

## **RESULTADOS**

A continuación, se muestra el procesamiento de cada uno de los métodos, así como los resultados obtenidos para cada área de estudio.

### **MÉTODO SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL**

El proyecto constó de tres estudios de sondeo eléctrico vertical (SEV) con el propósito de hidrología, específicamente para la identificación de zonas con potencial acuífero en la región de Santo Tomás de las Flores, Estado de México. El objetivo principal de estos estudios es determinar la distribución de resistividades en el subsuelo para evaluar la presencia y profundidad de formaciones geológicas con capacidad de almacenamiento y transmisión de agua subterránea, lo que permitirá definir sitios adecuados para la perforación de pozos y su posterior explotación.

Para ello, se llevó a cabo un análisis detallado mediante técnicas de procesamiento y modelado de datos geoeléctricos, con el fin de interpretar la estratigrafía subterránea y localizar unidades hidrogeológicas favorables para la captación de agua. La metodología empleada incluyó la aplicación de filtros de suavizado para optimizar la calidad de los datos obtenidos, así como la inversión de los mismos utilizando software especializado.

## SERVICIOS DE INGENIERÍA Y CONSULTORÍA

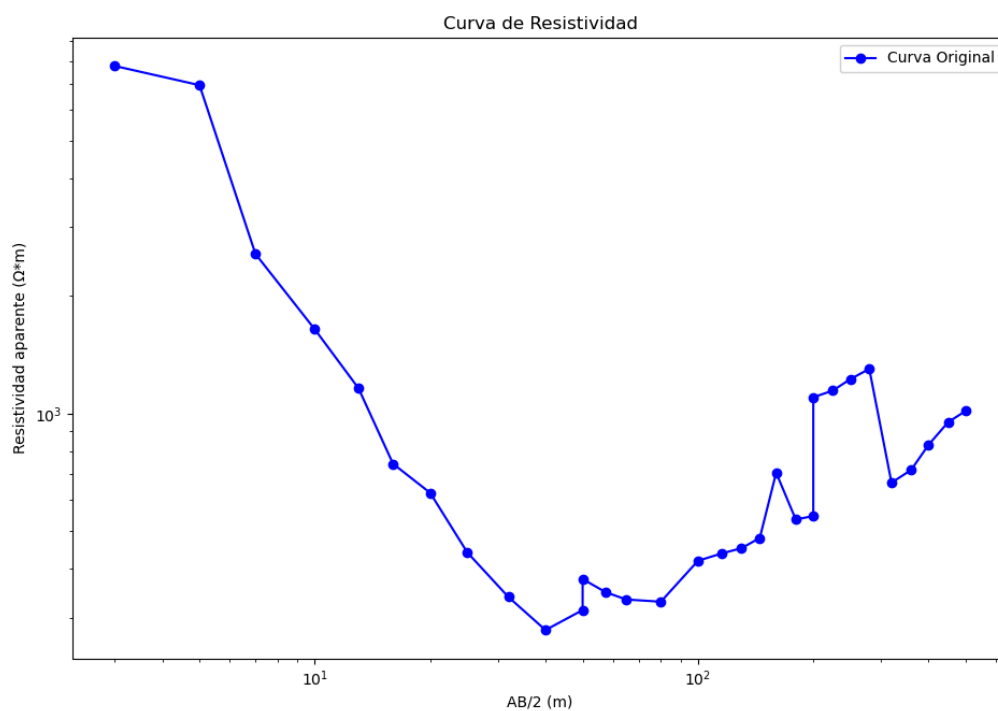


ILUSTRACIÓN 11 RESULTADO SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 1

