

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7455

EVALUACIÓN GEOLÓGICA POR AFLORAMIENTO DE HIDROCARBUROS EN LA I.E. JOSÉ PARDO Y BARREDA DEL DISTRITO DE LA BREA

Departamento Piura
Provincia Talara
Distrito La Brea



DICIEMBRE
2023

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA POR AFLORAMIENTO DE HIDROCARBUROS EN LA
I.E. JOSÉ PARDO Y BARREDA DEL DISTRITO DE LA BREA**

Distrito La Brea, provincia Talara, departamento Piura

Elaborado por la
Dirección de Geología
Ambiental y Riesgo
Geológico del
INGEMMET

Equipo de investigación:

Briant Garcia Fernández Baca

Cesar Guevara Pillaca

Igor Valdivia Polanco

Darwin Ccalla Pilco

Jose L. Moreno Herrera

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. (2023). *Evaluación geológica por afloramiento de hidrocarburos en la I.E. José Pardo y Barreda del distrito de La Brea, Distrito La Brea, provincia Talara, departamento Piura*, Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7455, 69 p.

INDICE

RESUMEN	5
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Objetivos del estudio	6
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	7
1.3. Aspectos generales	7
1.3.1. UBICACIÓN.....	7
1.3.2. ACCESIBILIDAD	7
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	9
2.1. Unidades litoestratigráficas	9
2.1.1. Grupo Salina.....	9
2.1. Geología Estructural	11
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	13
3.1. Pendientes del terreno	13
3.2. Unidades geomorfológicas locales	13
4. METODOLOGÍA	14
4.1. Cartografiado geológico	14
4.2. Prospección geofísica	14
4.3. Estudios con monitores de gas radón	19
4.4. Estudios hidrogeológicos	22
5. RESULTADOS	23
5.1. Cartografiado geológico	23
5.2. Prospección geofísica	28
5.3. Estudios con monitores de gas radón	38
5.4. Estudios hidrogeológicos	42
6. PELIGROS GEOLÓGICOS	48
6.1. Relación de la geología con el fenómeno	48
6.2. Interpretaciones de los perfiles geofísicos.	49
6.3. Factores desencadenantes.	54
6.4. Modelo geológico del fenómeno.	55
7. CONCLUSIONES	59
8. RECOMENDACIONES	61
Referencias	62

ANEXO: PANEL FOTOGRÁFICO	64
ANEXO: MODELOS GEOFISICOS COMPLEMENTARIOS	67

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación geológica, realizados en la I.E. José Pardo y Barreda, que pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de La Brea provincia Talara, departamento Piura. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualización, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

Las unidades geológicas que afloran en la zona evaluada corresponden a rocas sedimentarias del Grupo Salina (areniscas, lutitas y conglomerados). En la zona de estudio se reconocieron fallas geológicas que representan estructuras de gran importancia en el sistema petrolero de la cuenca Talara. Las Geoformas identificadas corresponden a las de origen deposicional-tectónico-erosivo.

En la zona evaluada se han identificado afloramientos de hidrocarburos en secuencias sedimentarias, principalmente areniscas. Los afloramientos rocosos con contenido de hidrocarburos en la zona, presentan evidencias de fallamiento normal con componente de rumbo, lo que hace suponer la relación tectónica con la ocurrencia del afloramiento de hidrocarburo.

Mediante el uso de herramientas geofísicas se han reconocido las secuencias litológicas, acuíferos saturados en agua y también secuencias saturadas en hidrocarburos. Así mismo, los resultados geofísicos muestran discontinuidades sub-verticales que están relacionadas con las fallas geológicas.

En la zona de estudio se realizaron, además, monitores de gas radón para identificar fallas geológicas ocultas o cubiertas por la infraestructura local. Para estos trabajos se realizaron pruebas de permeabilidad para calibrar los resultados obtenidos con el monitor de gas radón.

Finalmente, se realizaron estudios hidrogeológicos basados en pruebas de permeabilidad en los afloramientos saturados en hidrocarburos.

Como conclusiones de este estudio se evidencia que el afloramiento de hidrocarburos está relacionado a procesos geológicos locales. Por otro lado, existen evidencias que el factor desencadenante está relacionado a la presencia de aguas superficiales y/o subterráneas con origen en las precipitaciones pluviales extraordinarias por Fenómenos del Niño o por la filtración de agua de un tanque de agua sin mantenimiento ubicado dentro del colegio.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importante que las autoridades competentes pongan en práctica, como la impermeabilización y/o remediación de suelos en la zona afectada para evitar el afloramiento de hidrocarburos.

1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud del Ministerio de Energía y Minas, según oficio N°0792-2023-MINEM-DGAAH (VV129405), en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de los eventos geológica de la Institución Educativa Jose Pardo y Barreda del distrito La Brea.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico con apoyo de especialistas geofísicos de la Dirección de Recursos Mineros y Energéticos del INGEMMET designó a los profesionales Briant García, Cesar Guevara, Igor Valdivia, Darwin Ccalla y Jose L. Moreno.

La evaluación técnica se basó en el cartografiado geológico a detalle (1:5000), prospección geofísica (tomografía eléctrica), monitoreo por gas radón y análisis hidrogeológico. Los datos obtenidos durante los trabajos de campo sus análisis e interpretaciones se presentan en el presente informe.

Este informe se pone en consideración de la Dirección General de Asuntos Ambientales de Hidrocarburos (DGAAH) del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), la municipalidad distrital de la Brea y la Municipalidad provincial de Talara), donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

Este trabajo tiene como objetivo principal:

- Realizar la evaluación geológica por afloramiento de hidrocarburos en la I.E. Jose Pardo y Barreda del distrito de la Brea en el departamento de Piura.

Además, tiene como objetivos secundarios:

- Identificar los factores condicionantes y desencadenantes del afloramiento de hidrocarburos.
- Realizar un cartografiado geológico a detalle de la zona de estudio.
- Realizar líneas de prospección geofísica para observar la geometría de los componentes geológicos en subsuelo.
- Realizar monitoreo con equipos de gas radón para identificar fallas geológicas debajo de la infraestructura local.
- Realizar estudios hidrogeológicos para analizar el comportamiento de las secuencias sedimentarias locales ante la presencia de flujos subterráneos, a través de los ensayos de infiltración.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

En el área de estudio se desarrollaron los siguientes informes con la finalidad de identificar el mismo problema:

- Resolución Ministerial N.º 191-2023-MINAM del 12 de junio de 2023, donde se Declara en Emergencia Ambiental - DEA un área geográfica de 7, 88 ha ubicada en la ciudad de Negritos, distrito La Brea, provincia Talara, departamento Piura, área en la cual se ubican seis (6) Pasivos Ambientales del Subsector Hidrocarburos – PASH de riesgo alto.
- Informe N° 00078-2023-OEFA/DEAM-SSIM (Setiembre, 2023), donde se realizó el Diagnostico de los posibles pasivos ambientales del subsector Hidrocarburos no ubicados en el área geográfica declarada en emergencia ambiental en el distrito La Brea, provincia Talara, departamento Piura.
- Informe N° 00148-2023-OEFA/DSEM (Setiembre, 2023), donde se evidencian los resultados de la supervisión ambiental referida a la emergencia ambiental reportada en el área de la Institución Educativa José Pardo y Barreda, ubicada en el distrito de Negritos, provincia de Talara, departamento de Piura.
- Informe N° 00260-2023-OEFA/ DEAM-STEM (Setiembre, 2023), donde se hace entrega los resultados de la Evaluación Ambiental Focal de la calidad del aire en el marco de la declaratoria en emergencia ambiental (DEA) en la institución educativa José Pardo y Barreda (FO0052), distrito de La Brea, provincia Talara, departamento Piura, del 30 de junio al 31 de julio de 2023.
- Informe N° 00095-2019-OEFA/ DEAM-SSIM (2023), donde se hace entrega los resultados de la Evaluación ambiental en el ámbito de la institucion educativa «José Pardo y Barreda» ubicado en el distrito de La Brea, provincia de Talara, departamento de Piura.

1.3. Aspectos Generales

1.3.1. Ubicación

La zona evaluada corresponde a la I.E. José Pardo y Barreda y alrededores, que pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de La Brea provincia Talara, departamento Piura (Figura 1), en las coordenadas UTM (WGS84) N9485398.67 y E466081.98.

1.1.1. Accesibilidad

A la zona se puede acceder desde INGEMMET a través de las siguientes rutas:

Cuadro 1. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Talara – La Brea	Aérea - terrestre	980	1.5 horas
Lima –La Brea	Terrestre	1140	19 horas



Figura 1. Mapa de ubicación de la I.E. José Pardo y Barreda (Zona a evaluar).

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base el Boletín de la carta geológica Paita, Piura, Talara, Sullana, Lobitos, Quebrada. Seca, Zorritos, Tumbes, Zarumilla. Hojas: 11-a, 11-b, 10-a, 10-b, 9-a, 9-b, 8-b, 8-c, y 7-c – [Boletín A 54] del INGEMMET. Sin embargo, debido a la alta complejidad de la zona de estudio se revisó también los estudios realizados por Aylas (2021), Higley (2004), Bianchi (2002) Gonzales Torres (1999), Gonzales y Alarcon (2002), Raez (1999), Sebrier et al. (1988), Seranne (1987) y Lajo et al. (2022).

La geología se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona inspeccionada y alrededores son de origen sedimentario. Localmente se han identificado depósitos marinos y aluviales.

2.1.1. Grupo Salina

La secuencia sedimentaria del Eoceno en la Cuenca Talara comienza con la deposición de sedimentos silicoclasticos del Grupo Salina dividido en las Formaciones Basal Salina, San Cristóbal, Mogollón, Ostrea-Palegreda, Pariñas y Chacra.

La secuencia del Eoceno inferior inicia con la deposición de areniscas con canales conglomerádicos de la Formación Basal Salina. Sobreyace a la anterior la Formación San Cristóbal compuesto por conglomerados y areniscas rojas. La Formación Mogollón presenta en su localidad tipo secuencias de areniscas gruesas intercalado con niveles delgados de lutitas y canales conglomeradicos. Serrane (1987) interpretó esta secuencia como un sistema fluvial anastomazado de alta energía.

La Formación Ostrea Palegreda definido inicialmente por Bosworth (1922), sobreyace a la Formación Mogollón y está compuesta de secuencias lutáceas en su mayoría intercalado con secuencias más gruesas de areniscas. Serrane. (1987) interpreta esta secuencia como un sistema fluviodeltaico. Diferentes autores han estudiado la Formación Pariñas por ser importante como roca reservorio, está compuesta de areniscas y conglomerados y pertenecería a un medio estuarino (Bosworth1992). La Formación Chacra es correlacionable por algunos autores con la Formación Echinocyamus y otros con la Formación Clavel, está compuesta de lutitas margosas depositadas en un ambiente poco profundo.

