

Rev.	Fecha	Descripción	Elaborado por	Revisado por
00	05/05/2017	Para revisión del Cliente	Víctor Hugo Restrepo	Héctor Salazar

**EMPRESA:**

**GEOANDINA i SAS**

CRA 48 No. 94-17

Tel: 634 89 14 – Celular: 321 429 45 66

[geoandina-i@geoandina.net](mailto:geoandina-i@geoandina.net)
[www.geoandina.net/i](http://www.geoandina.net/i)
**CLIENTE:**


Por la niñez colombiana

Carrera 15 # 87 - 86,. Bogotá D.C.

Bogotá - Colombia

**PROYECTO:**
**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y SEV FUNDACIÓN PLAN CLEMENCIA – BOLIVAR.**
**TÍTULO:**
**INFORME FINAL DE RESULTADOS DE EXPLORACIÓN GEOELÉCTRICA Y ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO.**

Elaborado por:	Ing. Víctor Hugo Restrepo		Fecha:	05/05/2017
Revisado por:	Ing. Héctor Salazar		Fecha:	05/05/2017

Contrato No.	-	Archivo:	GI-036-IT-PC-001_R00
Documento No.	GI-036-IT-PC-001	Rev. No:	00

---

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
1.1.	LOCALIZACIÓN.....	6
2.	conceptos teóricos básicos. ....	9
2.1.	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA. ....	9
2.2.	RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS.....	9
2.3.	FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTIVIDAD.....	10
2.4.	PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL MÉTODO GEOELÉCTRICO.....	10
2.5.	SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES. ....	11
3.	PROCEDIMIENTO EN CAMPO PARA MEDICIONES GEOELÉCTRICAS. ....	13
3.1.	sondeos eléctricos verticales (SEV).....	13
3.2.	EQUIPO usado para los sondeos eléctricos verticales. ....	13
4.	ENTORNO GEOLÓGICO.....	15
5.	RESULTADOS SEV'S Y ANÁLISIS. ....	19
5.1.	PERFIL DE RESISTIVIDADES.....	19
5.1.1.	RESULTADOS SEV 1.....	19
5.1.2.	RESULTADOS SEV 2.....	20
5.1.3.	RESULTADOS SEV 3.....	21
5.1.4.	RESULTADOS SEV 4.....	22
5.1.5.	RESULTADOS SEV 5.....	1
5.2.	sección geoeléctrica de la zona.....	1
5.3.	análisis.....	3
6.	ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO.....	5
6.1.	GEOLOGÍA. ....	5
6.2.	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	5
6.3.	POZOS EXISTENTES EN LA ZONA. ....	6
6.4.	ENSAYOS DE LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS y análisis. ....	10
6.4.1.	resultados fisico químicos y bacteriológicos – muestra 1.....	10
6.4.2.	resultados fisico químicos y bacteriológicos – muestra 2.....	12
6.4.3.	CONSIDERACIONES PARA POTABILIZACIÓN DEL AGUA. ....	13
7.	TRÁMITES ANTE AUTORIDADES AMBIENTALES.....	14
8.	CONCLUSIONES. ....	14

---

9. RECOMENDACIONES.....	15
10. BIBLIOGRAFÍA.....	17

*ANEXO A – RESULTADOS DE MEDICIONES EN CAMPO PARA SEV’S.*

*ANEXO B – INTERPRETACIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.*

*ANEXO C – RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA MUESTRAS DE AGUA.*

*ANEXO D – REGISTRO FOTOGRÁFICO.*

*ANEXO E – FORMATO ÚNICO PARA SOLICITUD DE PROSPECCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.*

*ANEXO F – PROCEDIMIENTOS Y LEGISLACIÓN.*

## LISTADO DE FIGURAS.

Figura 1. Localización General del proyecto. ....	7
Figura 2. Ubicación Sondeos Eléctricos Verticales (SEV'S).....	8
Figura 3. Resistividades de diferentes rocas y minerales (Modificado de Orellana, 1982). ....	10
Figura 4. Esquema básico de dispositivo para determinar la resistividad eléctrica del subsuelo. ...	11
Figura 5. Dispositivo Schlumberger.....	12
Figura 6. Modelo de resistividades 1D considerado con un Sondeo Eléctrico Vertical (VES).....	12
Figura 7 Equipo medidor de resistividades. Ohmega Allied Associates.....	14
Figura 8. Geología regional y ubicación del municipio de Clemencia. ....	15
Figura 9. Contexto geológico del municipio de Clemencia y zona del proyecto.....	16
Figura 10. Detalle de geología del lote en transición de Formación Arjona (PgNga), depósito cuaternario (Qcal) y falla Clemencia para los SEV's realizados.....	17
Figura 11. Ubicación en planta y sección esquemática AB del perfil geológico para el proyecto. ...	18
Figura 12. Curva de resistividad aparente generada para el SEV 1 (curva de campo).....	19
Figura 13. Curva de resistividad aparente generada para el SEV 2 (curva de campo).....	20
Figura 14. Curva de resistividad aparente generada para el SEV 3 (curva de campo).....	21
Figura 15. Curva de resistividad aparente generada para el SEV 4 (curva de campo).....	22
Figura 16. Curva de resistividad aparente generada para el SEV 5 (curva de campo).....	1
Figura 17. Ubicación de SEV's en planta y secuencia para generación de sección geoeléctrica (línea negra) .....	2
Figura 18. Sección geoeléctrica de resistividades en secuencia SEV 3-2-1-4 y SEV 5. ....	3
Figura 19. Ubicación de los pozos de captación de agua.....	6
Figura 20. Ubicación de los pozos de captación de agua.....	7
Figura 21.Registro fotográfico Pozo 1. Profundidad aproximada 3.0m.....	8
Figura 22.Registro fotográfico Pozo 2. Profundidad aproximada 0.0m.....	8
Figura 23.Registro fotográfico Pozo 3. Profundidad aproximada 13.0m.....	9
Figura 24.Registro fotográfico Pozo Inactivo. Profundidad aproximada 1.0m .....	9
Figura 25.Registro fotográfico aljibe de escuela actual (almacenamiento de agua carrotanque). ....	9

## LISTADO DE TABLAS.

Tabla 1.Coordenadas de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's).....	8
Tabla 2. Parametros SEV's.....	13
Tabla 3 Especificaciones del equipo utilizado. ....	14
Tabla 4. Resistividades absolutas generadas para el SEV 1. ....	20
Tabla 5. Resistividades absolutas generadas para el SEV 2. ....	20
Tabla 6. Resistividades absolutas generadas para el SEV 3. ....	21
Tabla 7. Resistividades absolutas generadas para el SEV 4. ....	22
Tabla 8. Resistividades absolutas generadas para el SEV 5. ....	1
Tabla 9.Coordenadas de los pozos cercanos al proyecto. ....	7
Tabla 10. Resultados Físico-químicos. Muestra Pozo1. ....	10
Tabla 11. Resultados Microbiológicos. Muestra Pozo1. ....	11
Tabla 12. Resultados Físico-químicos. Muestra Pozo2. ....	12
Tabla 13. Resultados Microbiológicos. Muestra Pozo2. ....	12

## 1. INTRODUCCIÓN.

**GEOANDINA I S.A.S.** llevó a cabo para el proyecto Fundación PLAN en Clemencia - Bolívar, cinco (5) sondeos eléctricos verticales (SEV's) con longitudes de línea (AB) que van desde 625 m – 895 m, con el fin de caracterizar la resistividad eléctrica de los materiales geológicos existentes para su posterior uso en análisis y diseño de pozos y/o estructuras de captación de aguas subterráneas. Adicionalmente se realizó la toma de muestras de agua en pozos cercanos al proyecto para realizar estudios de calidad fisicoquímica y bacteriológica en el agua de la zona.

El presente informe presenta el proceso de campo y resultados de los cinco (5) sondeos eléctricos verticales (SEV's) realizados para la obtención del perfil de resistividades del terreno. El estudio se complementó con un análisis fisicoquímico y bacteriológico de aguas a la luz de la resolución 2115 de 2007 sobre la calidad del agua.

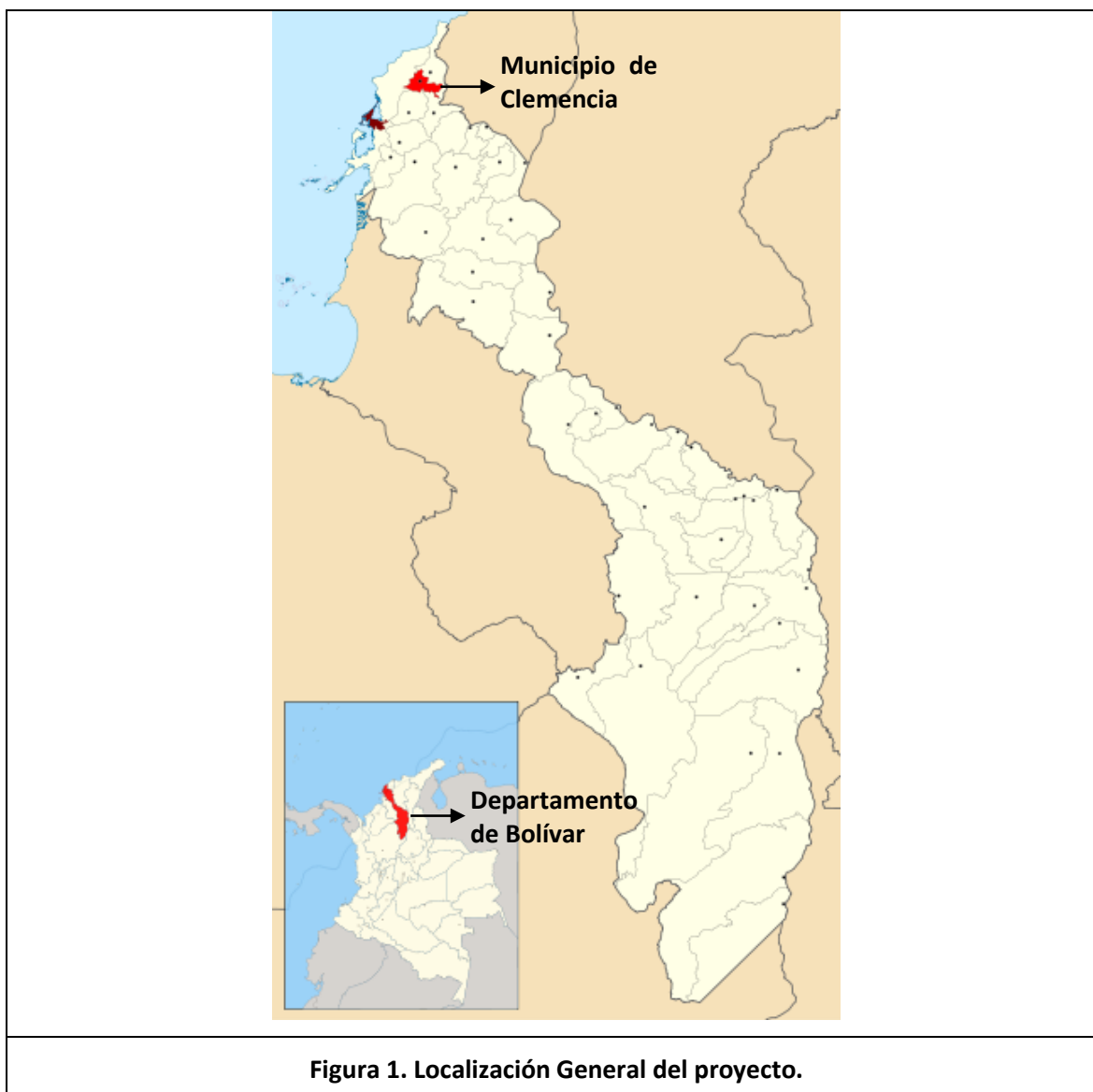
Se presenta una modelación geoelectrica del subsuelo, junto con las recomendaciones para la ubicación de estructuras de captación de agua y su profundidad.