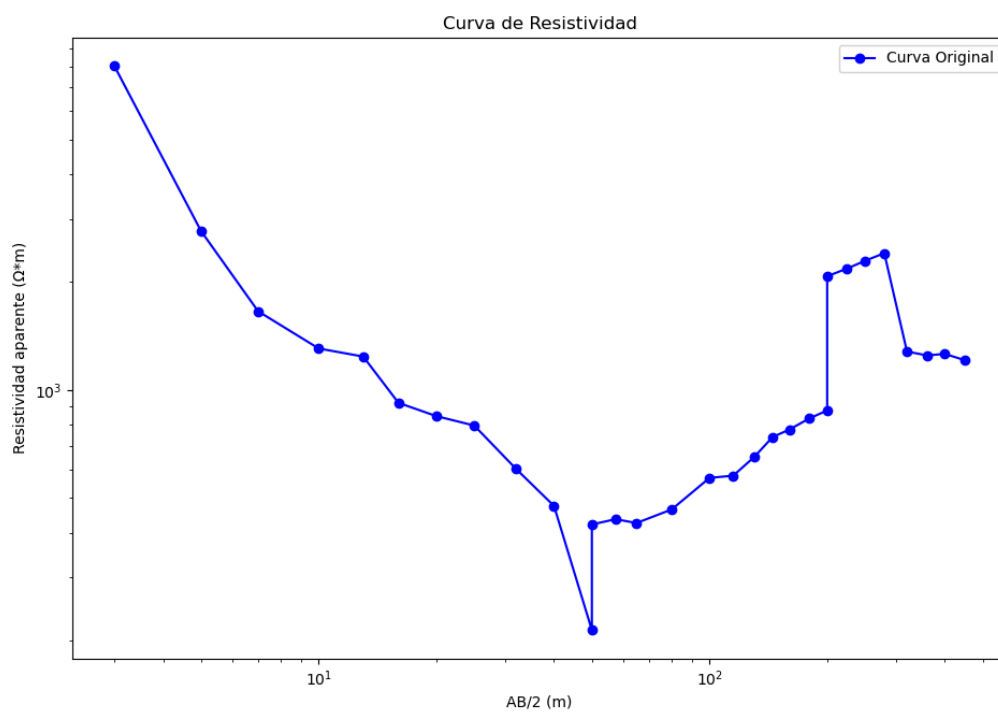


ILUSTRACIÓN 11 RESULTADO SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 2

## PROCESAMIENTO DE DATOS

### PRE-PROCESAMIENTO

A manera de preprocesamiento y con el objetivo de obtener resultados más óptimos y fieles, se suavizaron las curvas de resistividad aparente utilizando un filtro tipo Savitzky-Golay. Para esto, se empleó **Vespy**, una aplicación en Python diseñada en Python para el procesamiento de datos de sondeos eléctricos verticales (SEV), la cual permite aplicar técnicas avanzadas de filtrado y análisis de resistividad.

#### SEV-1

##### ILUSTRACIÓN 11 RESULTADO SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 1

En el **SEV1**, se utilizó un tamaño de ventana de **5** debido a la presencia de variaciones moderadas en los datos, lo que requería un nivel de suavizado que preservara los detalles de las transiciones geológicas sin perder información esencial sobre las capas del subsuelo.

#### SEV-2

##### ILUSTRACIÓN 11 RESULTADO SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 2

En el **SEV2**, también se aplicó una ventana de **3**, ya que los datos presentaban una tendencia similar en términos de ruido y estructura geológica, por lo que mantener el mismo nivel de suavizado asegura la coherencia en la interpretación de los resultados.

El uso del filtro Savitzky-Golay permitió obtener perfiles de resistividad más representativos, mejorando la estabilidad en la inversión geofísica y facilitando una interpretación más precisa de la estructura del subsuelo. Esto fue crucial para identificar posibles acuíferos, unidades geológicas y capas impermeables con mayor confiabilidad.