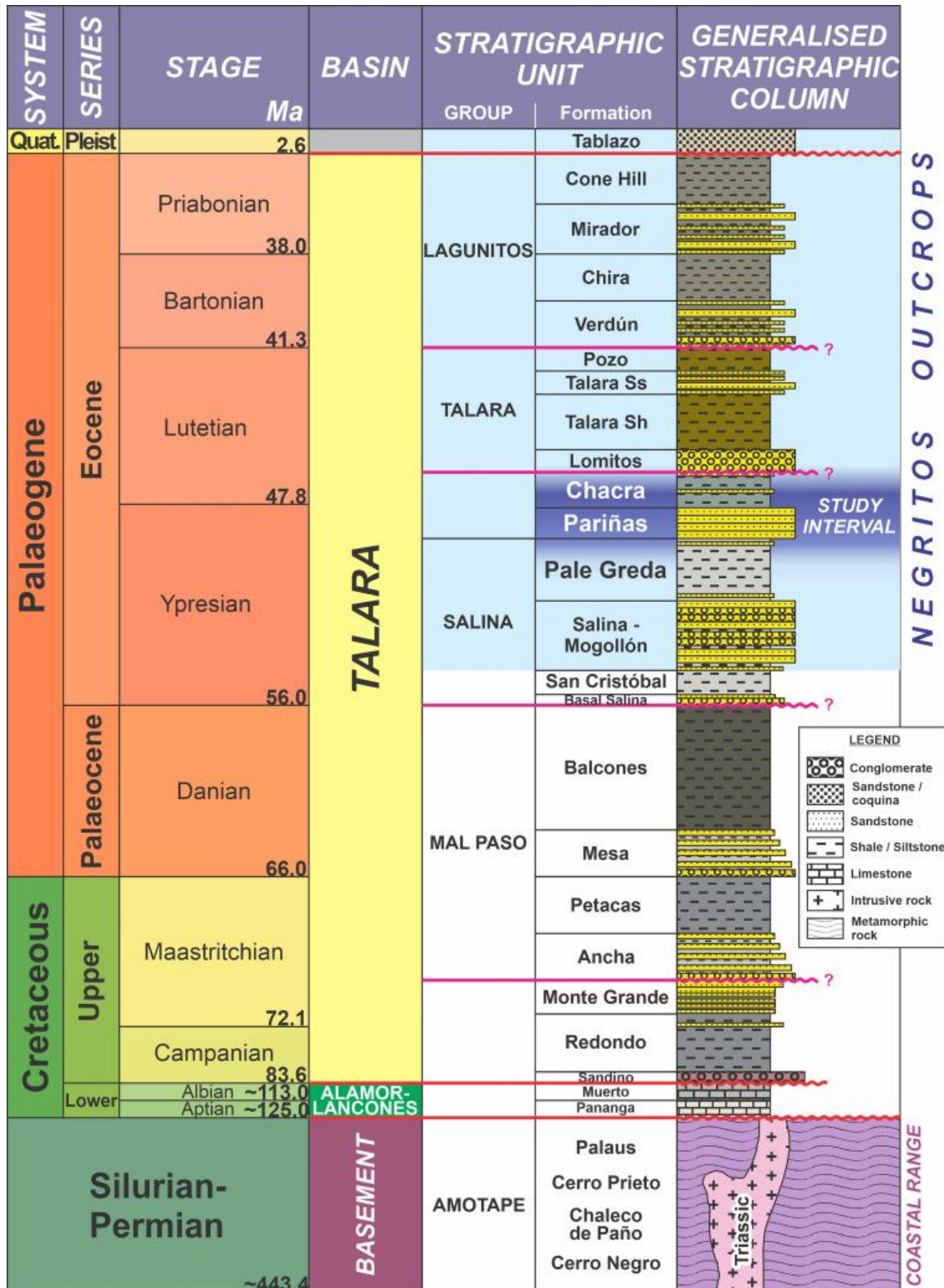


Figura 2. Estratigrafía de la Cuenca Talara en el área de Negritos (Tomado de Lajo et al., 2022)

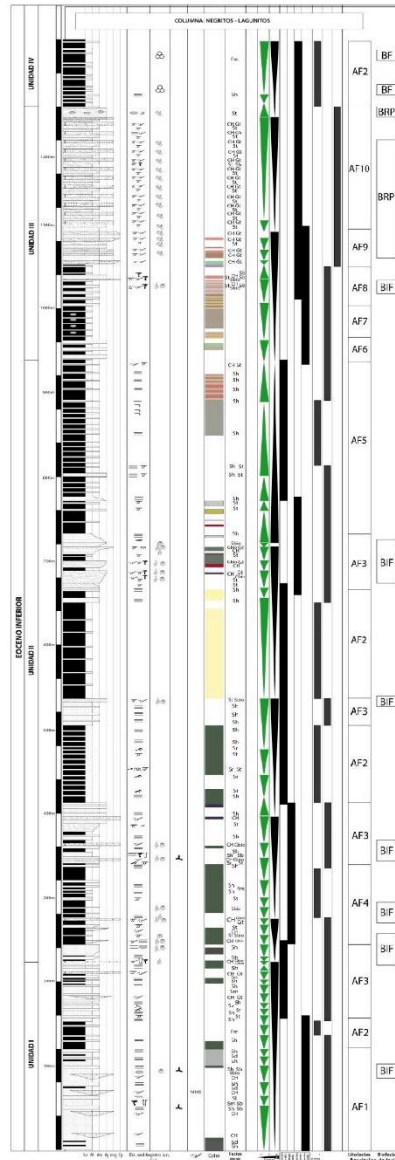


Figura 3. Columna estratigráfica del Grupo Salina realizada entre Negritos y Lagunitos (Tomado de García et al, 2014)

2.2. Geología estructural

Los estudios y trabajos realizados por empresas privadas y el INGEMMET a nivel regional muestran grandes fallas regionales como la falla Huaypirá, la cual tiene una dirección E-W.

Sin embargo, en un marco más local, las empresas privadas dedicadas a la industria petrolera han reconocido estructuras con direcciones N-S, NO-SE y NE-SO en la zona de estudio (Figura 4).

El comportamiento cinemático de estas estructuras es normal con componente de rumbo tipo sinistral en la mayoría de los casos. Según información proporcionada por la empresa SAVIA se infiere una estructura relativamente profunda con orientación N-S al

este de Negritos, al borde la ciudad. Así mismo resalta un segmento de falla con orientación NE-SO reconocido por Lajo et al. (2022) (Figura 4).

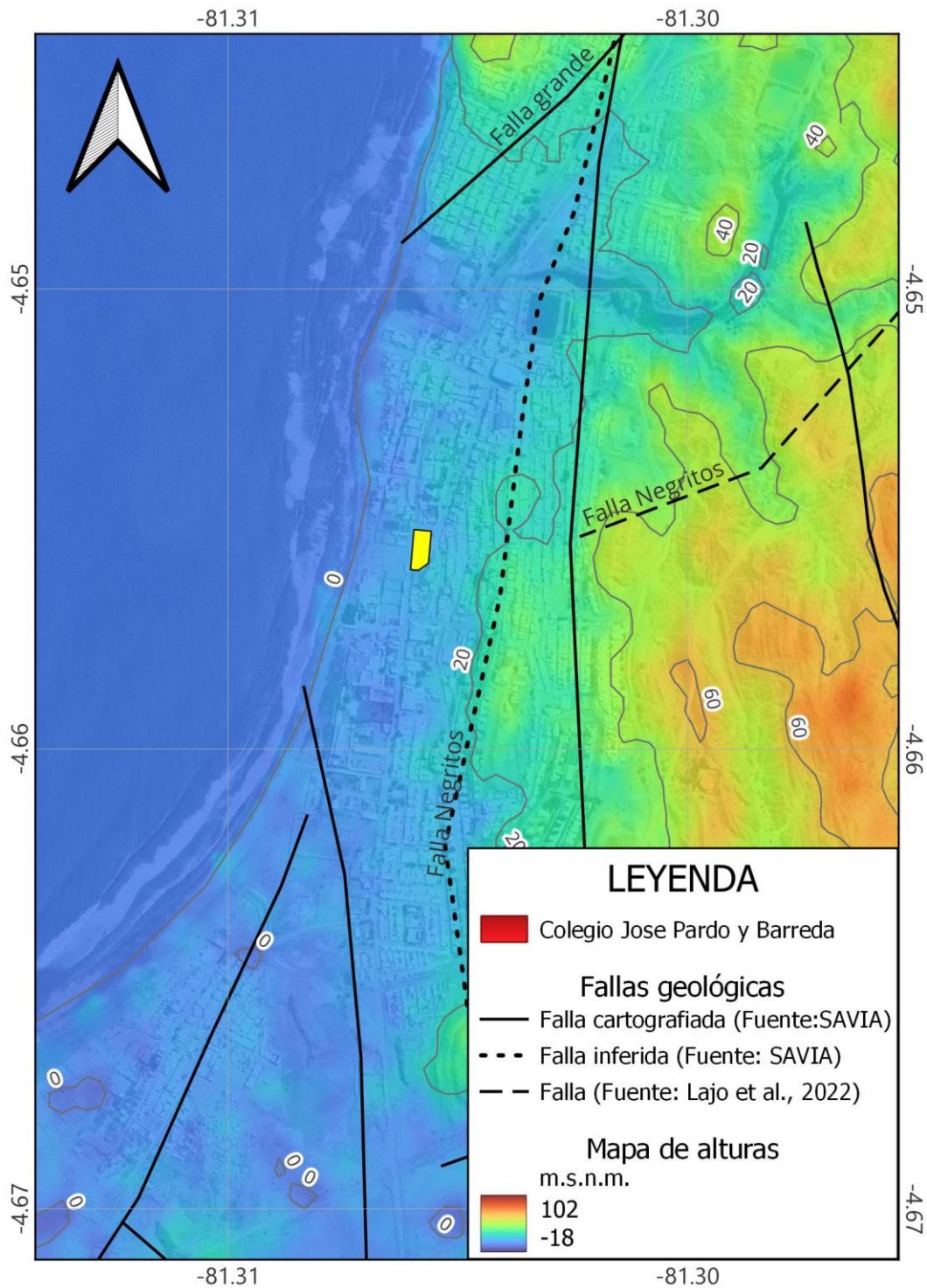


Figura 4. Mapa estructural local en la ciudad de Negritos (La Brea).

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

Los rangos de pendiente promedio en la zona inspeccionada van de rangos de terrenos llanos a inclinados suavemente (1° - 5°) a terrenos moderadamente inclinados (12°).

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación.

3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

La zona de estudio se encuentra emplazada sobre la siguiente geoforma local:

A) Terraza marina o terraza litoral

Esta zona corresponde a una superficie más o menos plana y horizontal que se presenta a lo largo de la costa a diferentes alturas por sobre el nivel del mar. Se genera por la erosión. Proceso que comprende el desgaste de las rocas y sedimentos debido a la acción del agua, el viento. Leer marina de la costa y, por lo general, se encuentra cubierta por sedimentos. A veces se presenta más de una terraza, disponiéndose en forma escalonada en la zona litoral. Esta forma del terreno debe su exposición por sobre el nivel del mar a dos procesos diferentes: variaciones del nivel del mar o alzamiento debido al empuje de las fuerzas tectónicas (Tejada, 1994).

4. METODOLOGÍA DE LOS ESTUDIOS

4.1. Cartografiado Geológico

El cartografiado geológico se realizó usando el aplicativo Field Move en una tableta Ipad Pro 3 de la marca Apple.

Para el cartografiado se consignó los siguientes datos:

- Rumbos y buzamientos de estratos y/o capas geológicas.
- Rumbos y buzamientos de fallas y fracturas.
- Descripción litológica.
- Fotografiado 2D y 3D del afloramiento rocoso.

Todos los datos fueron georeferenciados en la imagen satelital de la zona (Figura 5).

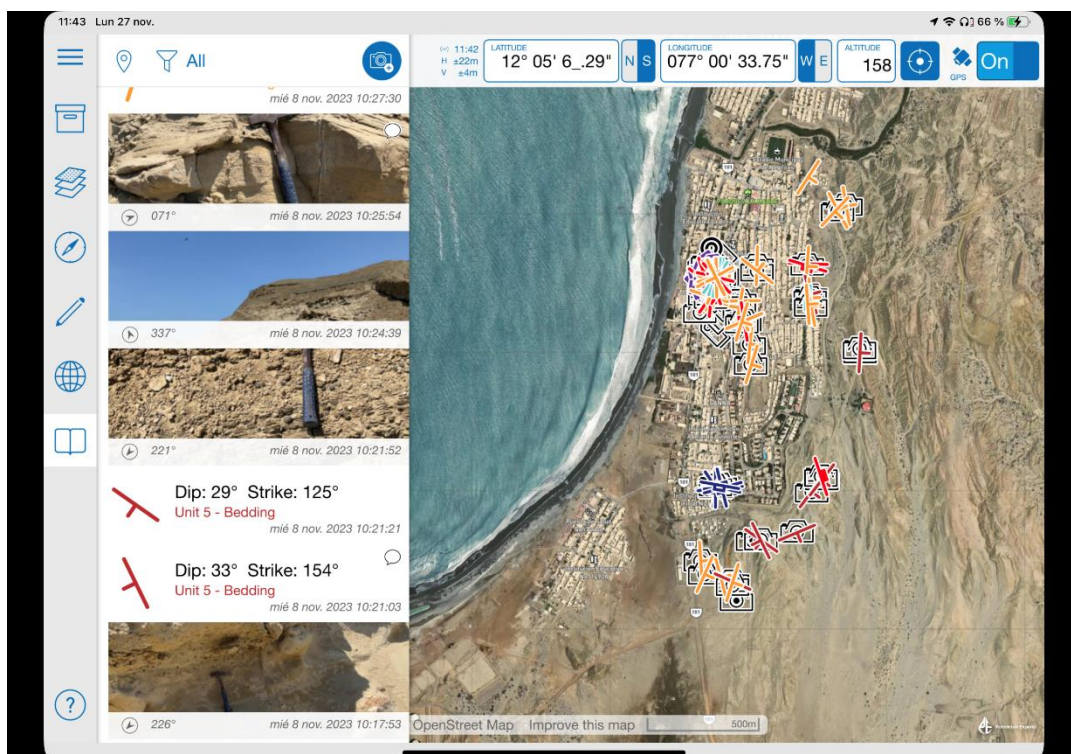


Figura 5. Screenshot del aplicativo Fieldmove donde se alojaron todos los datos de campo.