### 1.1. LOCALIZACIÓN.

El proyecto de ampliación del actual Centro de Desarrollo Infantil (CDI) Fundación PLAN se desarrollará en el municipio de Clemencia – Bolívar. Este municipio se encuentra situado entre zonas poco montañosas, destacándose algunas zonas volcánicas dentro de la localidad que tiene alturas inferiores a los 300 m sobre el nivel del mar y La zona urbana se encuentra ubicada en un valle de serranías donde se presentan ligeras pendientes al noroeste.

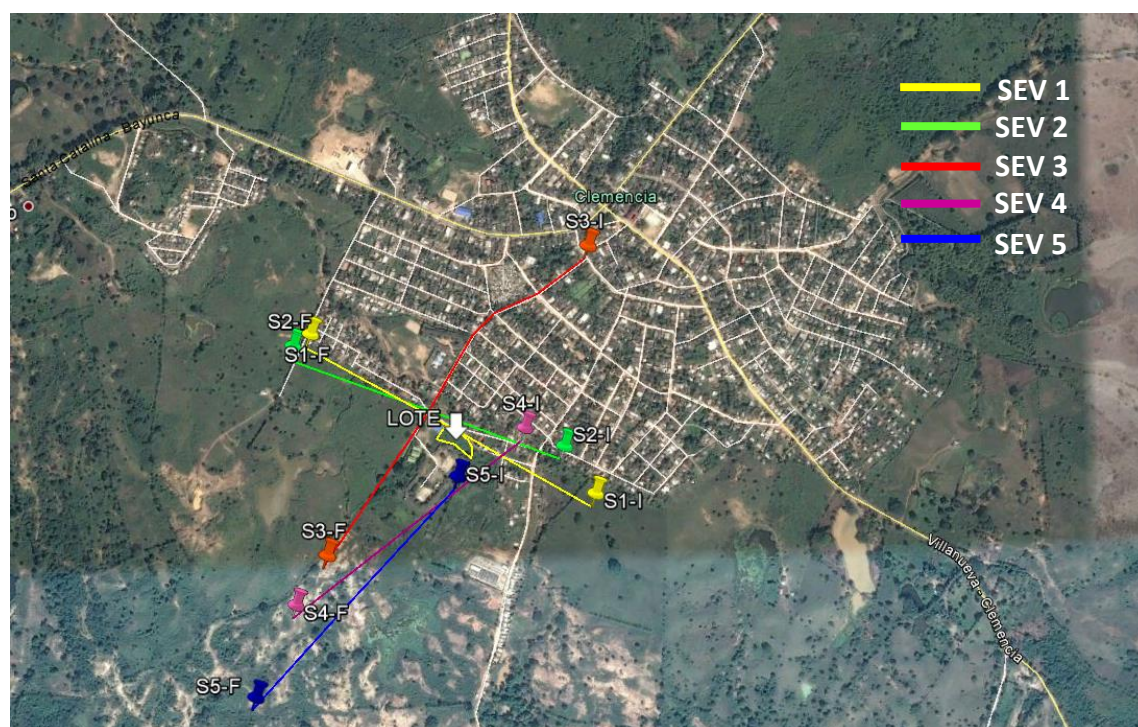
Clemencia – Bolívar, limita al oriente con los municipios de Santa Catalina, Luruaco y Repelón – Atlántico, al Occidente con el corregimiento de Bayunca – Cartagena, al norte con el corregimiento de Arroyo Grande – Cartagena y al sur con los municipios de Santa Rosa de Lima y Villanueva. Adicionalmente, presenta una extensión de 2.1 Km<sup>2</sup> y está a 300 m.s.n.m., con una temperatura media de 28° C.

En la Figura 1, se presenta la localización general del proyecto, haciendo énfasis en el municipio de Clemencia – Bolívar.



Los cinco (5) SEV's se llevaron a cabo en trazados con centro de línea lo más cercano posible al lote dispuesto por la alcaldía en el municipio, dadas las restricciones geográficas y urbanísticas que limitaban dar centro para la totalidad de los sondeos eléctricos al interior del lote.

A continuación se muestra la localización detallada de los SEV's (Figura 2) con referencia a la ubicación del lote. Las imágenes fueron tomadas de Google Earth.



**Figura 2. Ubicación Sondeos Eléctricos Verticales (SEV'S).**

En la Tabla 1 se presenta la información referente a la localización de los SEV'S.

**Tabla 1.Coordenadas de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's).**

SONDEO	INICIO		CENTRO		FIN		LONGITUD A-B (m)
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	
SEV-01	863372	1660125	863026	1660331	862683	1660528	800
SEV-02	863224	1660248	862964	1660377	862671	1660487	600
SEV-03	863306	1660696	862955	1660371	862709	1660059	800
SEV-04	863222	1660351	862877	1660136	862568	1659873	800
SEV-05	863070	1660265	862765	1659954	862504	1659679	800



## 2. CONCEPTOS TEÓRICOS BÁSICOS.

A continuación se presentan conceptos relacionados con la resistividad eléctrica y el método geofísico del sondeo eléctrico vertical (SEV) para contextualización de las actividades realizadas en campo y posteriormente para análisis.

### 2.1. RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.

La resistividad se define a partir de un cubo eléctricamente uniforme, de lado de longitud  $L$  a través del cual circula una corriente  $I$ . El material dentro del cubo se opone al paso de la corriente eléctrica a través de él, lo que resulta en una caída de tensión  $V$  entre las caras opuestas de este cubo. La resistencia eléctrica es proporcional a la longitud  $L$  del material resistivo e inversamente proporcional al área  $A$ . La constante de proporcionalidad es la resistividad verdadera que se denota con el símbolo  $\rho$ . De esto se tiene que la resistencia eléctrica a través de un volumen unitario está dada por:

$$R = \rho L / A \quad (1)$$

De acuerdo con la ley de Ohm, la resistencia también se define en términos del cociente de la caída de potencial y la corriente que pasa por el cubo, esto es:

$$R = V / I \quad (2)$$

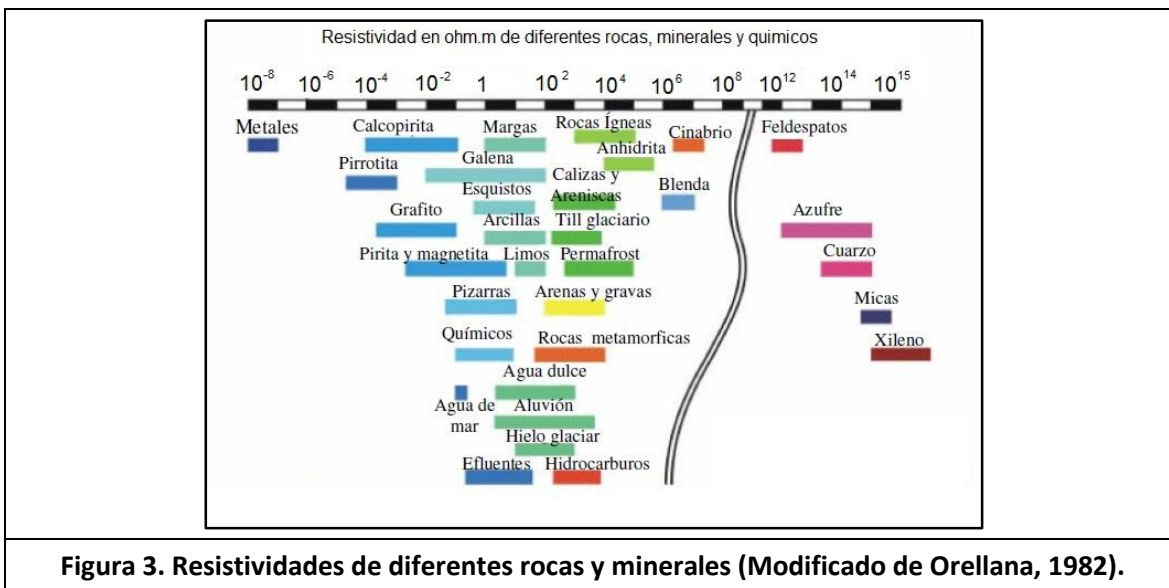
De las ecuaciones (1) y (2) se una nueva expresión para la resistividad:

$$\rho = VA / IL \quad (3)$$

Cuyas unidades son ohm-metro ( $\Omega \cdot m$ ). El inverso de la resistividad ( $1/\rho$ ) se define como la conductividad eléctrica de un material ( $\sigma$ ), la cual tiene como unidades siemens/metro (S/m) o su equivalente el mhos/metro.

### 2.2. RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS.

La resistividad de una porción determinada de roca puede medirse directamente por diversos métodos, los cuales pueden emplearse también para evaluar el grado de exactitud de las fórmulas teóricas (Orellana, 1982).



### 2.3. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTIVIDAD.

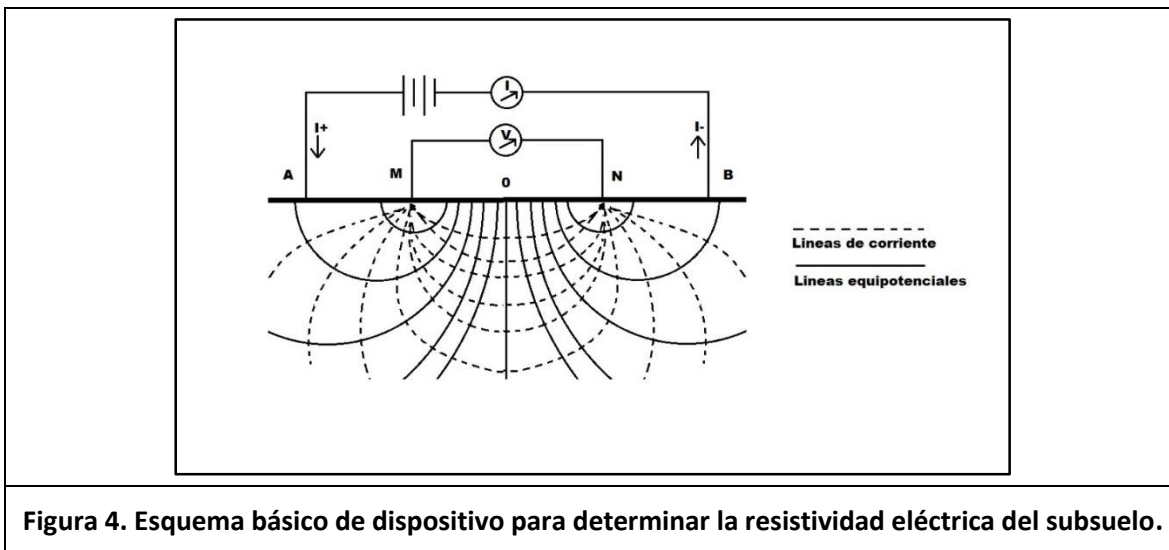
La resistividad eléctrica es un parámetro que varía en función de las características del terreno, algunos de los factores que influyen en esta son:

- El grado de saturación del terreno.
- La temperatura.
- Porosidad de los materiales del subsuelo y forma de los poros.
- La salinidad del fluido que se haya en los poros.
- El tipo de roca.
- Los procesos geológicos que afectan los materiales.
- La presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico.