# INVERSIÓN DE DATOS

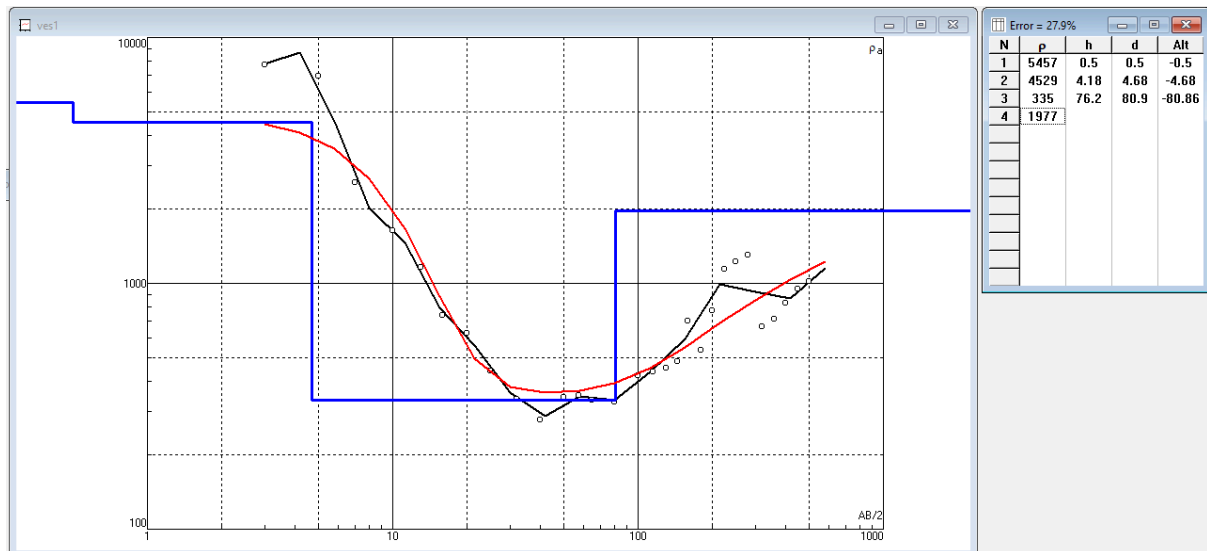


ILUSTRACIÓN 10 RESULTADOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES 1

Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )
0.508396861746045	0.508396861746045	5457.33661857783
4.18522785512557	4.69362471687161	4529.33032631004
76.1822425835778	80.8758673004494	335.674484915214
26.9586224334831	107.834489733933	1977.57