Como parte de las actividades del cartografiado geológico también se realizó el fotologueo 3D de las calicatas realizadas previamente para el análisis estratigráfico-secuencial de los afloramientos rocosos. Esto se generó con el aplicativo 3D Scanner App en el mismo dispositivo móvil.

Por otro lado, se realizaron mediciones de fallas usando el aplicativo móvil Faultkin mobile.

4.2. Prospección geofísica

4.2.1. Estudio de Resistividad Eléctrica

El estudio geofísico de Resistividad Eléctrica (TE) fue conducido por personal de la Actividad GEOF. Previamente en gabinete se platearon 5 líneas de adquisición, ubicadas

en los alrededores e interior de la I.E José Pardo y Barreda. En la cual se cubrió un total de 973.29 m lineales.

Los trabajos geofísicos de campo tuvieron un control de calidad bueno, procurando ser estrictos con las distancias entre las estaciones, los valores de inducción de corriente estables, y la repetición de las lecturas.

4.2.2. Equipos de resistividad eléctrica

Para realizar el presente estudio se utilizaron los siguientes instrumentos y accesorios que se describen en la Tabla N° 1.

Tabla N 1. Instrumentos y accesorios para aplicar el método de Resistividad eléctrica.

Cantidad	Instrumentos y accesorios
1	Receptor de marca Iris Intrumests, Modelo Elrec Pro - 10 canales.
1	Transmisor de marca Instrumentation GDD, Modelo TxII 5000W.
1	Generador eléctrico de marca Honda, Modelo invertir EU20i
40	Electrodos de corriente
30	Rollos de cable cada uno de 100 metros

El Receptor es un dispositivo electrónico que mide y además registra las propiedades de los materiales presentes en el subsuelo como la resistividad, para luego con ayuda de una computadora y el software apropiado descargar y analizar la data obtenida.

El transmisor GDD TXII es un dispositivo electrónico robusto, su funcionamiento se basa en la inyección de una corriente eléctrica en el subsuelo para generar un campo eléctrico. El Transmisor es conectado directamente a una fuente de potencia de 240VAC, tal como un motor generador eléctrico. En la Figura 1 se muestra ambos equipos, el equipo receptor y transmisor utilizados para la adquisición de datos en el estudio geofísico. En la Tabla N° 2 y Tabla N° 3 se muestra las características de los equipos utilizados por la brigada de geofísica para poder realizar el estudio geofísico de campo.



Figura 6. a) Equipo receptor GRx8-32; b) Equipo transmisor GDD TxII 5000 W.

Tabla N° 2 Características del Transmisor

Transmisor Instrumentation GDD, Modelo TxII 5000W:	
Peso	Transmisors/caja 50 kg
Dimensiones (incluye accesorios y caja)	35 x 52 x 70 cm
Rango de temperatura	-40 C° a 65 C° (-40F a 150F)
Base de tiempo	2s ON+, 2s OFF, 2s ON, DC,1,2,4,8 T 16 segundos
Corriente de salida	0.030 A 10 A (funcionario normal) Máximo de 5ª en modo de la C.C.
Tensión de salida	150V a 240V / 14 pasos
Fuente de alimentación	Estándar de 220-240V/50-60Hz

Tabla N° 3 Características del receptor

Receptor: Modelo GRx8-32, Marca Instrumentation GDD	
Voltaje de Entrada	Max. Voltaje de entrada: 15 V.
Protección	Hasta 800V
Tension de Medicion	Precision: 0,2%
Resolucion	1 mV valor mínimo:1 Mv
Duración de pulso	1s, 2s, 4s, o 8s
Canales	32 entradas
Impedancia de entrada:	100 MOhmios
Voltaje de entrada:	15V, ganancia automática, protección de entrada 1000V
Peso	6.4 Kg
Temperatura de funcionamiento:	-20 to +70°C

4.2.3. Equipos de resistividad eléctrica

Los parámetros de adquisición se detallan en la Tabla 4. Después de la planificación de los trabajos de prospección geofísica en gabinete, se realizó la recolección en las avenidas adyacentes y espacios interiores de la I.E. Jose Pardo y Barreda, esto consistió en un conjunto de mediciones realizadas a lo largo de líneas conformadas por diferente número de estaciones, considerando una distancia entre ellas de 10 m. La cobertura total del estudio fue de 973.29 m lineales, distribuidos en 05 líneas (Ver Tabla 5).

Tabla N° 4. Parámetros de adquisición

Parámetros	Modo de adquisición
Mediciones	Dominio de Tiempo
Configuración de electrodos	Polo Dipolo
Distancia del dipolo	10 m
Espaciamiento entre líneas	Variable. Min; 12.5 m Max: 35 m
Parámetros adquiridos	Intensidad de Corriente (I en miliamperios) y Diferencia de potencial (En milivoltios)
Parámetro calculado	Resistividad eléctrica aparente (□aparente)
niveles	N=20
Profundidad (Aprox.)	Min; 3 m Max: 80 m
Nro. de repeticiones	01/02 lecturas por punto

La disposición de las líneas en el terreno se muestra en la Figura 2 así también las coordenadas inicial y final en la Tabla N° 5

Tabla N° 5. Coordenadas inicial y final de las líneas geofísicas.

Línea	Coordenada Este UTM 17S	Coordenada Norte UTM 17S	Elevación (m.s.n.m)	Estación	Distancia (m)
L1	466119.509	9485466.524	15.797	-20	234.35
L1	466088.254	9485234.27	15.066	220	
L2	466135.533	9485360.839	21.748	-10	178.03
L2	465957.818	9485371.498	14.995	170	
L3	466152.139	9485420.406	18.865	-10	195.25
L3	465958.01	9485399.469	15.093	190	
L4	466089.648	9485447.349	15.352	-20	142.92
L4	466065.222	9485306.527	15.36	130	
L5	466067.66	9485474.47	15.423	-20	222.72
L5	466041.783	9485253.254	14.299	210	
Distancia Total (m)					973.29

4.2.4. Procesamiento de datos geofísicos

El control de calidad fue realizado para verificar las posiciones correctas de los electrodos, verificar los valores de intensidad de corriente de cada lectura y ver las curvas de caída de voltaje, para ello se empleó el software Oasis Montaj de Geosoft, para mostrar los datos y sus parámetros (módulo de QC IP Data, 2016).

Después de una inspección visual a los datos, estos fueron filtrados y separados, de aquellos que poseían una alta correspondencia señal/ruido.

Seguidamente los archivos son exportados en formato “.DAT” luego realizar las inversiones 2D. Así como los acabados finales después de la inversión respectiva. Las inversiones de los datos se realizaron con los programas RES2DINV de Geotomo software.

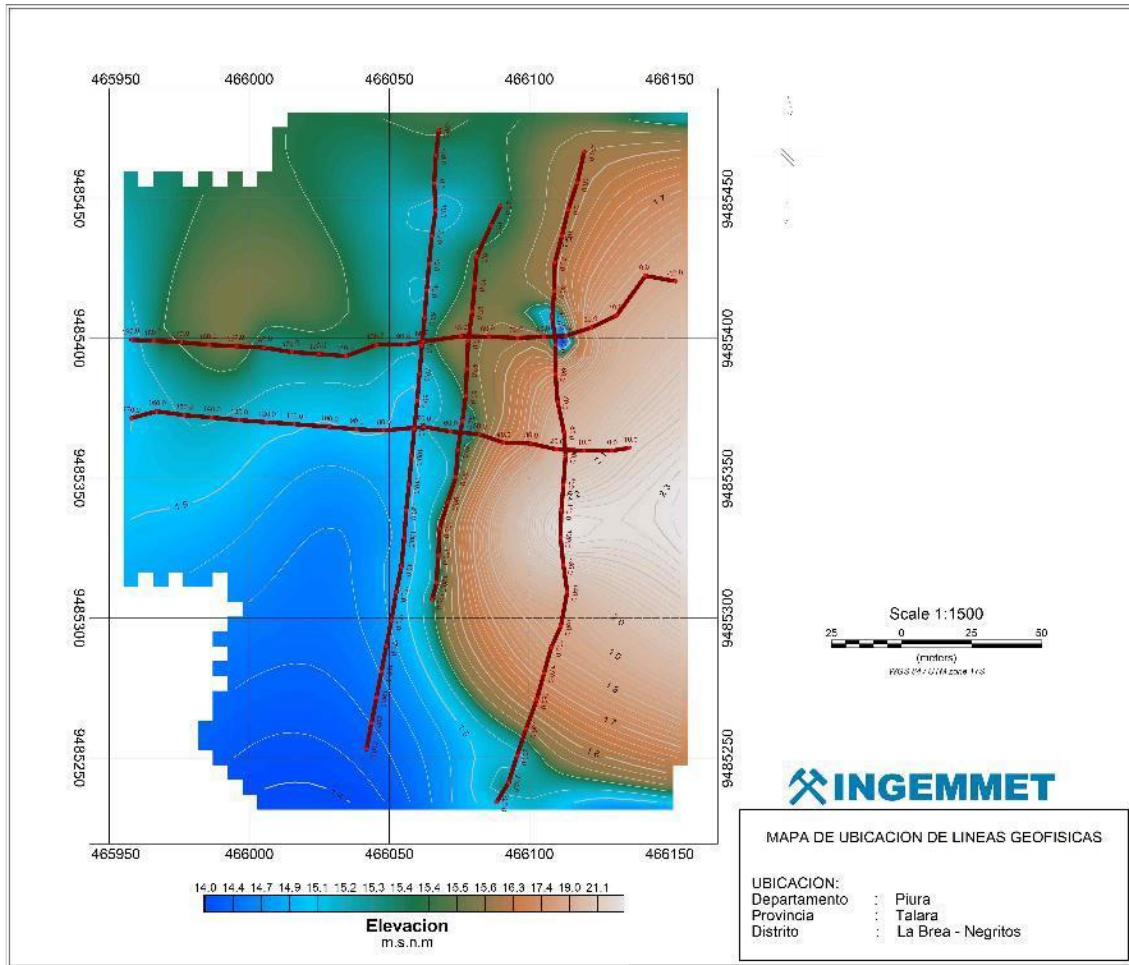


Figura 7. Ubicación de las líneas geofísicas.