Es precisamente esta estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, lo que permite utilizar estos métodos de resistividad, en la búsqueda de focos de filtración de agua en el subsuelo. En este sentido, incrementos del contenido en agua del terreno provocan disminuciones de la resistividad.

### 2.4. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL MÉTODO GEOELÉCTRICO.

La siguiente figura ilustra el principio fundamental de la medida de resistividad del subsuelo, el cual consiste en inyectar una corriente eléctrica continua a través de los electrodos A y B, determinándose la diferencia de potencial que existe entre el par de electrodos M y N.



**Figura 4. Esquema básico de dispositivo para determinar la resistividad eléctrica del subsuelo.**

Para un medio homogéneo de resistividad, la diferencia de potencial es (Orellana, 1982)

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right) \quad (4)$$

Donde AM, AN, BM, BN son las distancias entre los electrodos. La resistividad viene dada por la ecuación:

$$\rho = g \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

Donde:

$$g = 2\pi \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (6)$$

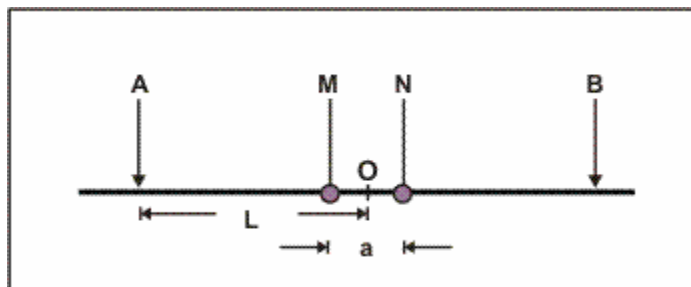
Y g es un factor geométrico que depende del arreglo de los electrodos.

## 2.5. SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.

Se denominan de ésta manera a los arreglos simétricos con permanencia del centro y orientación o azimut fijos. Se determinan los valores de resistividad aparente con mediciones creciente en el espaciamiento de electrodos de emisión (AB) y recepción (MN).

Los electrodos se disponen alineados, de acuerdo a las configuraciones propuestas por Schlumberger

- **Configuración Schlumberger.** Es un dispositivo simétrico que cumple con la condición de que la distancia que separa a A y B debe ser mayor o igual a 3 veces la distancia entre M y N.



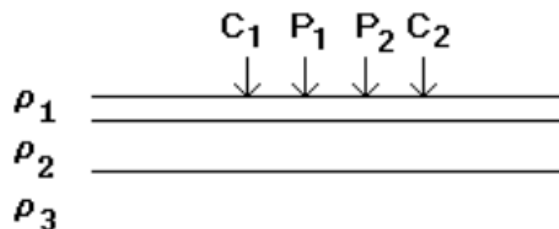
**Figura 5. Dispositivo Schlumberger.**

Los valores de resistividad aparente se representan en función de  $AB/2$  y la constante geométrica es:

$$g = \frac{\pi}{4MN} (AB^2 - MN^2) \approx \frac{\pi L^2}{a} \quad (7)$$

Este tipo de arreglo considera un modelo de resistividad del suelo por capas homogéneas sin variabilidad lateral que se considera un modelo 1D

**a) . 1D Model**



**Figura 6. Modelo de resistividades 1D considerado con un Sondeo Eléctrico Vertical (VES).**

### 3. PROCEDIMIENTO EN CAMPO PARA MEDICIONES GEOELÉCTRICAS.

A continuación se presenta la metodología empleada para la toma de datos en campo e interpretación de los SEV's realizados. La toma de las resistividades se realizó mediante los arreglos tipo Schlumberger descritos a continuación.

#### 3.1. SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV).

Los parámetros empleados durante la adquisición de datos para los sondeos eléctricos verticales se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parametros SEV's

Sondeo Eléctrico Vertical	Número de Registros	Apertura Máxima AB (m)
SEV 1	24	800
SEV 2	22	600
SEV 3	24	800
SEV 4	24	800
SEV 5	24	800

Tipo de arreglo: Schlumberger.

Apertura máxima AB: 800m.

La apertura AB=800m permitió alcanzar una profundidad cercana a los 100m de profundidad y para la apertura AB=600m una profundidad cercana a los 75m. La ubicación del centro de los sondeos y tendido de electrodos extremos se definió de acuerdo a las condiciones de acceso a predios y facilidad de movimiento a lo largo del arreglo.

Las diferentes mediciones en campo se llevaron a cabo con incrementos de espaciamiento entre AB y MN que guardaran al menos una proporción 3:1 entre sus distancias comenzando con un espaciamiento AB=3m, MN=1 y alcanzando la apertura máxima de AB=400 y MN=128 en un total de 24 registros por sondeo.

#### 3.2. EQUIPO USADO PARA LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.

La adquisición de los datos en los sondeos geoeléctricos, ejecutados para este proyecto, se realizó con un medidor de resistividad marca Allied Associates, con sus respectivos electrodos y cables para corriente y potencial



**Figura 7 Equipo medidor de resistividades. Ohmega Allied Associates.**

El equipo está diseñado para el registro de la señal eléctrica y puede utilizarse para el desarrollo de cualquier campaña geoelectrica, las especificaciones técnicas del equipo se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3 Especificaciones del equipo utilizado.**

<b>Corriente de salida (mA)</b>	0.5-200
<b>Voltaje de salida (V)</b>	360
<b>Ciclo de tiempo (s)</b>	2.1-4.2-8.4
<b>Impedancia de entrada (MOhms)</b>	22
<b>Rango de medida (Ohms)</b>	.001-400x10 <sup>3</sup>
<b>No. de ciclos</b>	1, 2, 4 & 16
<b>Peso (Kg)</b>	4
<b>Dimensiones (mm)</b>	230x175x267

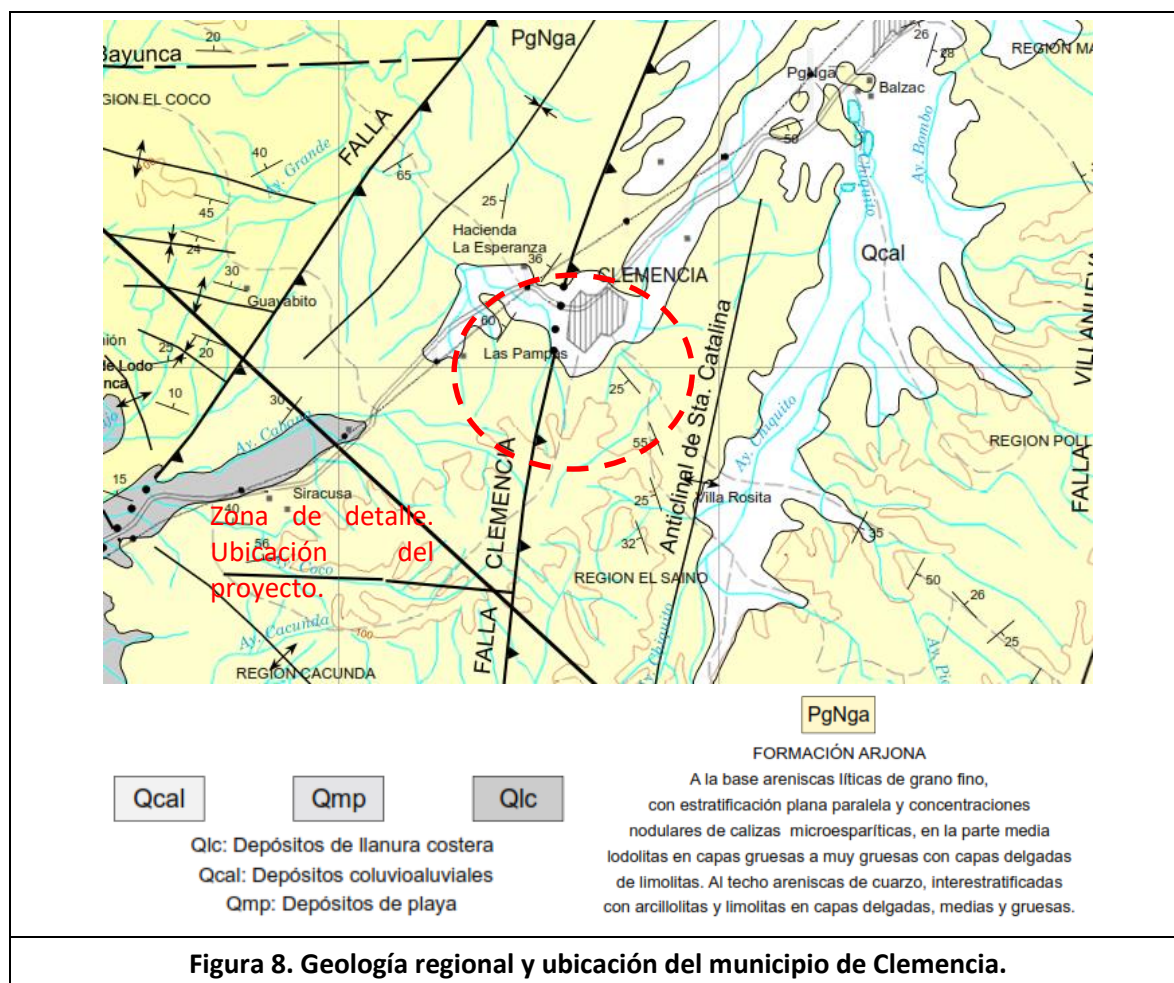
## 4. ENTORNO GEOLÓGICO.

Al analizar la plancha No.023 de geología regional correspondiente al área circundante de Cartagena (Bolívar) que se presenta en escala 1:100.000 (Ingeominas), se identifican dos unidades geológicas en la zona donde se realizaron los sondeos eléctricos verticales (SEV's) en cercanías al lote del proyecto. La primera unidad corresponde a la Formación de depósitos cuaternarios coluviales (Qcal) del cinturón del Sinú, adicionalmente por esta zona pasa muy cerca la Falla de Clemencia.