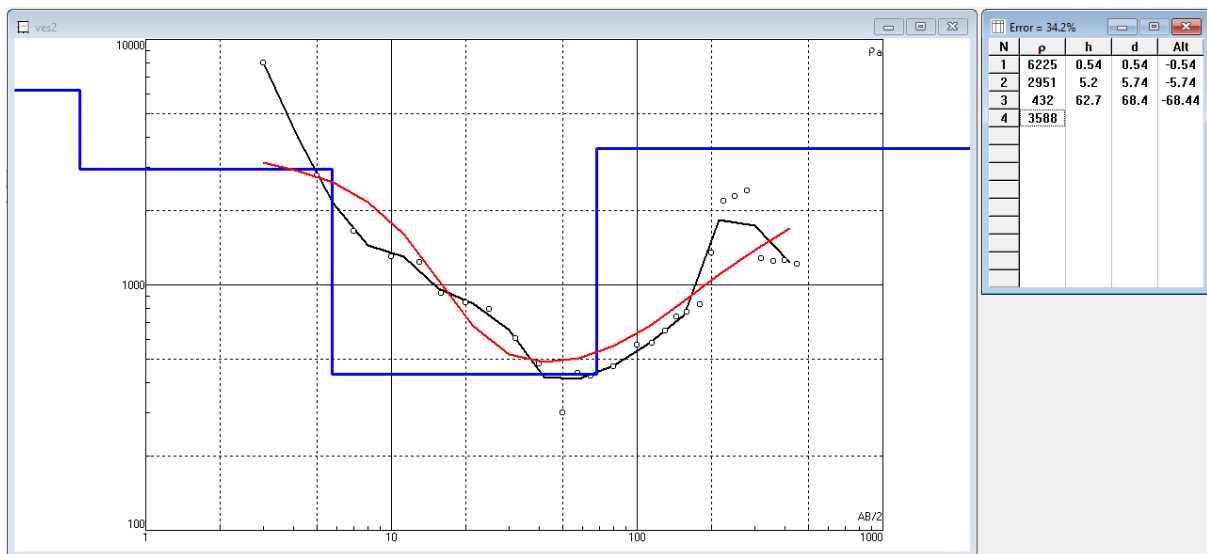


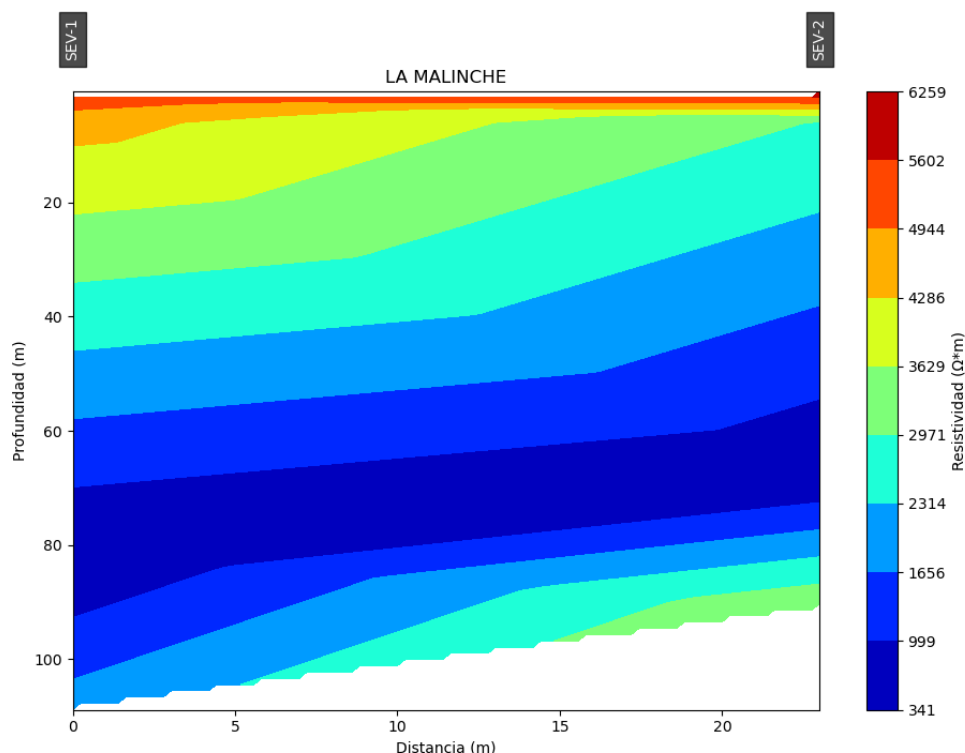
ILUSTRACIÓN 10 RESULTADOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES 2

Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )
0.542693810510671	0.542693810510671	6259.06289771047
5.20862222601447	5.75131603652514	2951.61362881241
62.71437106954	68.4656871060652	432.094528751567
22.8218957020217	91.2875828080869	3588.3