L1.D	X	Y	Z	IP	IP Avg	N	T1Y	R1Y	R2Y	Vp	I	Sp	QC IP	QC Res	Type	IP Index	IP Mask	Tx2	ResCalc	MF	Stn
0.0	1.00	-5.00	-5.00	1.7	1.00	-10.0	0.0	10.0	10.3	0.490	40.0	1	1	0	22	**	2.6	652.6	-5.00		
1.0	1.00	0.00	-10.00	2.1	2.00	-10.0	10.0	20.0	3.6	0.490	12.8	1	1	0	23	**	2.8	752.1	0.00		
2.0	1.00	5.00	-15.00	2.9	3.00	-10.0	20.0	30.0	1.7	0.490	10.8	1	1	0	24	**	2.6	1144.5	5.00		
3.0	1.00	10.00	-20.00	18.5	4.00	-10.0	30.0	40.0	1.0	0.490	135.4	1	1	0	25	**	2.6	7003.2	10.00		
4.0	1.00	15.00	-25.00	7.8	5.00	-10.0	40.0	50.0	0.9	0.490	-24.2	1	1	0	26	**	3.3	2318.5	15.00		
5.0	1.00	20.00	-30.00	30.6	6.00	-10.0	50.0	60.0	0.7	0.490	-115.0	1	1	0	27	**	3.5	8745.6	20.00		
6.0	1.00	25.00	-35.00	142.9	7.00	-10.0	60.0	70.0	0.3	0.490	97.1	1	1	0	28	**	2.5	56874.6	25.00		
7.0	1.00	30.00	-40.00	272.9	8.00	-10.0	70.0	80.0	0.3	0.490	-129.7	1	1	0	29	**	3.2	84443.3	30.00		
8.0	1.00	35.00	-45.00	93.0	9.00	-10.0	80.0	90.0	0.3	0.490	62.4	1	1	0	30	**	2.9	32237.8	35.00		
9.0	1.00	40.00	-50.00	53.8	10.00	-10.0	90.0	100.0	0.2	0.490	-26.1	1	1	0	31	**	2.8	19081.0	40.00		
10.0	1.00	45.00	-55.00	46.4	11.00	-10.0	100.0	110.0	0.1	0.490	-29.1	1	1	0	32	**	2.4	19570.8	45.00		
11.0	1.00	50.00	-60.00	48.1	12.00	-10.0	110.0	120.0	0.1	0.490	-48.9	1	1	0	33	**	2.2	21868.8	50.00		
12.0	1.00	55.00	-65.00	114.3	13.00	-10.0	120.0	130.0	0.1	0.490	55.7	1	1	0	34	**	2.3	48988.9	55.00		
13.0	1.00	60.00	-70.00	56.2	14.00	-10.0	130.0	140.0	0.1	0.490	-48.7	1	1	0	35	**	3.5	16061.7	60.00		
14.0	1.00	65.00	-75.00	-74.4	15.00	-10.0	140.0	150.0	0.1	0.490	1.7	1	1	0	36	**	3.4	-21978.7	65.00		
15.0	1.00	70.00	-80.00	516.1	16.00	-10.0	150.0	160.0	0.1	0.490	81.5	1	1	0	37	**	2.1	246610.9	70.00		
16.0	1.00	75.00	-85.00	577.0	17.00	-10.0	160.0	170.0	0.1	0.490	-44.8	1	1	0	38	**	5.5	105044.8	75.00		
17.0	1.00	80.00	-90.00	167.8	18.00	-10.0	170.0	180.0	-0.0	0.490	56.9	1	1	0	39	**	1.8	95683.3	80.00		
18.0	1.00	85.00	-95.00	240.3	19.00	-10.0	180.0	190.0	0.1	0.490	-53.4	1	1	0	40	**	6.3	37935.2	85.00		
19.0	1.00	90.00	-100.00	174.2	20.00	-10.0	190.0	200.0	0.0	0.490	0.9	1	1	0	41	**	2.2	90857.5	90.00		
20.0	1.00	95.00	-105.00	716.1	21.00	-10.0	200.0	210.0	0.1	0.490	25.8	1	1	0	42	**	3.0	241768.7	95.00		
21.0	1.00	100.00	-110.00	59.9	22.00	-10.0	210.0	220.0	0.0	0.490	56.1	1	1	0	43	**	2.6	23078.5	100.00		
22.0	1.00	5.00	-5.00	2.5	1.00	0.0	10.0	20.0	7.8	0.400	11.4	1	1	0	44	**	2.5	1010.6	5.00		
23.0	1.00	10.00	-10.00	2.5	2.00	0.0	20.0	30.0	2.5	0.400	10.9	1	1	0	45	**	2.3	1076.3	10.00		
24.0	1.00	15.00	-15.00	-10.3	3.00	0.0	30.0	40.0	1.4	0.400	130.3	1	1	0	46	**	2.5	-4035.9	15.00		
25.0	1.00	20.00	-20.00	22.5	4.00	0.0	40.0	50.0	1.0	0.400	-27.9	1	1	0	47	**	3.1	7230.0	20.00		
26.0	1.00	25.00	-25.00	6.3	5.00	0.0	50.0	60.0	0.6	0.400	-104.1	1	1	0	48	**	2.6	2442.3	25.00		
27.0	1.00	30.00	-30.00	10.1	6.00	0.0	60.0	70.0	0.4	0.400	89.5	1	1	0	49	**	2.6	3928.7	30.00		
28.0	1.00	35.00	-35.00	33.6	7.00	0.0	70.0	80.0	0.2	0.400	-121.7	1	1	0	50	**	1.7	20079.0	35.00		
29.0	1.00	40.00	-40.00	18.5	8.00	0.0	80.0	90.0	0.3	0.400	59.8	1	1	0	51	**	3.1	6043.0	40.00		
30.0	1.00	45.00	-45.00	-9.1	9.00	0.0	90.0	100.0	0.1	0.400	-27.5	1	1	0	52	**	2.1	-4287.3	45.00		
31.0	1.00	50.00	-50.00	12.9	10.00	0.0	100.0	110.0	0.1	0.400	-25.8	1	1	0	53	**	1.9	6791.6	50.00		
32.0	1.00	55.00	-55.00	20.7	11.00	0.0	110.0	120.0	0.1	0.400	-50.3	1	1	0	54	**	1.7	12488.2	55.00		
33.0	1.00	60.00	-60.00	19.0	12.00	0.0	120.0	130.0	0.1	0.400	55.6	1	1	0	55	**	2.5	7765.7	60.00		
34.0	1.00	65.00	-65.00	2.2	13.00	0.0	130.0	140.0	0.1	0.400	-43.7	1	1	0	56	**	2.6	806.3	65.00		
35.0	1.00	70.00	-70.00	-162.4	14.00	0.0	140.0	150.0	0.1	0.400	-0.8	1	1	0	57	**	2.6	-61532.0	70.00		
36.0	1.00	75.00	-75.00	-125.3	15.00	0.0	150.0	160.0	0.1	0.400	73.3	1	1	0	58	**	3.4	-36927.5	75.00		
37.0	1.00	80.00	-80.00	-305.6	16.00	0.0	160.0	170.0	0.1	0.400	14.2	1	1	0	59	**	3.4	-89404.9	80.00		
38.0	1.00	85.00	-85.00	29.8	17.00	0.0	170.0	180.0	0.0	0.400	-50.0	1	1	0	60	**	0.0	*	85.00		
39.0	1.00	90.00	-90.00	0.0	18.00	0.0	180.0	190.0	0.1	0.400	1.2	1	1	0	61	**	2.7	13.2	90.00		
40.0	1.00	95.00	-95.00	-99.4	19.00	0.0	190.0	200.0	0.0	0.400	1.1	1	1	0	62	**	2.4	-41625.3	95.00		
41.0	1.00	100.00	-100.00	125.8	20.00	0.0	200.0	210.0	0.1	0.400	23.0	1	1	0	63	**	3.8	38134.1	100.00		
42.0	1.00	105.00	-105.00	-22.4	21.00	0.0	210.0	220.0	0.1	0.400	46.9	1	1	0	64	**	4.4	-5141.1	105.00		
43.0	1.00	15.00	-15.00	3.6	1.00	10.0	20.0	30.0	28.3	1.500	8.8	1	1	0	65	**	2.4	1524.2	15.00		
44.0	1.00	20.00	-20.00	1.9	2.00	10.0	30.0	40.0	10.9	1.500	137.4	1	1	0	66	**	2.7	694.9	20.00		

Figura 8. Visualización de datos en el software Prosys II.

4.2.5. Procesamiento de inversión de datos geofísicos de resistividad eléctrica

Todo método de inversión procura determinar un modelo idealizado del subsuelo que esté de acuerdo con los parámetros medidos y que esté sujeto a ciertas restricciones. El método de inversión 2D que utiliza el programa RES2DINV emplea los valores de resistividad aparente asignados a un modelo en celdas obtenidos a través de un desarrollo de elementos finitos, con la finalidad de obtener un modelo de resistividades reales.

La inversión 2D se realizó con el algoritmo RES2DINV de Geotomo, este software utiliza la metodología de suavizado por ajuste de mínimos cuadrados, desarrollado por Loke & Barker (1996) que permite visualizar la subsuperficie y el análisis vertical en profundidad.

4.3. Estudios con monitores de gas radón

4.3.1. Medición de concentración de gas radón en suelo

El radón es un gas radiactivo natural que se produce en la corteza terrestre debido a la desintegración de átomos de radio y se libera hacia la atmosfera migrando por difusión y advección a través del suelo (Chen et al., 2018). Es un gas noble y químicamente inerte que puede ser detectable en el aire, el suelo y aguas subterráneas (Papastefanou et al., 2002). El estudio de los isotopos de radón en el aire del suelo puede revelar fallas geológicas que no son claramente visibles en la superficie (Neri et al., 2011). En la Figura 6a se presenta un esquema del origen de radón en una zona que no presenta falla y en la Figura 6b se muestran las fracturas (líneas amarillas) producidas por la actividad de la falla que favorecen la emisión y transporte del radón (líneas rojas). Por lo tanto, el radón que normalmente se encuentra en el suelo se transporta con facilidad en las zonas de fallas debido a su permeabilidad. Por lo que, resulta importante realizar mediciones simultáneas de la concentración del radón en el suelo y su grado de permeabilidad a este gas.

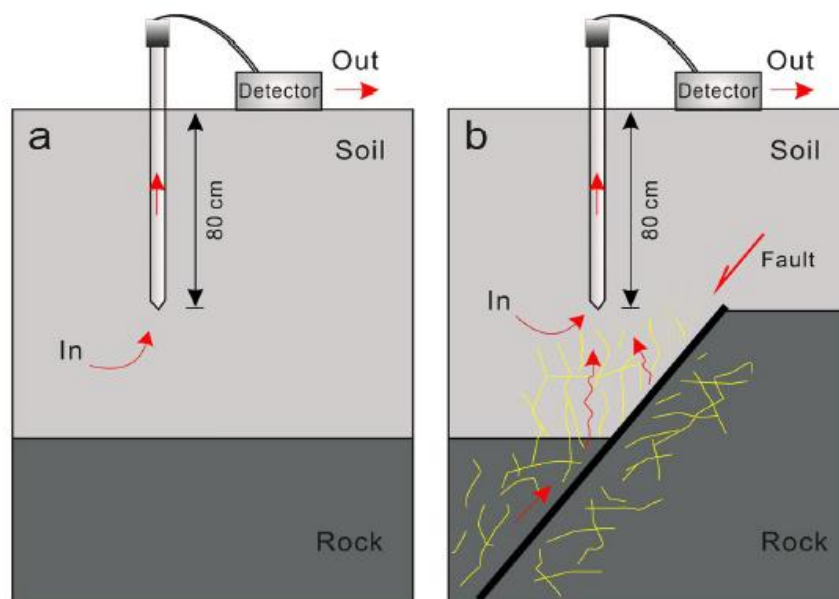


Figura 9. Esquema del origen de radón en el aire del suelo (líneas rojas) (Chen et al., 2018) a) origen en el suelo b) origen debido a la presencia de falla geológica.

En el presente estudio se utilizaron los siguientes equipos, un monitor de radón ATMOS 12 DPX y un monitor de radón (^{222}Rn) y torón (^{220}Rn) RTM-2200. La medición de los isótopos de radón en el aire del suelo se realiza insertando un tubo de muestreo de acero inoxidable (sonda) a una profundidad aproximadamente de 80 cm (Foto 1). Se realizaron mediciones en intervalos de 5 min durante tiempo no menor a 15 minutos.



Foto 1. Sistema de medición continua de radón en el aire del suelo (Monitor RTM 2200)

4.3.2. Medición de permeabilidad de gas radón en suelo

Como parte de estos estudios se realizaron pruebas de permeabilidad. La permeabilidad de gas radón del suelo fue determinado con el equipo RADON-JOK, que es un equipo especialmente diseñado para mediciones in situ. El nivel de permeabilidad se determina en base al tiempo de bombeo necesario para llenar un saco de goma con gas del suelo a una determinada profundidad, bombeado a presión constante. Para ello se introduce una sonda en el suelo a 80 cm de profundidad, donde se garantiza que todo el aire bombeado a través de la sonda proviene del suelo (Nubu et al., 2021). Se conecta mediante un tubo de goma el cabezal de la sonda y la válvula del saco de goma del sistema. El RADON-JOK bombea el aire bajo presión negativa utilizando uno o dos pesos dependiendo de la presión deseada (un peso bajo presión negativa de aproximadamente 2,16 kPa, dos pesos de aproximadamente 3,75 kPa). La permeabilidad (k) está dada en m^2 .



Foto 2. Sistema de medición de permeabilidad (Radon Jok)

El nivel de permeabilidad se determina considerando el tiempo de bombeo en (segundos) y utilizando el cuadro monográfico de permeabilidad del equipo RADON-JOK. El rango de permeabilidad del suelo a gas radón se ha agrupado en tres clases Alta, Media y Baja (Neznal et al., 2004).