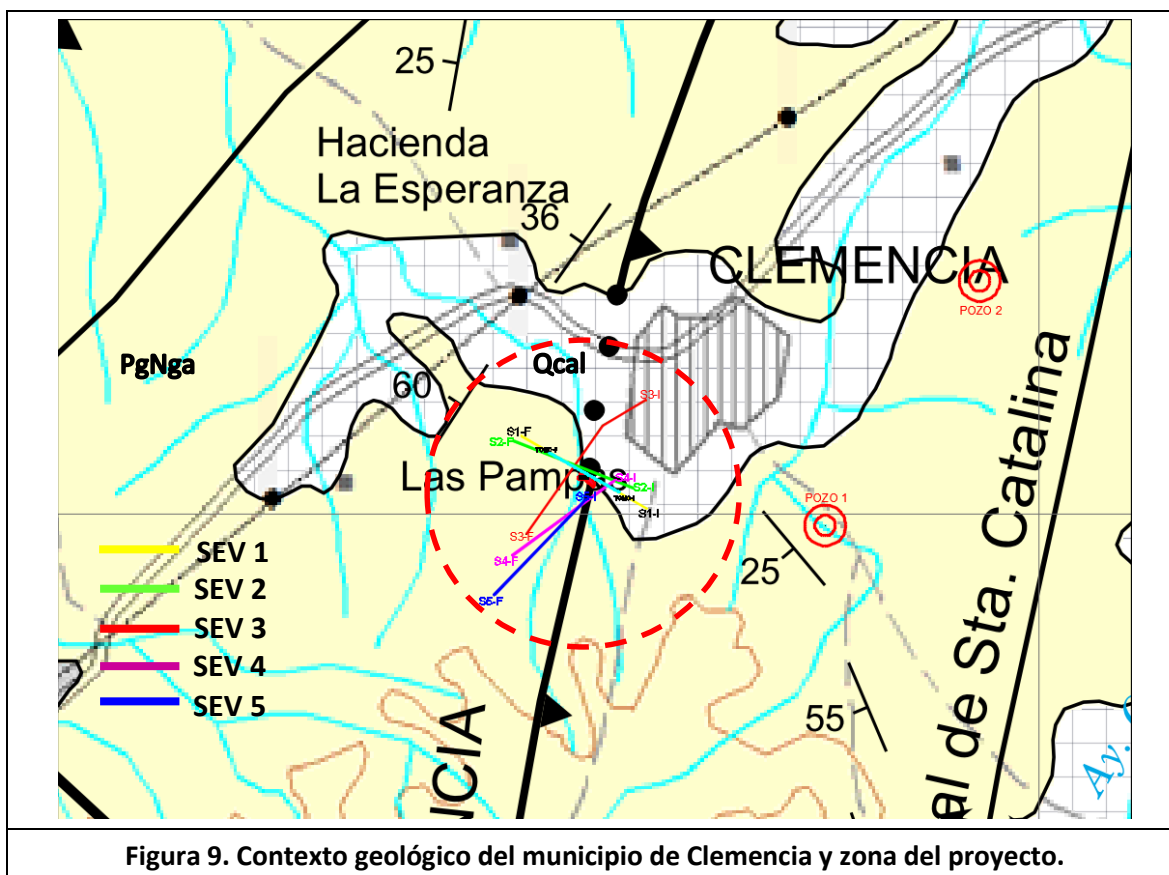
La segunda unidad geológica identificada corresponde a la Formación Arjona (PgNga) compuesta principalmente por areniscas líticas de grano fino con estratificación plana paralela y concentraciones nodulares de calizas en su base.

Cabe resaltar que el lote donde se quiere llevar a cabo el proyecto está atravesado por la Falla Clemencia que está localizada en la parte central de la plancha No. 023, y pasa por la localidad de Clemencia, con rumbo N10° - 30°E.

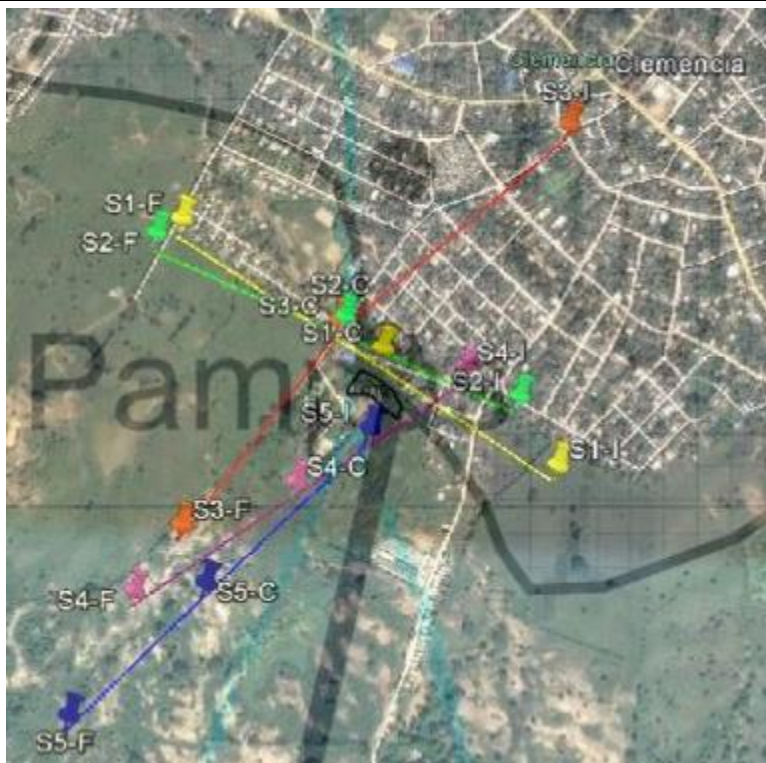
En la Figura 8 se observa la geología regional del municipio de Clemencia – Bolívar y en la Figura 9 se observa la localización de los SEV'S, el lote del proyecto y los pozos de captación de agua para toma de muestras y análisis de laboratorio.





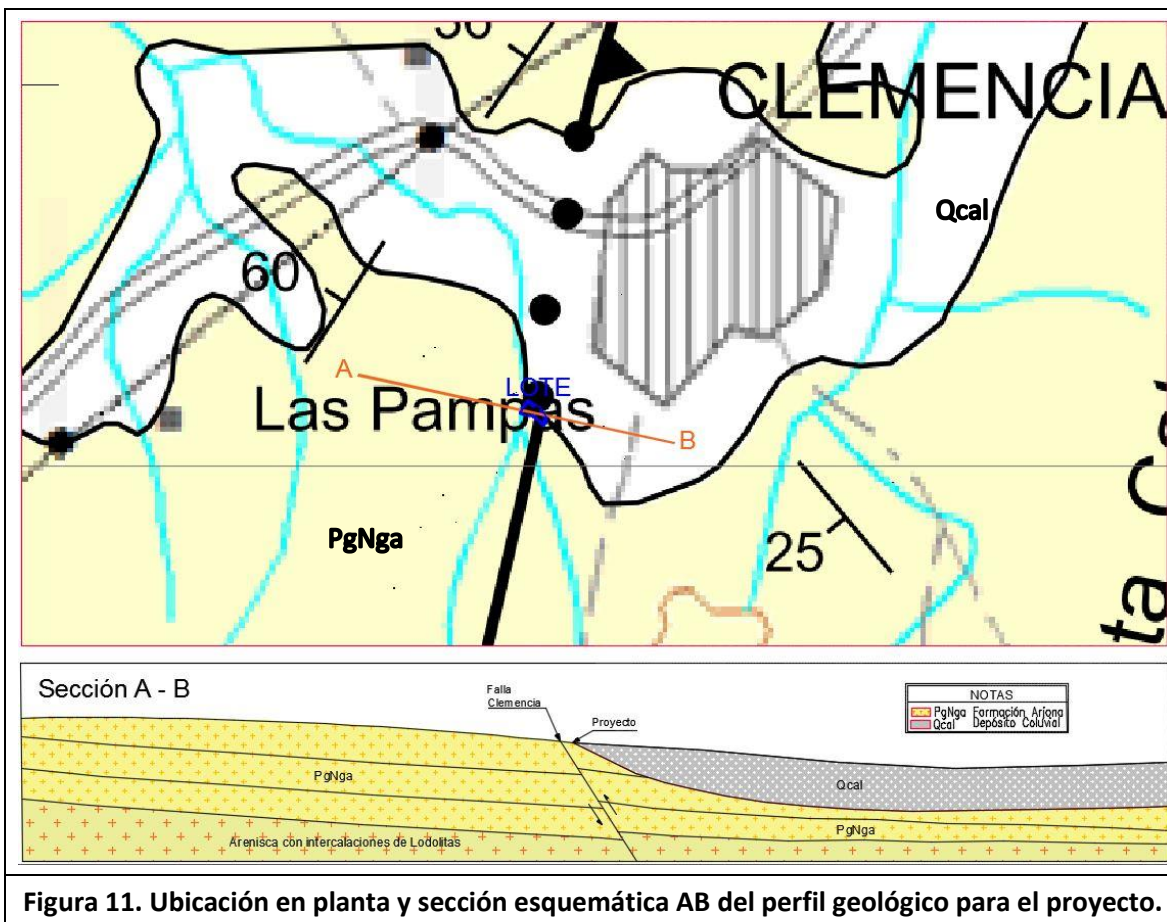






**Figura 10. Detalle de geología del lote en transición de Formación Arjona (PgNga), depósito cuaternario (Qcal) y falla Clemencia para los SEV's realizados.**

Al realizar un corte esquemático (Sección A-B) del contexto geológico de la zona del proyecto considerando los depósitos coluvioaluviales (Qcal), la Formación Arjona (PgNga) y la falla de tipo inversa (cabalgamiento) de Clemencia que, según el trazado de la plancha atraviesa el municipio y el lote en su totalidad, se tendría el modelo geológico presentado a continuación.



La existencia de la falla inversa de Clemencia y la existencia de diferentes materiales con edades y origen diverso es un indicador de la alta variabilidad presente en los materiales geológicos de la zona y por ende los cambios laterales en las propiedades de éstos no son favorables para la interpretación posterior de sondeos eléctricos verticales como se verá en el siguiente capítulo.

## 5. RESULTADOS SEV'S Y ANÁLISIS.

Los resultados de resistencia medida en campo para cada uno de los arreglos y alineamiento de sondeos eléctricos verticales ejecutados, así como el cálculo de resistividades aparentes respectivas se presenta en el Anexo A del presente documento.

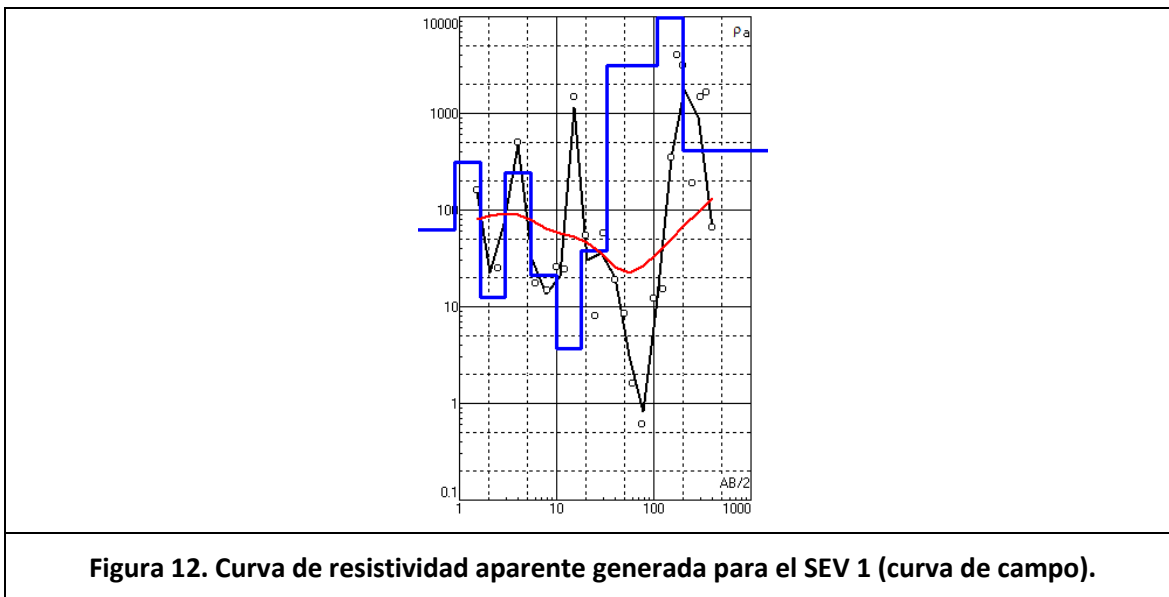
### 5.1. PERFIL DE RESISTIVIDADES.