## RESULTADOS

## PERFILES GEOELÉCTRICOS

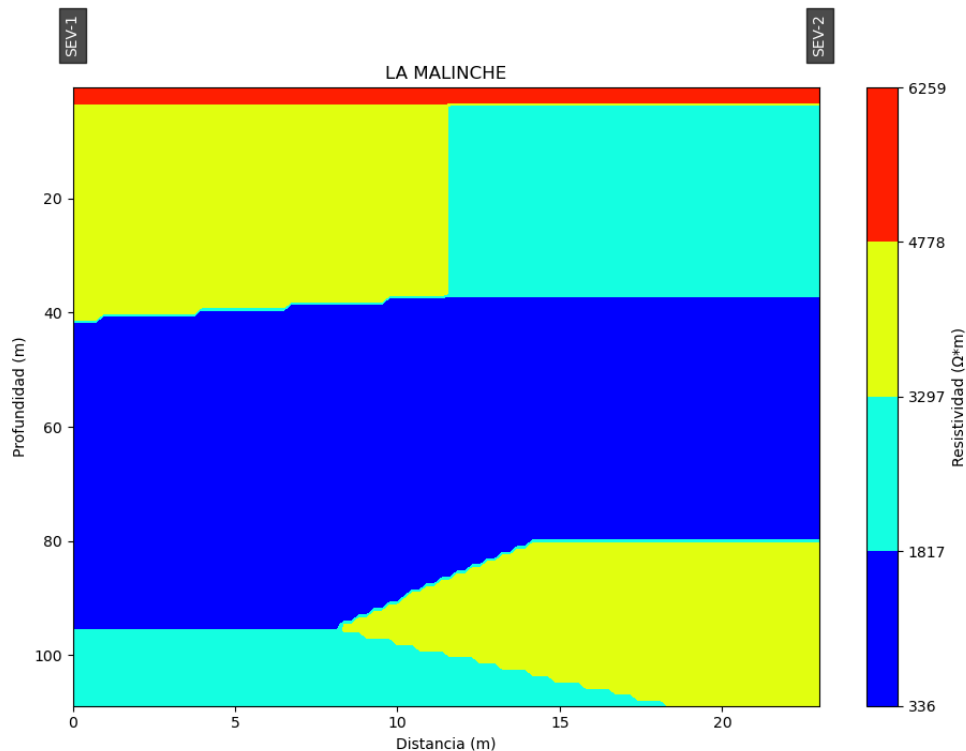
## Interpolación



El perfil interpolado muestra un rango de resistividades que oscila entre aproximadamente  $340 \Omega m$  y *más de  $6000 \Omega m$* , reflejando las características geológicas de la zona. Los valores más altos corresponden a unidades volcánicas altamente resistivas, como ignimbritas soldadas y lavas andesíticas compactas, que presentan baja porosidad y escasa alteración. En contraste, las resistividades más bajas se asocian con materiales volcánicos más fracturados o alterados, como tobas poco consolidadas y zonas con posible presencia de agua. Esta variación en resistividad permite identificar estructuras geológicas clave y posibles zonas de acumulación de agua subterránea dentro del perfil geofísico.

El perfil interpolado seguramente muestra una capa superficial muy resistiva, seguida de una zona más conductiva (posible acuífero) y luego un basamento de alta resistividad. Esto confirma la naturaleza volcánica de la unidad Qptho TDa y su potencial hidrogeológico.

## Blocky model



En el modelo de bloques generado mediante la interpolación nearest, podemos observar cómo se conserva la capa de bajas resistividades a lo largo del perfil. Este método de interpolación mantiene los valores originales sin suavizarlos, permitiendo identificar con mayor precisión los límites entre unidades geológicas de diferente resistividad. La continuidad de la capa de baja resistividad es un aspecto clave, ya que sugiere una característica persistente del subsuelo, como una zona de material más fracturado o con posible presencia de agua. Al asignar cada punto del modelo al valor más cercano medido, este enfoque nos brinda una representación más segmentada, destacando los contrastes entre las diferentes formaciones y asegurando que no se introduzcan valores artificiales en la interpretación del perfil.

## UNIDADES GEOELÉCTRICAS

Capa	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	Interpretación Geológica
1. Suelo superficial y cenizas volcánicas	~0.4		0.4 3500 - 4600	Depósito de cenizas compactadas o suelo seco con baja humedad.
2. Toba consolidada o ignimbrita soldada	~1.5 - 3.4	2 - 3.8	6482 - 6628	Capa densa y cementada con baja porosidad, posiblemente una ignimbrita soldada o toba endurecida.
3. Tobas fracturadas con posible acuífero	~10 - 61.8	12.7 - 65.7	288 - 316	Zona de baja resistividad, indicando posible material poroso saturado con agua subterránea. Puede ser una toba alterada o un nivel hidrogeológico.
4. Roca volcánica compacta (andesita/ignimbrita no fracturada)	~12 - 22	63 - 90	1663 - 3663	Unidad masiva con menor permeabilidad, posiblemente el basamento volcánico.

