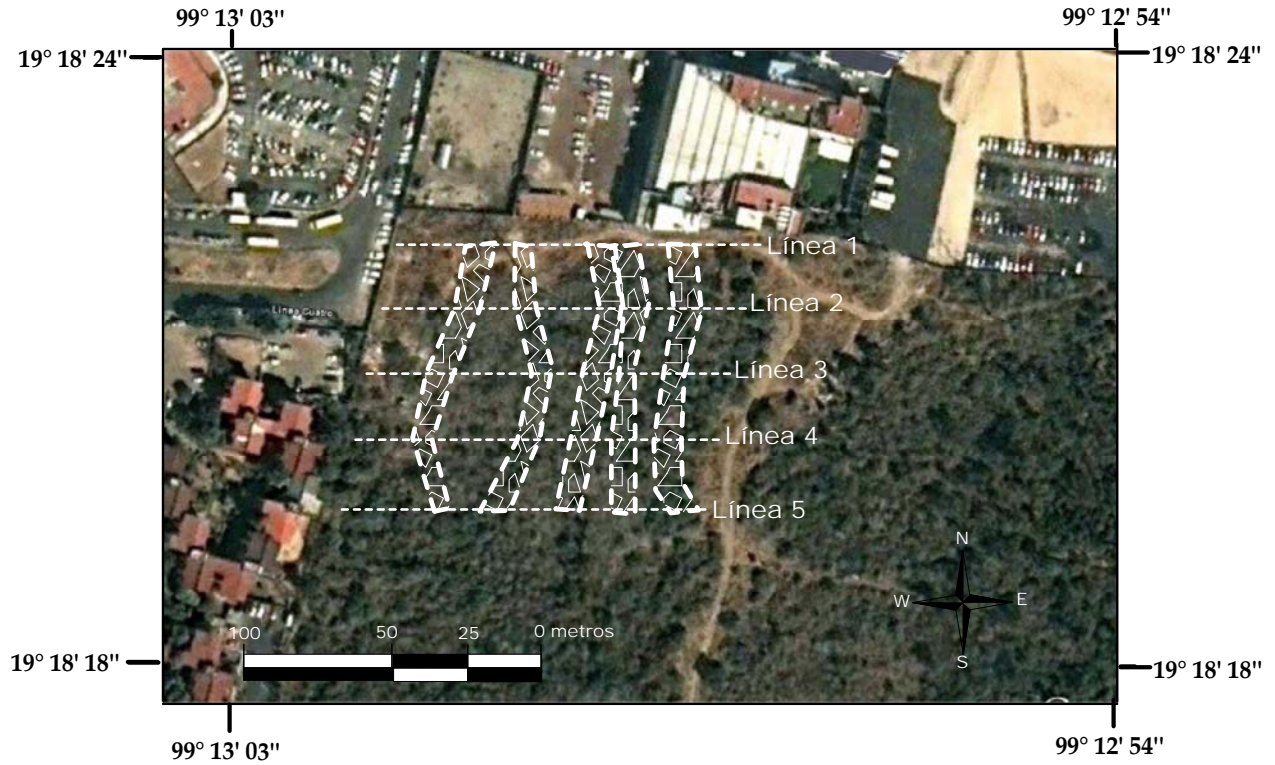


Figura 6.9 Mapa de los tubos lávicos, obtenidos a partir de los modelos 2D con la configuración Wenner-Schlumberger, profundidad de 6 a 12m y longitud de 3 a 15 m.