En los resultados de cada SEV se presenta la curva de datos de resistividad aparente generada con los datos de campo (curva de color negro), la curva sintética ajustada a los datos de resistividad aparente de campo (curva de color rojo) y finalmente el modelo de resistividades absolutas generado a partir de la curva de resistividades aparentes. La escala horizontal de la gráfica corresponde a la mitad de la apertura de los electrodos A y B ( $AB/2$ ), y la escala vertical representa los valores de resistividad aparente (en ohm.metro) obtenidos para cada apertura  $AB/2$ . Estas escalas son logarítmicas.

En cada una de las tablas de resultados se registran los valores de resistividad absoluta obtenidos a partir del procesamiento de datos de resistividad aparente. Esta tabla es una representación de la línea azul de la gráfica en color rojo indicada.

En la tabla, la primera columna corresponde al número de capas resistivas obtenidas, la segunda al valor de la resistencia absoluta (en Ohm.metros) de cada capa y las siguientes corresponden al espesor de la capa (en metros), la distancia de la base de la capa desde la superficie (en metros) y la profundidad del techo de dicha capa (en metros).

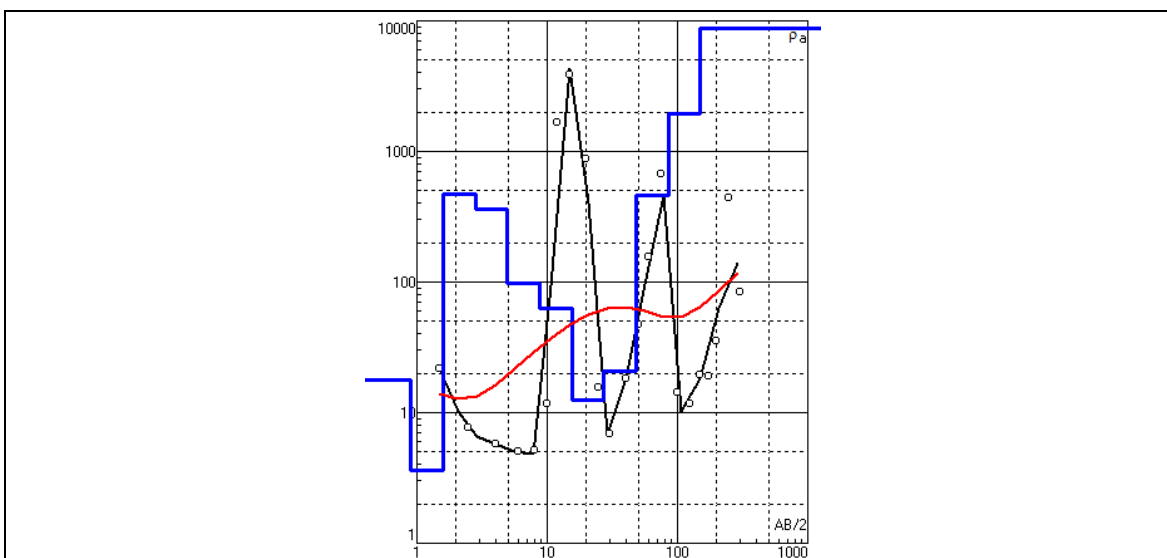
#### 5.1.1. RESULTADOS SEV 1



**Tabla 4. Resistividades absolutas generadas para el SEV 1.**

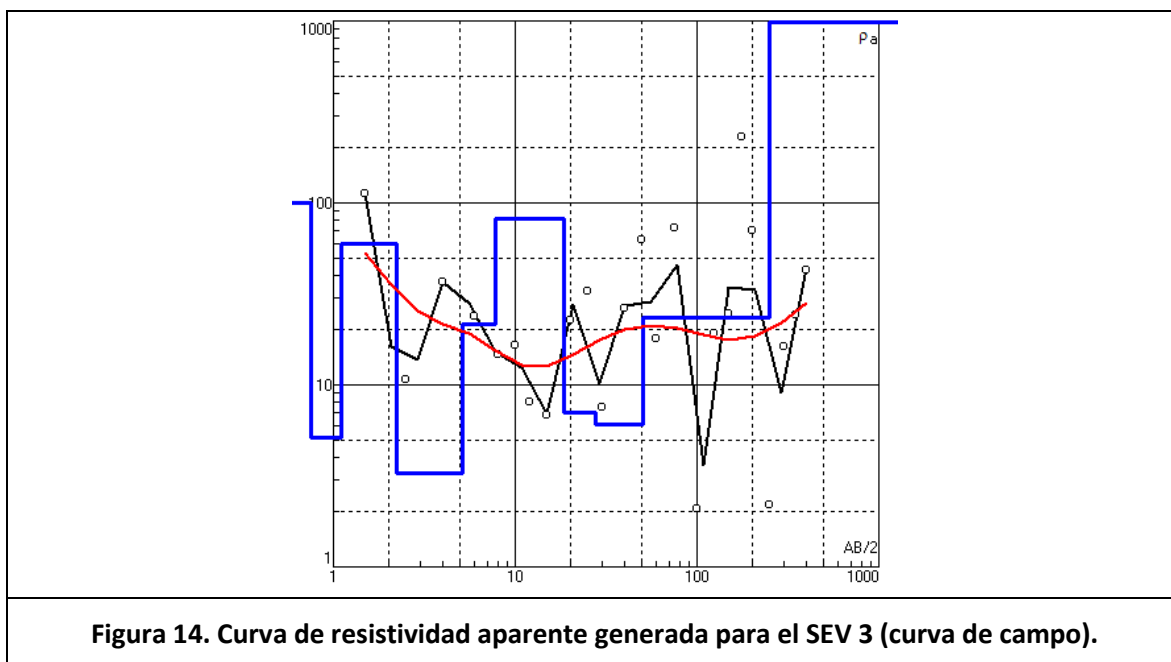
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\rho$	62.1	309	12.6	243	21	3.66	37.5	3083	63863	411
$h$	0.9	0.741	1.35	2.46	4.49	8.18	14.9	76.8	90.3	
$d$	0.9	1.64	2.99	5.45	9.94	18.1	33	110	200	
Alt	-0.9	-1.641	-2.991	-5.451	-9.937	-18.11	-33.02	-109.8	-200.1	

### 5.1.2. RESULTADOS SEV 2.


**Figura 13. Curva de resistividad aparente generada para el SEV 2 (curva de campo).**
**Tabla 5. Resistividades absolutas generadas para el SEV 2.**

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\rho$	17.8	3.64	470	365	96.8	63	12.5	21	463	1944	8714
$h$	0.9	0.689	1.22	2.15	3.79	6.69	11.8	20.9	36.8	65	
$d$	0.9	1.59	2.81	4.95	8.74	15.4	27.3	48.1	85	150	
Alt	-0.9	-1.589	-2.805	-4.953	-8.744	-15.44	-27.26	-48.12	-84.96	-150	

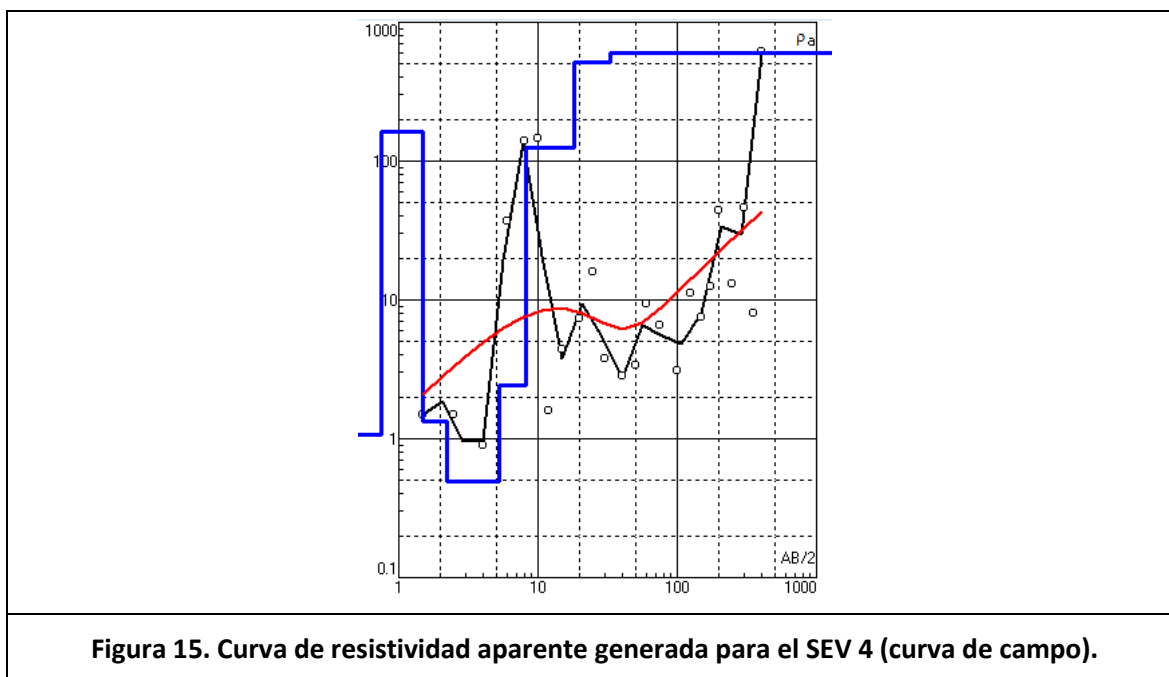
### 5.1.3. RESULTADOS SEV 3



**Tabla 6. Resistividades absolutas generadas para el SEV 3.**

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>p</b>	100	5.11	60	3.26	21.6	81.9	7.03	6.07	23.3	2268	
<b>h</b>	0.75	0.354	1.13	2.89	2.61	10.7	9.3	22.6	200		
<b>d</b>	0.75	1.1	2.23	5.13	7.74	18.5	27.8	50.3	250		
<b>Alt</b>	-0.75	-1.104	-2.234	-5.126	-7.739	-18.47	-27.77	-50.32	-250.2		