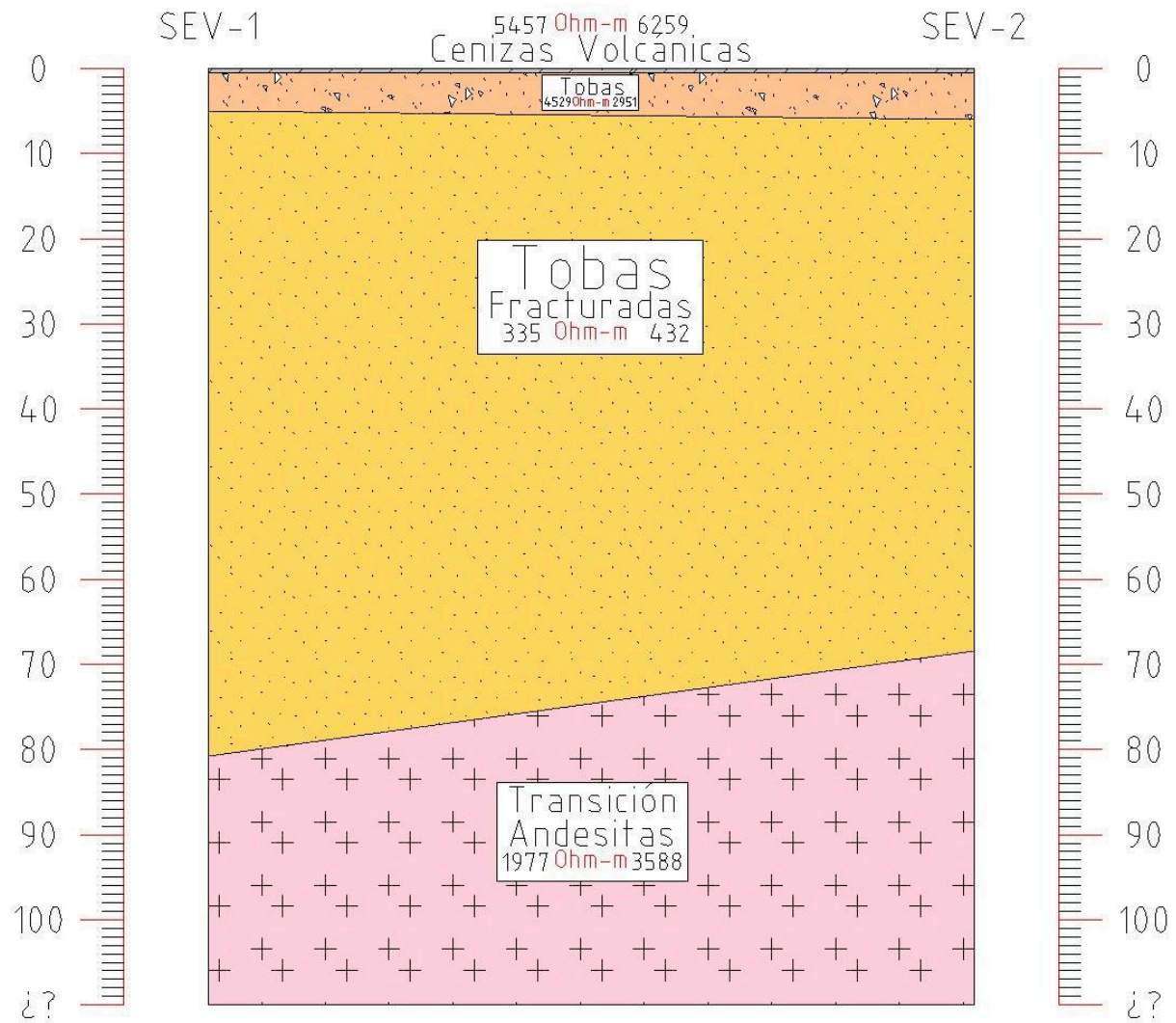
En el modelo generado, se describieron cuatro unidades geoeléctricas bien diferenciadas con base en sus rangos de resistividad y espesores:

1. **Unidad superficial de alta resistividad (2500 - 6500  $\Omega \cdot m$ ):** Corresponde a depósitos recientes de cenizas volcánicas y material piroclástico suelto con baja humedad y alta porosidad. Su espesor varía entre 0.4 y 3 m.
2. **Unidad de resistividad intermedia a alta (430 - 1083  $\Omega \cdot m$ ):** Asociada a tobas y depósitos volcánicos consolidados, presenta variaciones en resistividad debido a diferencias en compactación y grado de alteración. Esta capa puede actuar como zona de almacenamiento o circulación de fluidos en sectores fracturados.
3. **Unidad de baja resistividad (278 - 340  $\Omega \cdot m$ ):** Se extiende en gran parte del perfil y representa materiales volcánicos alterados, fracturados o saturados de agua, lo que sugiere un potencial acuífero en tobas volcánicas. Su espesor es variable, alcanzando hasta 50 m en algunas zonas.
4. **Unidad profunda de alta resistividad (1600 - 3663  $\Omega \cdot m$ ):** Corresponde al basamento volcánico, compuesto por andesitas o ignimbritas masivas con baja permeabilidad. Su presencia marca el límite inferior de la circulación de agua subterránea en la zona.

La identificación de estas unidades geoeléctricas permite comprender la estructura del subsuelo y su relación con la hidrogeología, destacando la importancia de la unidad de baja resistividad como posible zona de acumulación de agua

## MODELO GEOLÓGICO

# LA MALINCHE



MODELO GEOLÓGICO



## ANÁLISIS CORRESPONDIENTE AL ÁREA DE ESTUDIO.

El análisis geoelectrico realizado en la zona permitió identificar cuatro unidades geoelectricas bien diferenciadas, destacando una capa de baja resistividad que se asocia con tobas fracturadas y que podría indicar la presencia de agua subterránea. La interpolación nearest utilizada permitió conservar la estructura de esta capa a lo largo del perfil, proporcionando una visión más detallada del comportamiento del subsuelo. Sin embargo, debido a la variabilidad geológica de la región, es necesario realizar estudios complementarios para confirmar la continuidad lateral de las unidades identificadas y su viabilidad para una posible perforación.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios complementarios en el área para asegurar un proyecto de perforación exitoso. Es indispensable llevar a cabo estudios de **Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE)** con el fin de verificar la continuidad lateral de la capa de baja resistividad asociada con tobas fracturadas. Para ello, se sugiere realizar al menos **dos líneas perpendiculares entre sí** y generar un **modelo pseudo-3D**, lo que permitirá observar con mayor precisión el comportamiento geoelectrico de los materiales y otorgar mayor credibilidad al modelo geológico.

Además, se recomienda realizar estudios de **velocidad de onda de corte (Vs)** para correlacionar los valores de resistividad obtenidos con las propiedades mecánicas del subsuelo. La combinación de estos estudios permitirá mejorar la interpretación geológica y reducir la incertidumbre en la identificación de unidades de interés hidrogeológico.

## PROPUESTA DE PERFORACIÓN

Los datos obtenidos hasta el momento no son concluyentes para definir con certeza una propuesta de perforación. Aunque se ha identificado una capa de baja resistividad que podría estar asociada con la presencia de agua, es fundamental realizar estudios adicionales para confirmar su extensión, espesor y capacidad de almacenamiento. La propuesta de perforación deberá basarse en un análisis más detallado de los datos complementarios recomendados.

## CONCLUSIONES

Los estudios geoelectrónicos realizados permitieron identificar una posible zona de interés hidrogeológico caracterizada por bajas resistividades, lo que sugiere la presencia de tobas fracturadas con potencial para almacenar agua. Sin embargo, la incertidumbre en la continuidad lateral de esta capa y la variabilidad geológica de la región hacen necesario complementar el estudio con técnicas adicionales como TRE y análisis de ondas de corte.

**Determinación final: Probabilidad:** Se establece una probabilidad **moderada** de encontrar agua en la zona, pero se requiere información adicional para confirmar su potencial y definir un sitio óptimo de perforación.