Tabla N°6: Clasificación de permeabilidad k

Clasificación	Permeabilidad (m ²)
Alta	$k > 4.0 \times 10^{-12}$
Media	$4.0 \times 10^{-12} \geq k \geq 4.0 \times 10^{-13}$
Baja	$k < 4.0 \times 10^{-13}$

4.4. Estudios hidrogeológicos

4.4.1. Ensayos de infiltración y cálculo de permeabilidad

La propiedad de un cuerpo o material de dejar pasar un fluido a través de él se denomina permeabilidad (k), (permeabilidad intrínseca, específica, geométrica o coeficiente de permeabilidad), que depende del diámetro de las partículas y su coeficiente de forma (o sea, solamente de las características del medio). Esta permeabilidad (k), comúnmente, se compara de forma cualitativa y depende del material que se evalúa.

En el área de estudio, se calculó la tasa de infiltración mediante los ensayos del método directo o pruebas Lefranc. Este ensayo consiste en provocar una infiltración puntual de agua al subsuelo o roca, bajo una carga determinada, introduciendo un tubo de PVC (permeámetro) de diámetro fijo (2”); después de un tiempo (t), se mide el volumen de agua absorbida (descenso) en función de la carga hidráulica.

Para un tipo de litología, los valores de conductividad hidráulica que se obtiene con este tipo de ensayos varían; sin embargo, el ensayo es válido porque el valor de conductividad hidráulica no es un valor puntual, sino un rango de valores que caracteriza cada unidad litológica como se observa en los cuadros anteriormente mencionados.

Los ensayos de infiltración se realizaron bajo el método de carga constante, consiste en hacer pasar por el permeámetro de longitud “L”, un volumen de agua “Q”, en un tiempo “t”. Conociendo la altura de la carga de agua “h”, y la sección “A” (diámetro del tubo), el coeficiente de permeabilidad de Darcy o conductividad hidráulica “K”, se obtiene por la siguiente expresión (Castany, 1975):

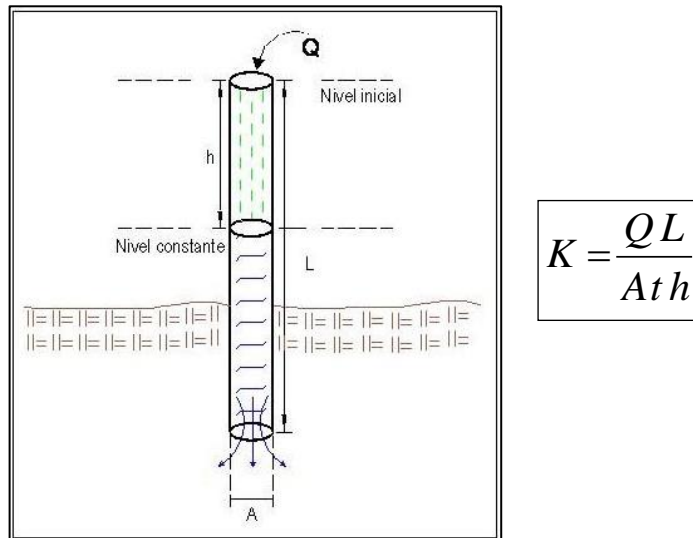


Figura 10: Esquema de ensayo de infiltración con carga constante.

En la zona de estudio se realizaron 05 ensayos de infiltración, para conocer las condiciones de permeabilidad de las unidades litológicas in situ.

5. RESULTADOS

5.1. CARTOGRAFIADO GEOLÓGICO

Producto del cartografiado geológico local se obtuvo dos mapas a escalas 1:10000 y 1:1000 de la zona de estudio (Figuras 11 y 12).

En el mapa a escala 1:10000 se observa que el Grupo Salina ha sido dividido en dos miembros, de acuerdo a su composición litológica.

Hacia el oeste predomina una secuencia compuesta por lutitas grises claras, intercalados con niveles de areniscas de grano medio y fino de color gris verdoso. Tanto las areniscas como las lutitas son masivas, con laminaciones horizontales paralelas, en algunos casos se observan laminaciones oblicuas de bajo ángulo y estructuras sedimentarias de gravedad (slumps). Esta secuencia, por su buzamiento promedio al este se ubica en la parte inferior de la columna estratigráfica del Grupo Salina.

En cambio, hacia el este las secuencias están conformadas por intercalaciones de areniscas y conglomerados coquiníferos. Esta secuencia es rica en fósiles marinos.

Por su correlación geológica local, estas secuencias parecen pertenecer a las formaciones San Cristóbal y Mogollón (Figura 11).

En cuanto al cartografiado geológico de detalle en el colegio y alrededores se han reconocido secuencias predominantemente lutaceas con intercalaciones de estratos de areniscas que varían entre 1.5 m a menos de 10 cm (Figura 12).

Al oeste y sur del colegio las secuencias tienen buzamientos al este-noreste, sin embargo, en la calicata ubicada en la calle prolongación Grau, el buzamiento es variable con una tendencia al oeste. Este aspecto geológico es importante ya que esta variación importante está controlando la migración del hidrocarburo.

5.1.1. Columnas estratigráficas en calicatas y afloramientos

Aprovechando la apertura de calicatas en la zona se realizó el levantamiento de tres columnas estratigráficas las cuales no permitieron tener un mejor conocimiento del fenómeno.

Columna estratigráfica Calicata 1

Esta columna fue elaborada con ayuda del fotologueo 3D en la calicata ubicada en el patio del colegio, tiene una profundidad de 1.5m (Figura 13). En la columna estratigráfica de se observa a la base un nivel de arenisca saturado en hidrocarburo infrayaciendo a secuencias lutaceas. Se observa también un nivel gravoso oscuro casi al tope de la secuencia, evidenciando un nivel aluvial contaminado por hidrocarburo.

Columna estratigráfica Calicata 2

Esta columna fue elaborada con ayuda del fotologueo 3D en la calicata ubicada la Prolongación Grau, su profundidad es de 3.5m (Figura 14). En la columna estratigráfica se observa a la base un nivel de arenisca saturado en hidrocarburo infrayaciendo a secuencias lutaceas. Se observa también un nivel gravoso oscuro casi al tope de la secuencia, evidenciando un nivel aluvial contaminado por hidrocarburo. En el tope de la secuencia se muestra un nivel de mas de 1 m de suelo.

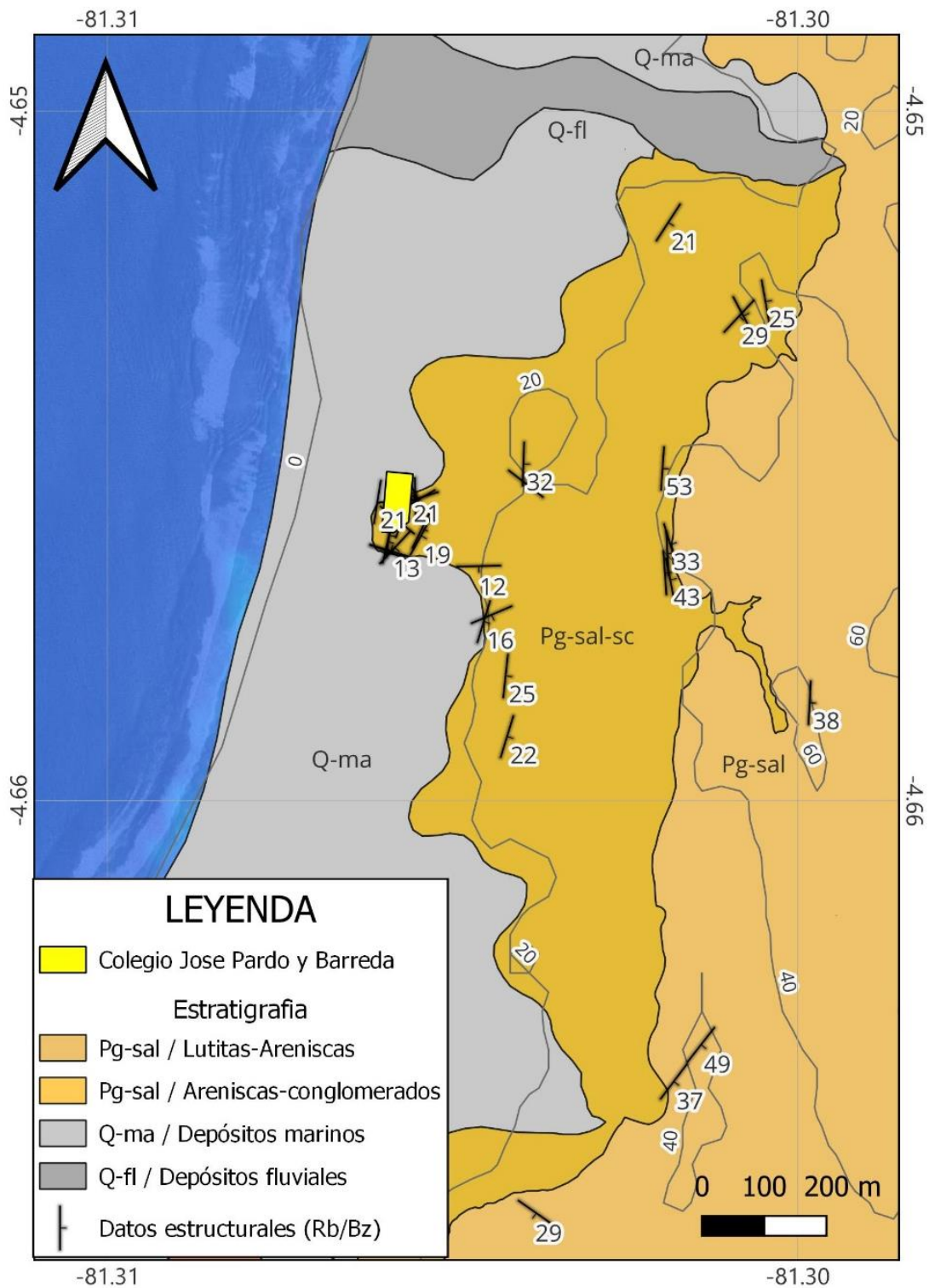


Figura 11. Mapa geológico del distrito de la Brea (Escala 1:10000).

Columna estratigráfica afloramiento

Esta columna fue elaborada en el área verde detrás del colegio, en un afloramiento rocoso de 7.5m de alto (Figura 15). En la columna estratigráfica se observa a la base secuencias de arenisca infrayaciendo a secuencias lutaceas. Inmediatamente a este nivel se observa

una secuencia de aproximadamente 2 m de arenas de grano fino con niveles delgados de lutitas. Al tope de la secuencia se presentan lutitas con delgados niveles de arenas.

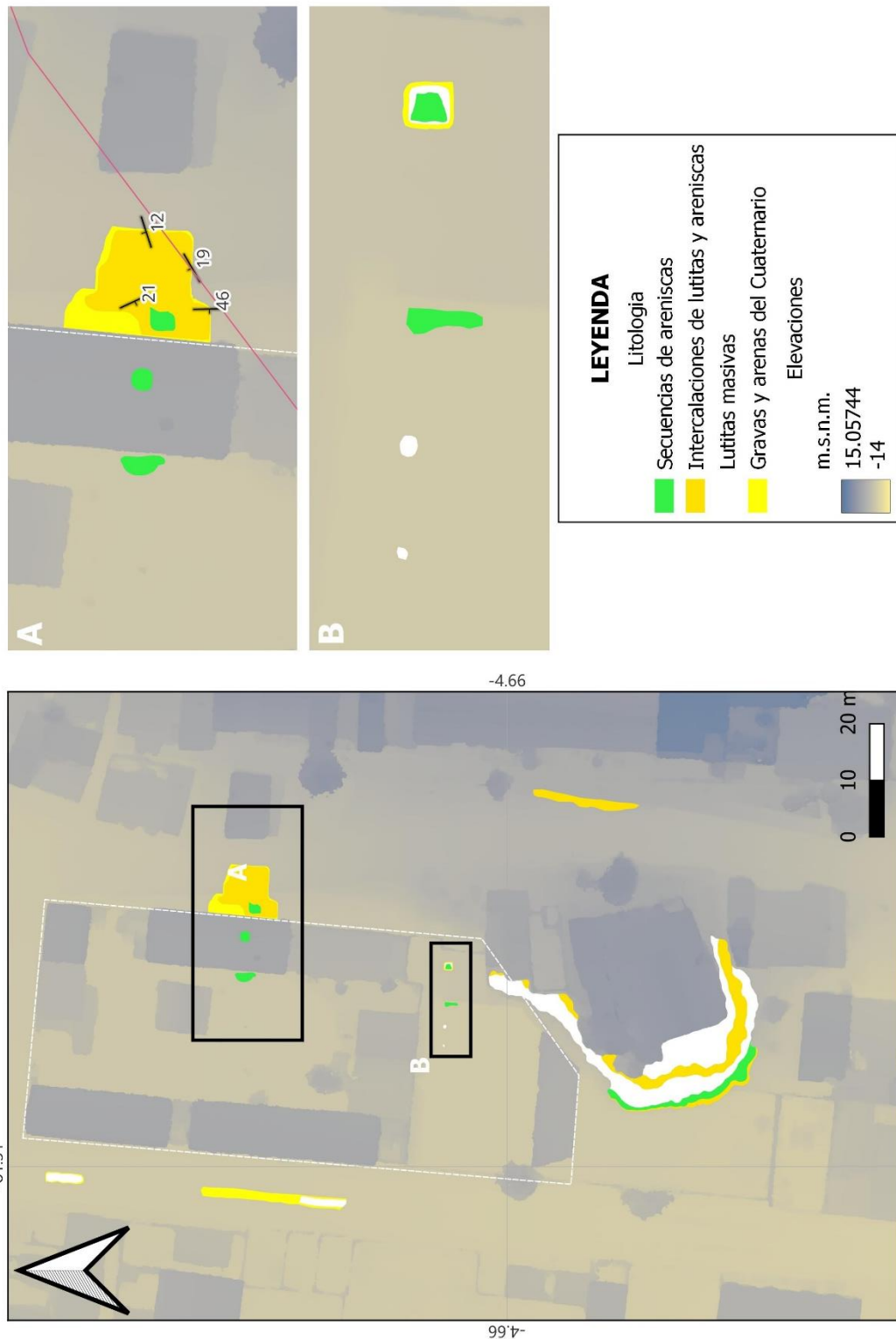


Figura 12. Mapa geológico en la I.E. José Pardo y Barreda (Escala 1:1000).