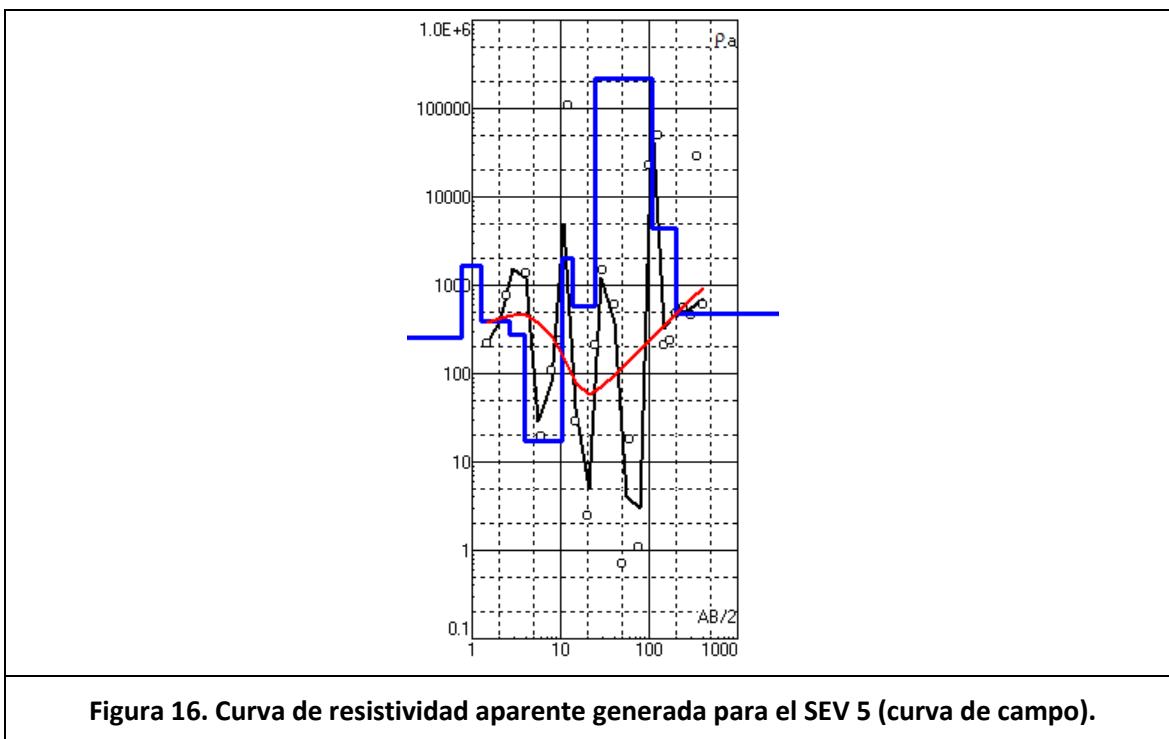
#### 5.1.4. RESULTADOS SEV 4.



**Tabla 7. Resistividades absolutas generadas para el SEV 4.**

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\rho$	1.07	163	1.35	0.497	2.44	124	520	605	605	605
h	0.75	0.724	0.732	3.06	2.92	9.93	14.9	76.7	90.3	
d	0.75	1.47	2.21	5.26	8.18	18.1	33	110	200	
Alt	-0.75	-1.474	-2.205	-5.264	-8.18	-18.11	-33.02	-109.7	-200	

### 5.1.5. RESULTADOS SEV 5



**Tabla 8. Resistividades absolutas generadas para el SEV 5.**

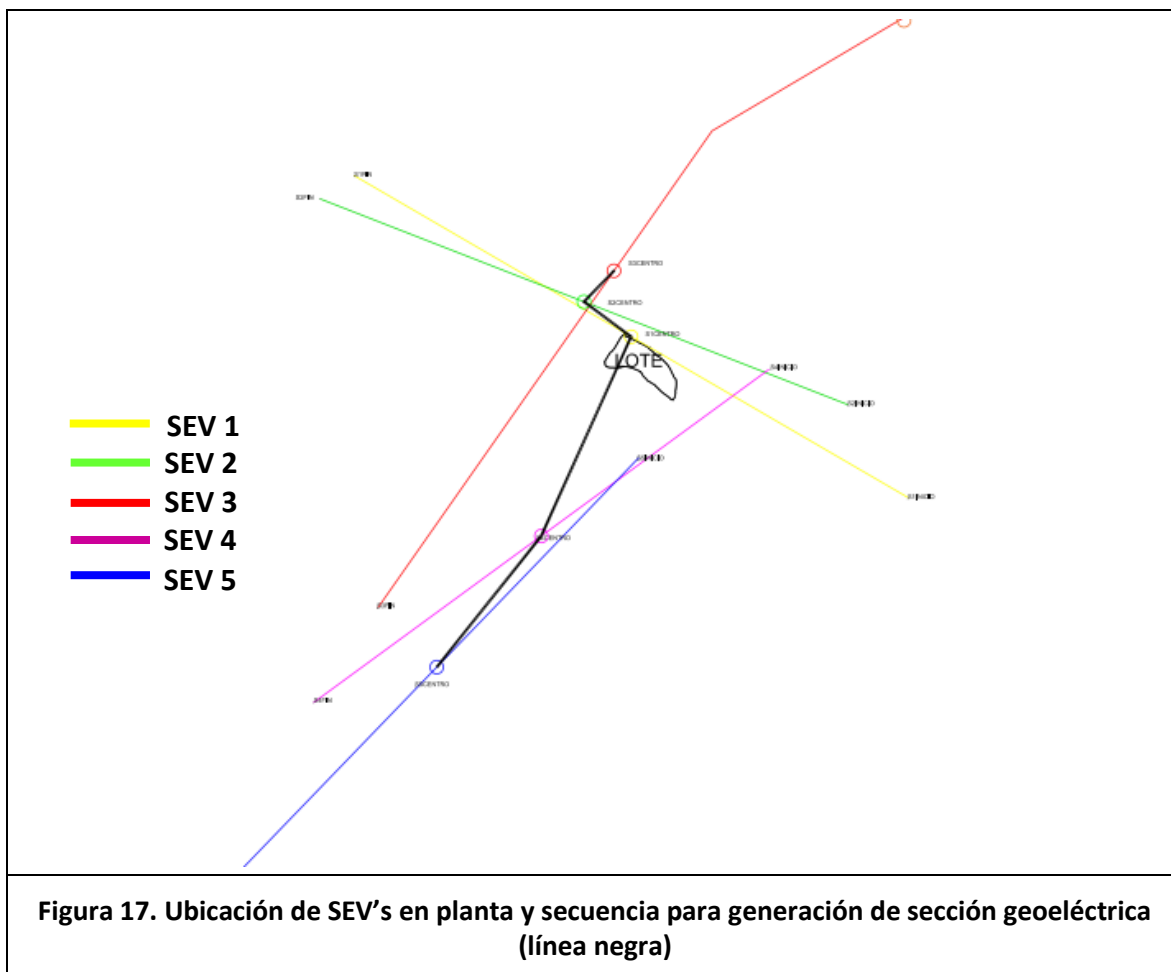
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>p</b>	252	1665	389	276	17.2	2030	582	2.2E+5	4375	475
<b>h</b>	0.75	0.53	1.42	1.16	6.73	3.09	10.8	85.3	90.3	
<b>d</b>	0.75	1.28	2.7	3.87	10.6	13.7	24.4	110	200	
<b>Alt</b>	-0.75	-1.28	-2.702	-3.866	-10.59	-13.69	-24.44	-109.7	-200	

## 5.2. SECCIÓN GEOELÉCTRICA DE LA ZONA.

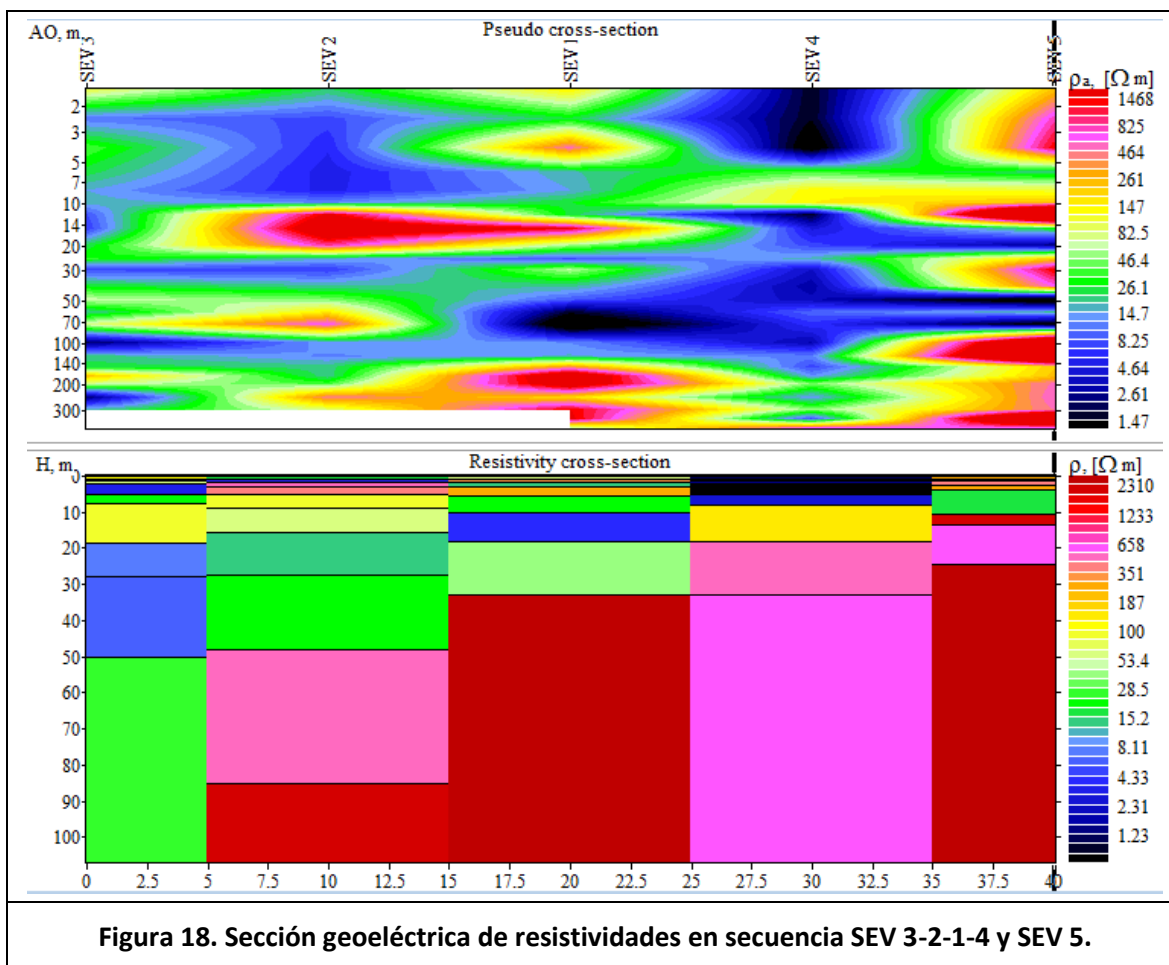
Una vez generados los perfiles que mejor se ajustaron a la información de campo y las curvas de resistividad aparente respectivas se llevó a cabo la generación de un corte o sección geoelectrica de la zona considerando los espesores y valores de resistividad calculada para cada uno de los puntos centrales de los sondeos realizados.

La sección geoelectrica comienza desde el centro del SEV3 con secuencia SEV2, SEV1, SEV4 y terminando en el SEV5.

En la Figura 17 se indica en planta la conexión de los centros de los sondeos indicados y en la Figura 18 se presenta la sección de perfiles de resistividad calculados a partir de los SEV.







De la sección de resistividades anterior, a pesar de la poca confiabilidad en los resultados por las condiciones geológicas mencionadas, se puede observar un incremento de las resistividades (colores rosa y rojo entre 350 a 2300 Ohm.m) a medida que los puntos centrales de los SEV's se alejan del lote y encontrándose a una menor profundidad.

### 5.3. ANÁLISIS.

A la luz de las curvas obtenidas en campo y la tipología que se espera obtener para una campaña geoelectrónica mediante SEV's y a pesar de tomar las medidas preventivas y control de calidad de la información capturada en campo, se pudo evidenciar que los valores presentaban alta variabilidad a pesar de realizar la secuencia de espaciamentos típica de estos ensayos geoelectrónicos.

Como se mencionó al describir la teoría alrededor de los sondeos eléctricos verticales, estos son considerados un método indirecto para la obtención de resistividades reales del subsuelo bajo el supuesto de homogeneidad lateral en los diferentes materiales geológicos objeto de estudio.

Al incorporar en los análisis de la captura de información y los resultados obtenidos de inversión de curvas de campo con porcentajes de error por encima de los límites recomendados para interpretaciones confiables, se pudo confirmar que la zona en donde se encuentra el lote para la ampliación del Centro de Desarrollo Infantil es de influencia de la falla Clemencia lo cual añade mayor variabilidad a la condición homogénea requerida para un análisis 1D considerado en un SEV.

Esta situación genera cambios significativos en el estado de los materiales y por ende una interpretación de resistividades del terreno con base a los ensayos realizados se ve limitada para obtener valores consistentes y confiables.

Las resistividades aparentes que se registraron hasta 30 m de profundidad teórica de investigación en el campo se consideran representativas de los sedimentos cuaternarios, con valores de resistividad aparente entre 1 ohm-m y 200 ohm-m.

Las fluctuaciones medidas a mayores profundidades de investigación se interpretan como el resultado del paso de la corriente por una zona de material muy fracturado formado por mezcla de rocas de la formación terciaria. Las resistividades aparentes adquiridas a estas profundidades variaron entre 200-ohm-m y 2300 ohm-m

Con el programa iPiWin se intentó construir un modelo geoelectrico acorde con el modelo geológico descrito pero fue imposible alcanzar siquiera una aproximación aceptable entre la curva de campo y la de cualquiera de los modelos probados con el programa por las razones anteriormente mencionadas.

## 6. ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO

Con base en la contextualización geológica y los resultados de mediciones de sondeos eléctricos verticales se puede conceptualizar como se detalla a continuación.

### 6.1. GEOLOGÍA.

- En el área de estudio hay un depósito cuaternario (Qcal), que cubre rocas detríticas granulares del terciario (Formación Arjona PgNga)
- La secuencia terciaria de la Formación Arjona tiene niveles finos cohesivos y horizontes granulares permeables.
- Hay una falla geológica regional post-terciaria con rumbo NE que fue cubierta por depósitos posteriores.
- Las rocas en la zona de falla están fracturadas y mezcladas.

### 6.2. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.

Por la presencia de la falla Clemencia en la zona de influencia del lote del proyecto, se considera hidrogeológicamente como una zona de recarga con las siguientes consideraciones de permeabilidad.

- **Permeabilidad primaria**

Se les asigna esta categoría a los materiales más gruesos de los depósitos cuaternarios (Qcal) y a los niveles conglomeráticos y arenosos de la formación terciaria (PgNga).

- **Permeabilidad secundaria**

Se le da esta categoría a la zona de roca fracturada de la Falla Clemencia.

- **Permeabilidad muy baja a nula**

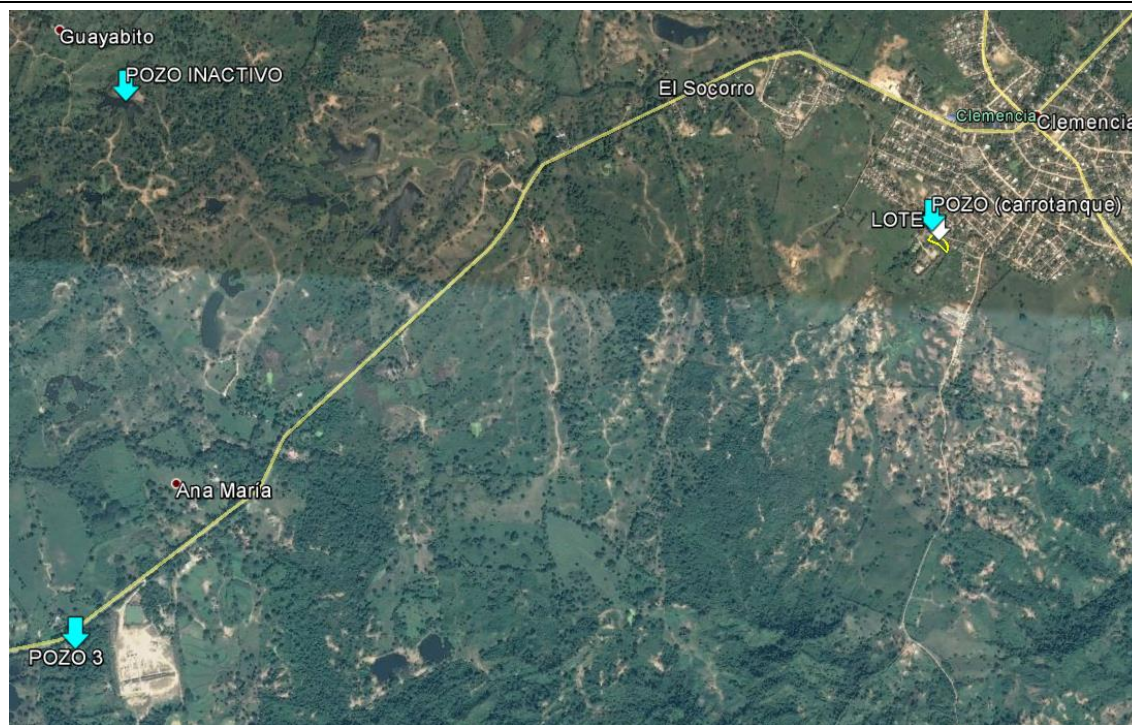
Se le da esta clasificación a los horizontes cohesivos de la formación terciaria, y a las intercalaciones limo arcillosas de los sedimentos cuaternarios.

### 6.3. POZOS EXISTENTES EN LA ZONA.

Para el análisis hidrogeológico se realizó la captación de agua de dos pozos existentes cercanos a la zona donde se localiza el proyecto, a estas muestras se les realizó los respectivos ensayos de laboratorio de acuerdo a la resolución 2115 de 2007 para determinar sus propiedades físico-químicas y bacteriológicas del agua (Ver Anexo C).

En la Figura 19, se encuentra la ubicación detallada de los pozos en Google Earth, más cercanos que contaban con las características necesarias para la captación de muestras, entre estas que no estuvieran colmatados de residuos y/o escombros que impidieran la toma de agua y que no se vieran afectados por las aguas lluvias. En la Figura 20 la ubicación de los pozos que se pudieron identificar.





**Figura 20. Ubicación de los pozos de captación de agua.**

En la Tabla 9 se presenta la información referente a la localización de dichos pozos.

**Tabla 9.Coordenadas de los pozos cercanos al proyecto.**

NOMBRE	COORDENADAS		Distancia desde el lote (m)
	ESTE	NORTE	
POZO 1	864184	1660083	1190
POZO 2	864937	1661281	2142
POZO 3	859794	1658554	3659
POZO INACTIVO	863278	1660658	3220
POZO (agua carrotanque) en Lote actual de escuela.	862989	1660346	45



A continuación se presenta un registro fotográfico de los pozos donde se tomaron las muestras de agua y de los pozos que se visitaron que no cumplían con las características necesarias para realizar los ensayos de laboratorio respectivos.



**Figura 21.Registro fotográfico Pozo 1. Profundidad aproximada 3.0m**



**Figura 22.Registro fotográfico Pozo 2. Profundidad aproximada 0.0m**



**Figura 23.Registro fotográfico Pozo 3. Profundidad aproximada 13.0m**



**Figura 24.Registro fotográfico Pozo Inactivo. Profundidad aproximada 1.0m**



**Figura 25.Registro fotográfico aljibe de escuela actual (almacenamiento de agua carrotanque).**

## 6.4. ENSAYOS DE LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS Y ANÁLISIS.

Se llevó a cabo el muestreo de agua subterránea desde los aljibes más cercanos y actualmente en uso del sector. Los resultados detallados se presentan en el Anexo C.

En condiciones estáticas de no movimiento regional hidrogeológico, el contenido iónico del agua subterránea corresponde con el tiempo de contacto y con la composición mineralógica de la roca o del sedimento que la almacena. Cuando el agua subterránea circula y se aleja de los sitios de recarga, los procesos de saturación de los diferentes aniones y cationes hacen que el fluido obtenga una composición muy diferente de la del medio físico por el que se mueve. Así, acuíferos con contenido bajo en ion cloruro y ricos en otras sales solubles, pueden originar aguas cloruradas si ha transcurrido el tiempo suficiente para captar el cloruro disponible aunque escaso, mientras que otros aniones permanecen casi constantes por estar en condición de saturación.

### 6.4.1. RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS Y BACTEREOLÓGICOS – MUESTRA 1.

#### Muestra No 1

Coordenadas:

- Norte: 1660083.
- Este: 864184.

Nivel estático:

- 3 m de profundidad.

**Tabla 10. Resultados Físico-químicos. Muestra Pozo1.**

PARÁMETRO	UNIDAD	AGUA POZO 1	V.REF (AGUA POTABLE)
pH	-	7.92	6.5-9.0
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	386.2	<200 mg/l
Cloruros (Cl)	mg/l	1095.3	<250 mg/l
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	2848	<300 mg/l
Dureza Cálrica (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	1951	<60 mg/l
Conductividad	microsim/cm2	6890	<100 microsim/cm2
Magnesio	mg/l	218	<36 mg/l
TDS	mg/l	3640	<500 mg/l
Turbidez	NTU	17.1	<2.0 NTU



**Tabla 11. Resultados Microbiológicos. Muestra Pozo1.**

PARÁMETRO	UNIDAD	AGUA POZO 1	V.REF (AGUA POTABLE)
Mesófilos Aerobios	ufc/ml	>300	<100 ufc/ml
Coliformes Totales	ufc/100ml	20000	0 ufc/100ml
Coliformes Fecales	ufc/100ml	0	0 ufc/100ml

Esta muestra fue tomada de un aljibe localizado aproximadamente a 1.0 km de distancia al este del sitio de la escuela.

Los aniones dominantes son los bicarbonatos y los cloruros, que marcan un valor alto, mayor que el límite permisible por la norma. La alcalinidad total está indicando fuerte acción de disolución del CO<sub>2</sub> y de los ácidos orgánicos sobre materiales carbonatados, así como la meteorización de feldespatos. El contenido de cloruros corresponde a una calidad de agua clasificada como salobre, bien sea por contaminación de agua de mar, o por un largo recorrido en un tiempo prolongado antes de llegar al sitio de descarga, como también lo indica el valor en el contenido de magnesio con respecto a los cloruros.