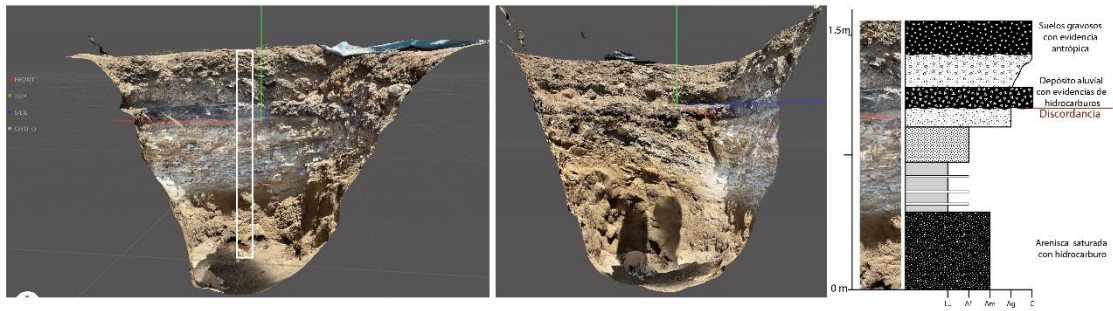


Figura 13. Modelo 3D de calicata 1 y columna estratigráfica.

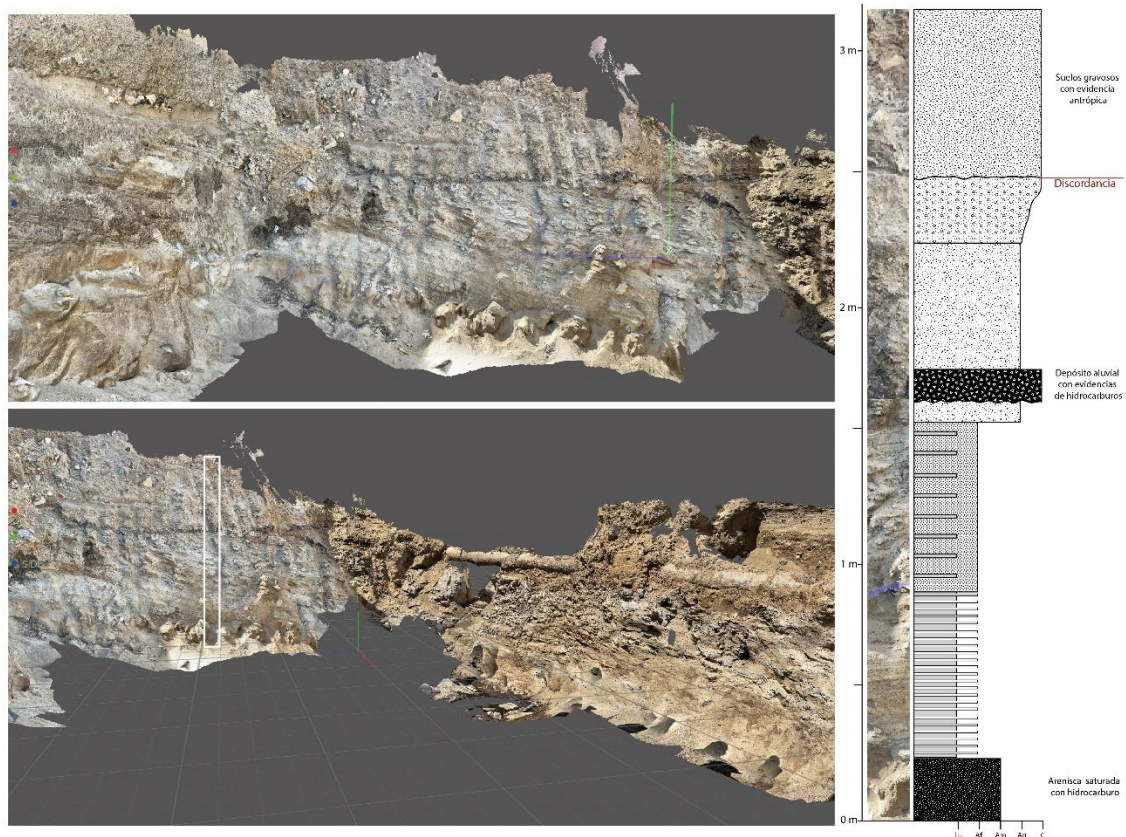


Figura 14. Modelo 3D de calicata 2 y columna estratigráfica.

5.1.2. Microtectónica

Se obtuvieron 12 medidas de microtectónica en las fallas encontradas en las calicatas (ver fotografías a, b y c en anexos). El resultado nos indica dos familias de fallas, una familia con un rumbo N206 y otra familia de fallas con una orientación N104. El resultado de procesamiento de ambas fallas nos indica fallas de rumbo tipo dextral y fallas normales (Figura 16). El buzamiento de las fallas tiene una dirección NO.

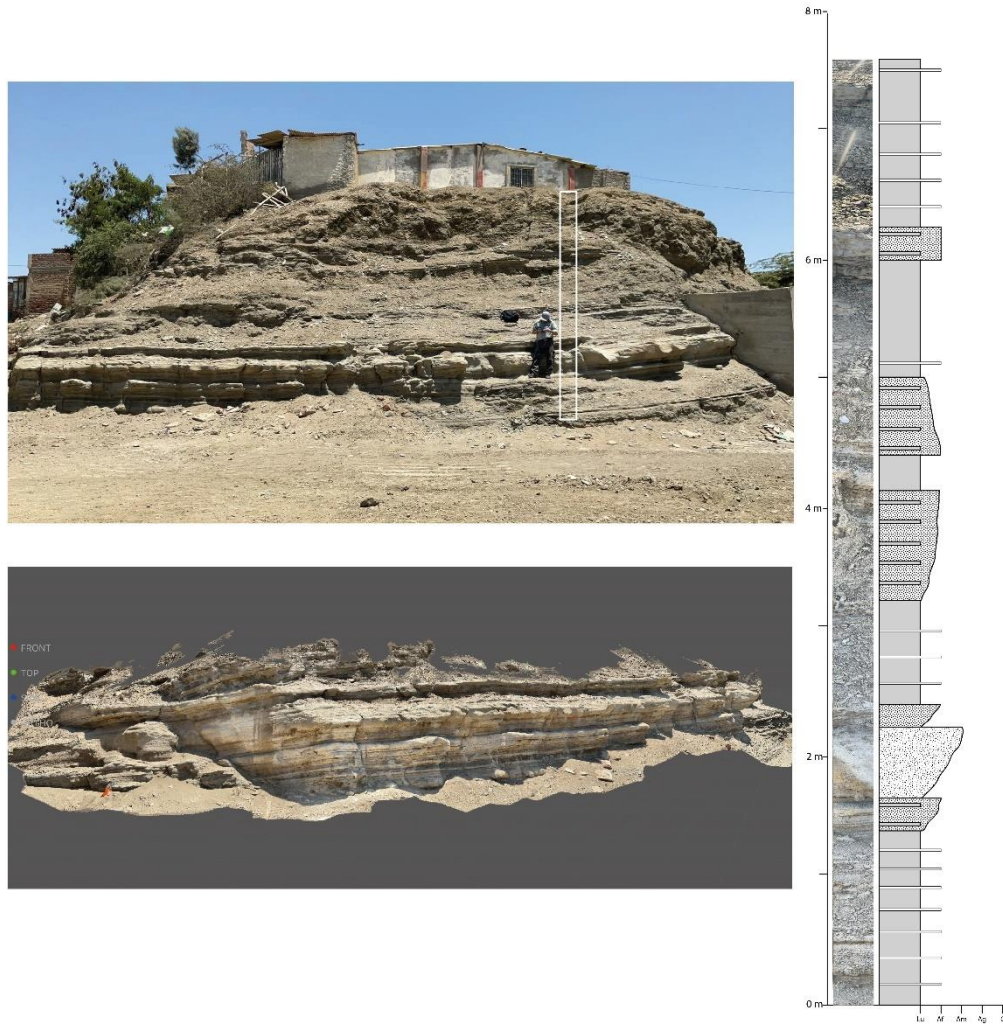
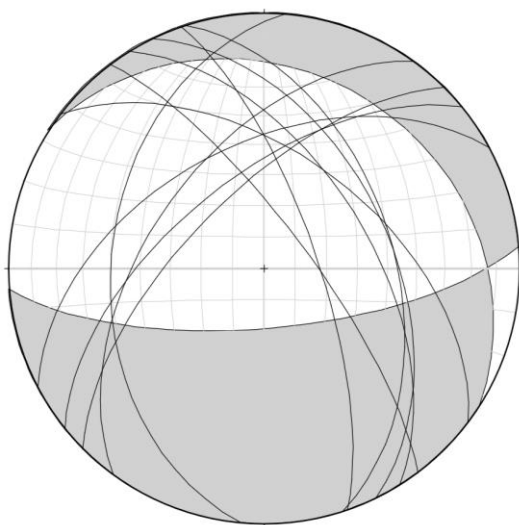


Figura 15. Modelo 3D de afloramiento rocoso y columna estratigráfica.



no.	hauit	str	dip	striae	tra	plunge	slip	l	trend	plg	r	trend	plg
1	000	30	000	00	000	00	000	00	000	00	000	00	000
2	328	56	000	00	000	00	000	00	000	00	000	00	000
3	341	73	000	00	000	00	000	00	000	00	000	00	000
4	231	61	000	00	000	00	000	00	000	00	000	00	000
5	216	53	000	00	000	00	000	00	000	00	000	00	000
6	307	53	000	00	000	00	000	00	000	00	000	00	000
7	185	40	000	00	000	00	000	00	000	00	000	00	000
8	334	49	000	00	000	00	000	00	000	00	000	00	000
9	242	50	000	00	000	00	000	00	000	00	000	00	000
10	225	66	000	00	000	00	000	00	000	00	000	00	000
11	323	76	000	00	000	00	000	00	000	00	000	00	000
12	342	48	000	00	000	00	000	00	000	00	000	00	000

P-axis: 090.0, 00.0; T-axis: 090.0, 90.0

----- Fault Plane Solution | 27/11/2023 at 17:06 -----

Fault	Strike	Dip	Trend	Plunge	Slip Sense	A-R rake
1.	206.2	49.0	014.2	13.4	NL	-162.1
2.	104.2	76.6	116.2	41.0	TR	137.5

P-axis: 056.3, 38.8; T-axis: 161.0, 17.5

Figura 16. Resultado de la estación microtectónica en las calicatas y afloramientos rocosos ubicados en la institución educativa.