La dureza total que también es alta con relación al parámetro sanitario, es el resultado de la suma de la dureza carbonatada o dureza cálcica y las sales de otros alcalinotérreos diferentes del calcio y el magnesio, tales como el estroncio y el bario. De ser así, se puede inferir que en esta dureza total también hay aporte de procesos de disolución de sulfatos (yeso o barita).

Los altos valores de sólidos disueltos totales (que también marcan en la turbidez) y de cloruros le imprimen alta capacidad de conducción de corriente al agua de la muestra, cuyo valor también supera el valor de referencia para la potabilidad del agua. El único parámetro de potabilidad que cumple esta muestra de agua es el de pH.

Dados los anteriores resultados, el agua de esta captación no es potable porque no cumple con los parámetros de la resolución No 2125 de 2007 del Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial y por tanto, no es apta para el consumo humano.

**6.4.2. RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS Y BACTEREOLÓGICOS – MUESTRA 2.****Muestra No 2**

Coordenadas:

- Norte: 1661281.
- Este: 864937.

Nivel estático:

- 0 m de profundidad.

**Tabla 12. Resultados Físico-químicos. Muestra Pozo2.**

PARÁMETRO	UNIDAD	AGUA POZO 2	V.REF (AGUA POTABLE)
pH	-	7.58	6.5-9.0
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	316.8	<200 mg/l
Cloruros (Cl)	mg/l	41.4	<250 mg/l
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	402.4	<300 mg/l
Dureza Cálrica (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	348.8	<60 mg/l
Conductividad	microsim/cm2	944	<100 microsim/cm2
Magnesio	mg/l	13	<36 mg/l
TDS	mg/l	463	<500 mg/l
Turbidez	NTU	1.97	<2.0 NTU

**Tabla 13. Resultados Microbiológicos. Muestra Pozo2.**

PARÁMETRO	UNIDAD	AGUA POZO 2	V.REF (AGUA POTABLE)
Mesófilos Aerobios	ufc/ml	>300	<100 ufc/ml
Coliformes Totales	ufc/100ml	1800	0 ufc/100ml
Coliformes Fecales	ufc/100ml	0	0 ufc/100ml

Esta muestra fue tomada de un manantial localizado aproximadamente a 2.0 Km de distancia al noreste del sitio de la escuela.

Todos los ítems del análisis son menores que los de la primera muestra, pero solamente cumplen con la norma el pH, los cloruros, el magnesio, los sólidos disueltos totales y la turbidez. No cumplen con la norma la dureza total, la alcalinidad total, la dureza cálcica y la conductividad. Es notorio el menor contenido de cloruros que permite clasificar esta agua como dulce. El valor similar entre la alcalinidad total y la dureza cálcica supone que la disolución principal proviene de carbonatos de calcio y magnesio, y muy poco de otras sales como los sulfatos, tal como puede verse en el valor de la dureza total comparada con el valor de a dureza cálcica o carbonatada.

El agua de esta muestra no es potable por que no cumple la totalidad de los parámetros físico-químicos de resolución No 2125 de 2007 del Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, y en consecuencia no es apta para el consumo humano.

#### **6.4.3. CONSIDERACIONES PARA POTABILIZACIÓN DEL AGUA.**

Si el agua que llegare a obtenerse de una captación en el área del lote para satisfacer la demanda de la escuela, fuere de características similares a la de la muestra No 2, debería diseñarse un tratamiento doméstico previo que podría consistir en:

- Desinfección contra coliformes mediante aplicación dosificada de cloro.
- Oxigenación previamente a la entrada al tanque de almacenamiento.
- Decantación previa a la entrega en los grifos de descarga.

## 7. TRÁMITES ANTE AUTORIDADES AMBIENTALES.

Para la futura explotación de agua subterránea mediante pozos o aljibes en el lote, es necesario tramitar un permiso para prospección y exploración de aguas subterráneas.

En el Anexo E y F se detallan los procedimientos para tal fin de la siguiente manera:

### Anexo E.

- Formato Único Nacional de Solicitud de Prospección y Exploración de Aguas.

### Anexo F.

- Pasos para el permiso de prospección y exploración de aguas subterráneas.
- Procedimiento ante la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGINAL DEL CANAL DEL DIQUE (CARDIQUE) para trámite de concesión de aguas superficiales y subterráneas.
- Procedimiento para pruebas de Bombeo (CARDIQUE).
- Resolución 2115 de 2007 que rigue los requisitos de calidad de agua para consumo.

## 8. CONCLUSIONES.

La apertura AB=800m permitió alcanzar una profundidad cercana a los 100m de profundidad y para la apertura AB=600m una profundidad cercana a los 75m. La ubicación del centro de los sondeos y tendido de electrodos extremos se definió de acuerdo a las condiciones de acceso a predios y facilidad de movimiento a lo largo del arreglo.

Se pudo evidenciar que los valores presentaban alta variabilidad a pesar de realizar la secuencia de espaciamientos típica de estos ensayos geoelectricos y los procedimientos de aseguramiento de calidad de la información en campo.

Al incorporar en los análisis de la captura de información y los resultados obtenidos de inversión de curvas de campo con porcentajes de error por encima de valores recomendados para interpretaciones confiables y cruzar la información geológica regional, se pudo confirmar que la zona en donde se encuentra el lote para la ampliación del Centro de Desarrollo Infantil es de influencia de la Falla Clemencia de tipo inverso lo cual añade mayor variabilidad a la condición homogénea requerida para un análisis 1D considerado en un SEV.

La presencia de la Falla Clemencia genera cambios significativos en el estado de los materiales y por ende una interpretación de resistividades del terreno con base a los ensayos realizados se ve limitada para obtener valores consistentes y confiables.

Las resistividades aparentes que se registraron hasta 30 m de profundidad teórica de investigación en el campo se consideran representativas de los sedimentos cuaternarios, con valores de resistividad aparente entre 1 ohm-m y 200 ohm-m.

Las fluctuaciones medidas a mayores profundidades de investigación se interpretan como el resultado del paso de la corriente por una zona de material muy fracturado formado por mezcla de

rocas de la formación terciaria. Las resistividades aparentes adquiridas a estas profundidades variaron entre 200-ohm-m y 2300 ohm-m

La zona de falla puede comportarse como zona de recarga o como barrera.

El agua captada en las dos fuentes muestreadas es suministrada por el acuífero granular del depósito cuaternario regional.

Este depósito también se expone en el área de estudio, y puede estar total o parcialmente saturado.

El nivel estático del acuífero cuaternario varía (en época de lluvia como la actual) entre 0 m y 13 m de profundidad de acuerdo a los aljibes que fue posible identificar y visitar.

El agua del acuífero cuaternario no es potable, ya que no cumple la totalidad de los parámetros de la resolución No 2125 de 2007 del Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial y en consecuencia no es apta para el consumo humano, ni físico químicamente, ni bacteriológicamente.

El acuífero terciario se encuentra en los niveles conglomeráticos y arenosos, dispuestos a más de 60 m de profundidad.

## **9. RECOMENDACIONES.**

Captar el acuífero cuaternario mediante la excavación de un aljibe de 10 m de profundidad, localizado en un sitio cercano a la escuela.

Revestir la excavación con anillos de concreto de 1.5 m de diámetro, con ranuras en los últimos cuatro (4) m en profundidad.

Instalar gravilla gruesa redondeada en el espacio anular (inferior o igual a 25 cm) como filtro enfrente a la longitud de tubos ranurados y material granular no seleccionado como estabilizante frente a los tubos ciegos.

Instalar equipo de bombeo de eje horizontal con descarga en una (1) pulgada para abastecer diariamente un tanque de almacenamiento-distribución de 6000 litros (para una población de 210 personas y estimando una dotación de 30 l/usuario/día).

Como alternativa para la verificación de la existencia de nivel freático a la profundidad recomendada, se recomienda realizar una perforación en diámetro NQ (75mm) o BQ (59mm) hasta una profundidad de al menos 15m o hasta alcanzar el nivel freático estático por lo menos 2m por debajo del mismo. Para realizar dicha verificación se debe instalar tubería PVC de al menos 1" al interior de la perforación y tomar medidas en el tiempo para garantizar que el agua es freática y no corresponda a agua suministrada para la perforación. Esta alternativa permitirá evaluar con mayor precisión y ahorro de costos en caso de que a dicha profundidad no se encuentre el nivel freático esperado. Por otro lado, la recuperación de muestras en suelo y posible roca a lo largo de la

perforación permitirá obtener parámetros de ingeniería para el diseño de cimentaciones de la escuela y complemento a apiques y otros ensayos que se proyecten realizar en el lote.

Se recomienda solamente, una vez excavado y revestido el aljibe, y medido su nivel estático, bombear a un caudal constante hasta el vaciado de la captación, midiendo descensos y gasto, como también niveles y tiempo de recuperación. Lo anterior, con el fin de conocer la capacidad de suministro de la excavación vs. la demanda.

Si el agua que llegare a obtenerse de una captación en el área del lote para satisfacer la demanda de la escuela, fuere de características similares a la de la muestra No 2 estudiada, debería diseñarse un tratamiento doméstico previo que podría consistir en:

- Desinfección contra coliformes mediante aplicación dosificada de cloro.
- Oxigenación previamente a la entrada al tanque de almacenamiento.
- Decantación previa a la entrega en los grifos de descarga.

## 10. BIBLIOGRAFÍA.

Bobachev, A., Modin, I., Pervago, E., & Shevnij, V. (1996). Sondeo multielectrónico en condiciones de ambientes de sedimentación horizontal y heterogénea. En A. Bobachev, I. Modin, E. Pervago, & V. Shevnij, *Exploración Geofísica* (pág. 50). Geoinformark.

Dahlin, T. (2000). Short note on electrode charge up effects in DC resistivity data acquisition using multi-electrode arrays. *Geophysical Prospecting*, 48, 181-187.

Dahlin, T. (2001). The development of DC resistivity imaging techniques. *Computers & Geosciences*, 27, 1019-1029.

Edwards, L. (1977). A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics*, 42, 1020-1036.

Griffiths, D., & Barker, R. D. (1993). Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *J. Appl. Geophysics*, 29, 211-226.

Loke, M., & Barker, R. (1996). Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152, 449-523.

### **Páginas web:**

<http://www.cardique.gov.co/>

<http://www.anla.gov.co/permiso-prospeccion-y-exploracion-aguas-subterraneas>

**ANEXO A.**

**RESULTADOS DE MEDICIONES EN CAMPO PARA SEV'S.**





**ANEXO B**

**INTERPRETACIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES**



**ANEXO C**

**RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA MUESTRAS DE AGUA**



**GEOANDINA i SAS**

NIT 900.751.056-9

---

**ANEXO D**  
**REGISTRO FOTOGRÁFICO**



**ANEXO E.**

**FORMULARIO ÚNICO NACIONAL PARA SOLICITUD DE PROSPECCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE AGUAS  
SUBTERRÁNEAS.**



**ANEXO F.**  
**PROCEDIMIENTOS Y LEGISLACIÓN.**