5.2. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

5.2.1. Línea Geofísica L-01

La sección se ubica en la vía adyacente a la Institución educativa Jose Pardo y Barreda, hacia el Este, con una orientación de Norte a Sur. Presenta una extensión longitudinal de aproximadamente 240 m en superficie y un alcance en profundidad de aproximadamente 90 m.

La Sección L-01, presenta valores de resistividad eléctrica entre 1.2 a 12.39 Ohm.m. Lo en los primeros 40 m debajo de la superficie es donde se aprecia los mayores cambios de resistividad alternándose valores con tendencia baja (< 2.0 Ohm .m - colores verdes, celeste y azules) y alta (> 2.0 Ohm.m anaranjados y rojos). Por debajo de los 40 m de profundidad se aprecia una zona con valores entre 2.5 y 3.0 Ohm.m que se extiende hasta los 75 m. Luego de ello disminuyen en profundidad los valores a partir de los 80 m de profundidad (< 2.5).

Los valores ubicados cerca de la superficie con tendencia baja (colores celestes y azules), estarían relacionados a posibles áreas con contenido de agua que podrían provenir de fuentes superficiales, tales como del riego de áreas verdes o servicios de agua y desagüe que presente fugas entre otros. Los valores con tendencia alta representarían el material de tipo sedimentarios presente en la zona como se aprecia en la fotografía 3.



Foto 3. Afloramiento de rocas sedimentarias que conforma la base de la zona de estudio, ubicado en la parte posterior de la Institución educativa.

Asimismo, a la altura de la estación 50.0 de la sección se tiene evidencia de afloramiento de petróleo en un forado realizado el cual estaría asociado a valores con tendencia alta (colores anaranjados a rojos), tal como se aprecia en la fotografía 4.

Considerando que los valores de resistividad del petróleo son moderadas a altas, este contraste alto que se ve en las secciones podría estar relacionado con su presencia en estos materiales geológicos de tipo sedimentario.



Foto 4. Afloramiento de hidrocarburo en la estación 50.0 de la sección L-01, ubicado en la calle adyacente a la I.E.

5.2.2. Línea Geofísica L-02

La sección se ubica de manera perpendicular a las avenidas principales y cruza a la Institución educativa Jose Pardo y Barreda, de este a oeste, por la parte posterior donde se ubica una loza deportiva. Presenta una extensión longitudinal de aproximadamente 180 m en superficie y un alcance en profundidad de aproximadamente 70 m. en la Foto 5 se aprecia la orientación de la línea dentro de la I.E. y el equipo de medición ubicado fuera de la I.E., que cruza la avenida y se dirige hacia la playa.

La Sección L-02, presenta valores de resistividad eléctrica entre 0.15 a 17.96 Ohm.m. De manera similar a la sección L-01, en los primeros 30 m debajo de la superficie es donde se aprecia los mayores cambios de resistividad alternándose valores con tendencia baja (< 2.0 Ohm .m - colores verdes, celeste y azules) y alta (> 2.0 Ohm.m anaranjados y rojos). Por debajo de los 30 m de profundidad se aprecia una zona con valores entre 2.0 y 4.0 Ohm.m que se extiende hasta los 60 m. En esta parte de la sección, entre los 30 y 60 m de profundidad y por debajo de la estación 60, se aprecia una anomalía de

resistividad con tendencia ligeramente alta que se proyecta desde dos cuerpos uno ubicado a 20 m de profundidad y otro ubicado a 70 m de profundidad, que parecieran tener correlación. Por debajo de la estación 90 a una profundidad de 70 a 75 m, se aprecia valores con tendencia baja menores a 1.2 Ohm.m (Figura 17).

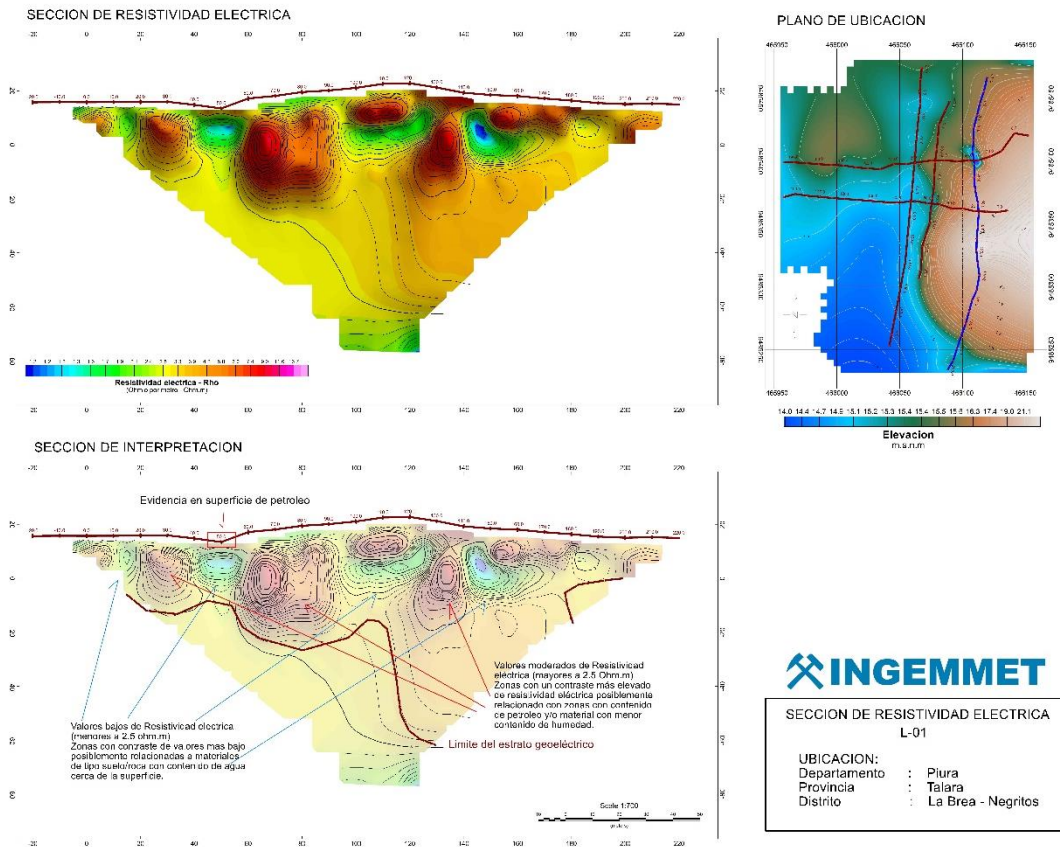


Figura 17. Resultados e interpretación de la sección L-01.

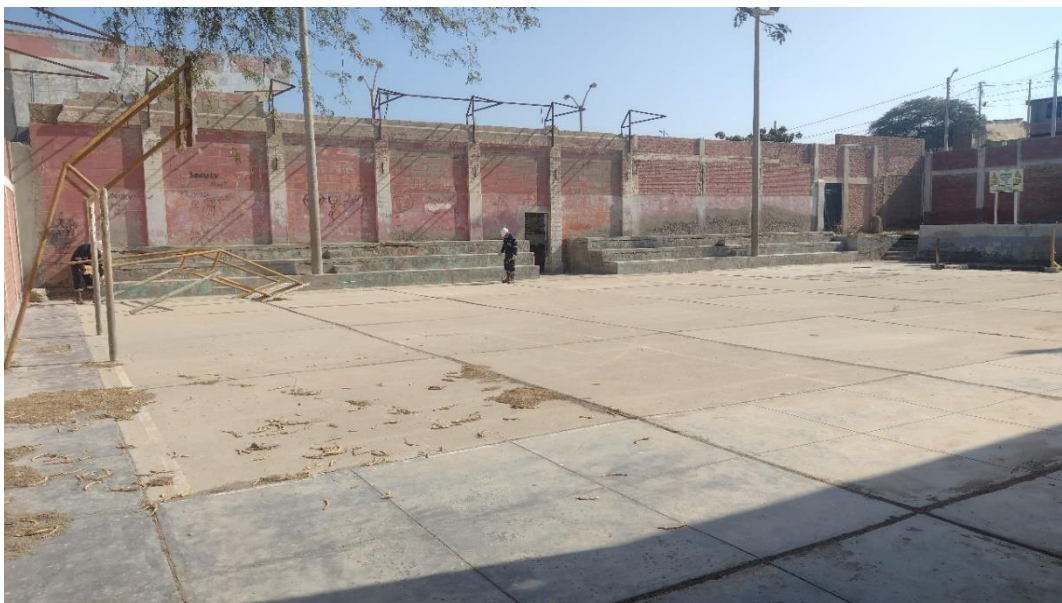


Foto 5. Instalación de varillas en el patio del colegio.



Foto 6. Ubicación de la estación de medición en la sección L-02, ubicado en la Avenida Loreto.

De manera similar a la sección L-01, los valores ubicados cerca de la superficie con tendencia baja (colores celestes y azules), estarían relacionados a posibles áreas con contenido de agua que podrían provenir de fuentes superficiales, tales como del riego de áreas verdes o servicios de agua y desagüe que presente fugas entre otros. Entre las estaciones 70 a 90 es donde se ubica la avenida y por debajo de ella se tiene una zona de valores con tendencia baja.

Los valores con tendencia alta representarían el material de tipo sedimentarios presente en la zona como se aprecia en la fotografía 4.

Asimismo, entre las estaciones 40, 50 y 60 de la sección se tiene evidencia de afloramiento de petróleo debajo de la loza deportiva el mismo que se asocia a valores con tendencia alta (fotografía 5)

La zona resistiva de tendencia moderada alta que muestra una forma vertical podría estar relacionada con un área que pudiera presentar mayor concentración de petróleo.



Foto 7. Afloramiento de hidrocarburo en la estación 40 y 60.0 de la sección L-02, ubicado debajo de la loza deportiva a la I.E.

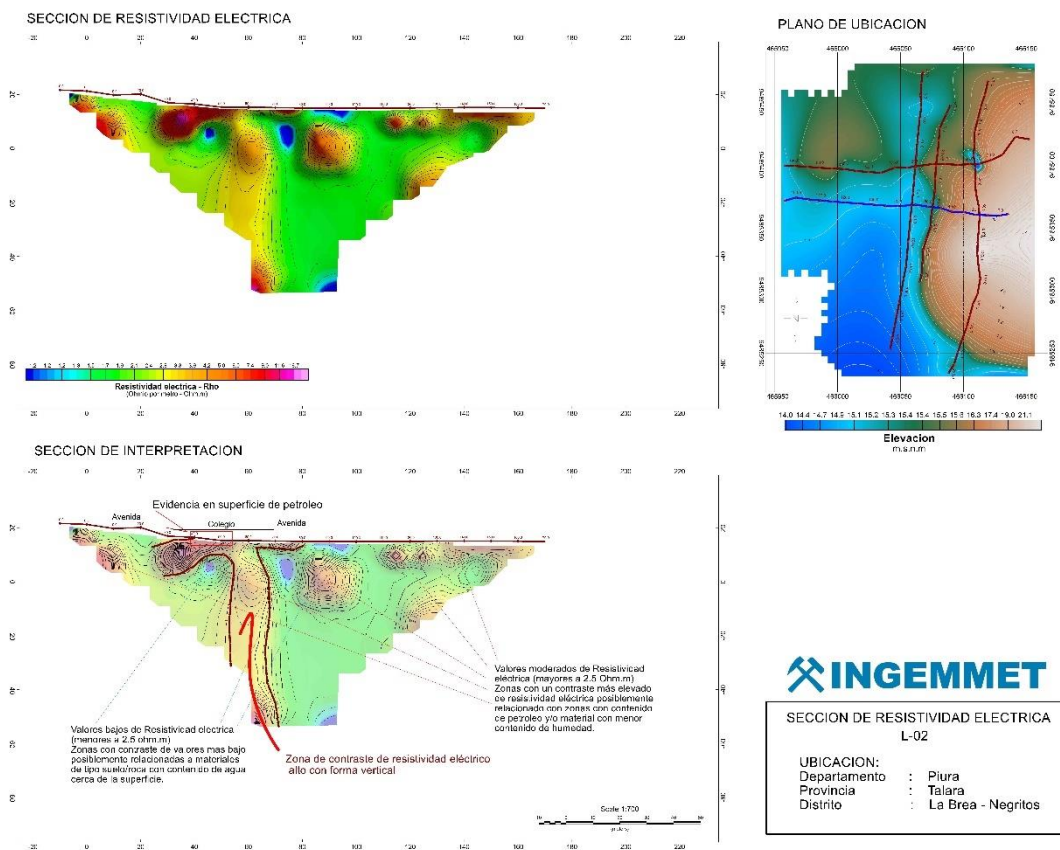


Figura 18. Resultados e interpretación de la sección L-02.

5.2.3. Línea Geofísica L-03

La sección se ubica de manera perpendicular a las avenidas principales y cruza a la Institución educativa Jose Pardo y Barreda, del este al oeste, por las aulas adyacentes al forado, cruza el jardín interno, sale a la avenida y se extiende hasta un área privada con dirección a la playa (Fotos 8 y 9). Presenta una extensión longitudinal de aproximadamente 200 m en superficie y un alcance en profundidad de aproximadamente 80 m. En la Foto 5, se aprecia la posición del equipo de medición en la avenida adyacente a la institución educativa para la sección L-03 la cual cruza la I.E y la avenida.

La Sección L-03, presenta valores de resistividad eléctrica entre 0.13 a 282.01 Ohm.m. De manera similar a la sección L-02, en los primeros 40 m debajo de la superficie es donde se aprecia los mayores cambios de resistividad alternándose valores con tendencia baja (< 2.0 Ohm .m - colores verdes, celeste y azules) y alta (> 2.0 Ohm.m anaranjados y rojos). Por debajo de los 40 m de profundidad se aprecia una zona con valores mayores a 5.0 Ohm.m que se proyectan en profundidad de manera inclinada desde la ubicación de la estación 30.0 cerca de la superficie hasta los 70 m de profundidad por debajo de la estación 80.0. En la parte central de la sección debajo de la estación 90.0 una columna de datos de tendencia baja (<2.0 Ohm.m), desde la superficie hasta los niveles más profundos.

De manera similar a las secciones L-01 y L-02, los valores ubicados cerca de la superficie con tendencia baja (Colores celestes y azules), estarían relacionados a posibles áreas con contenido de agua que podrían provenir de fuentes superficiales, tales como del riego de áreas verdes o servicios de agua y desagüe; como podría ser el caso de aquellos valores ubicados por debajo de la estaciones 20.0, por debajo de 30-40, por debajo de las estaciones entre 30 a 120 y por debajo de las estaciones 130 a 170; conservando casi una misma profundidad entre los 5 a 10 m. la más significativa es la que se ubica por debajo de la estación 90.0, donde se ubica la avenida que por lo general es por donde se distribuyen estos sistemas de tuberías. Los valores con tendencia alta representarían el material de tipo sedimentarios presente en la zona como se aprecia en la Foto 1, sin embargo, también está asociado.

Asimismo, entre las estaciones 30, 40, 50 y 60 de la sección se tiene evidencia de afloramiento de petróleo (Figura 19), debajo del piso del aula de la I.E que se ubica adyacente al forado y al patio interno de la I.E.

Por debajo de todas estas estaciones se aprecia una tendencia de valores altos de resistividad que se prolongan hasta los niveles más profundos y de han definido como una zona de contraste resistivo eléctrico alto con forma vertical a sub vertical. Considerando esta descripción se ha definido otra por debajo de la estación 120.0 que pudiera tener las mismas características.



Fotos 8 y 9. Posición de la estación de medición en la sección L-03, ubicado fuera de la I.E. José Pardo.

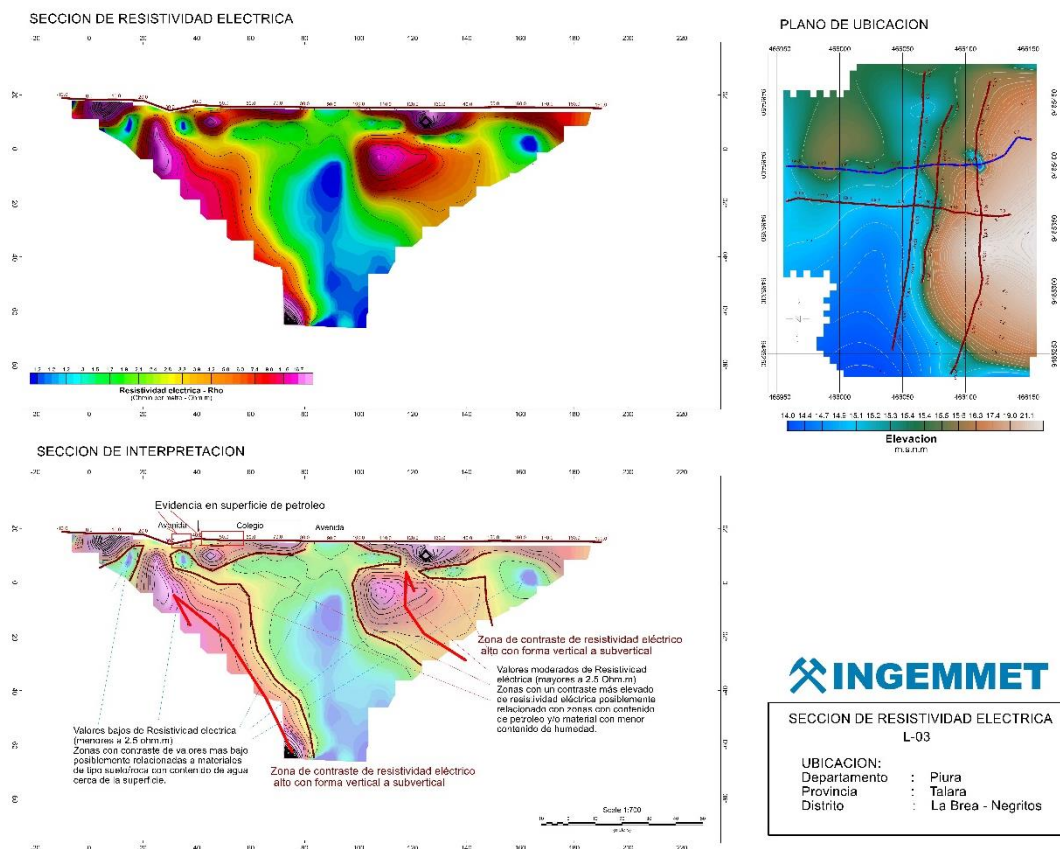


Figura 19. Resultados e interpretación de la sección L-03.

5.2.4. Línea Geofísica L-04

La sección se ubica de manera paralela a la sección L-01 y L-05. Se ubica dentro de la Institución educativa Jose Pardo y Barreda, prolongándose de Norte a Sur, desde la calle ubicada saliendo el portón principal, hasta el área posterior de la I.E. pasando por la loza deportiva (Fotos 10 y 11). Presenta una extensión longitudinal de aproximadamente 150 m en superficie y un alcance en profundidad de aproximadamente 60 m.

La Sección L-04, presenta valores de resistividad eléctrica entre 0.78 a 14.78 Ohm.m. En los primeros 10 m debajo de la superficie muestra valores con tendencia alta a manera de una capa con grosores variados (entre 5 a 10 m). Por debajo se aprecia valores con tendencia baja que se proyectan casi de manera uniforme hasta los niveles más profundos.

Los valores ubicados cerca de la superficie con tendencia baja, es decir menores a 2.0 Ohm.m (Colores verdes oscuros), estarían relacionados a posibles áreas con contenido de agua que podrían provenir de fuentes superficiales, tales como del riego de áreas verdes o servicios de agua y desagüe.

Entre las estaciones 20 y 40 de la sección es donde se tiene el afloramiento de petróleo en el aula y patio interior de la I.E. y debajo de estas existe en los primeros metros valores de tendencia alta con mayor grosor (10 m de grosor desde la superficie) y debajo de los 18 hasta los 50 m de profundidad se aprecia una tendencia muy sutil de valores de resistividad eléctrica. De manera similar existe un engrosamiento con valores de tendencia alta por debajo de las estaciones 50 y 60, que podrían correlacionarse con la evidencia de petróleo en superficie que se ubica a la altura de la estación 70.0 en la loza deportiva.



Fotos 10 y 11. Área Inicial y Final de la Sección L-04, ubicado dentro de la I.E.

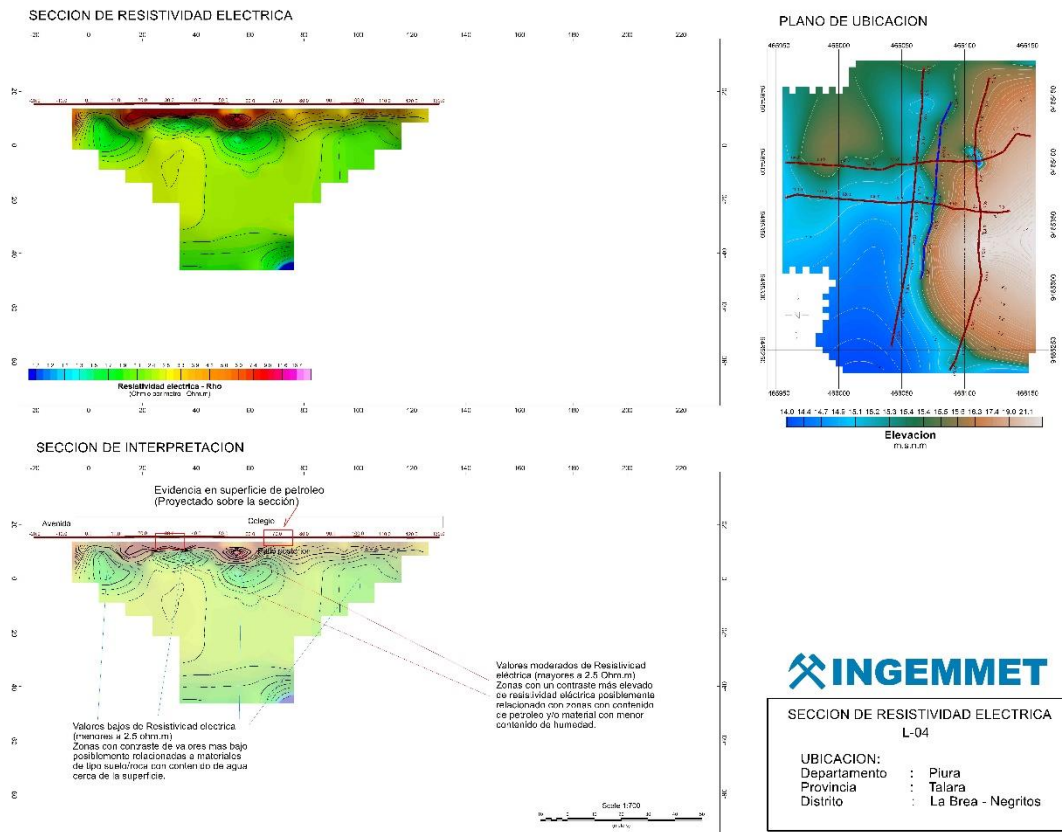


Figura 20. Resultados e interpretación de la sección L-04.

5.2.5. Línea Geofísica L-05

La sección se ubica en la vía adyacente a la Institución educativa Jose Pardo y Barreda (Foto 12), hacia el Oeste, con una orientación de Norte a Sur. Presenta una extensión longitudinal de aproximadamente 230 m en superficie y un alcance en profundidad de aproximadamente 90 m. En la foto 7 se observa la dirección de la sección L-05 en la parte exterior de la I.E.

La Sección L-05, presenta valores de resistividad eléctrica entre 0.31 a 32.9 Ohm.m. De manera similar a la sección L-01, en los primeros 40 m debajo de la superficie es donde se aprecia los mayores cambios de resistividad alternándose valores con tendencia baja (< 2.0 Ohm .m - colores verdes, celeste y azules) y alta (> 2.0 Ohm.m anaranjados y rojos). Por debajo de los 40 m de profundidad la distribución de valores es más uniforme mostrando algunos cambios laterales definidos por la continuidad de algunos valores en superficie que se prolongan a niveles más profundos.

De manera similar a la mayoría de secciones, los valores ubicados cerca de la superficie con tendencia baja (Colores verdes, celestes y azules), estarían relacionados a posibles áreas con contenido de agua que podrían provenir de fuentes superficiales, tales como del riego de áreas verdes o servicios de agua y desagüe; como podría ser el caso de aquellos valores ubicados por debajo de la estación 20.0 a 40.0, por debajo de las estaciones 80.0, 90.0 y 100.0; y por debajo de las estaciones 110.0 a 180.0: que incluso llegan a tomar una forma de capa por debajo de materiales más resistentes.



Foto 12. Dirección de la sección L-05, ubicado fuera de la I.E.

5.3. ESTUDIOS CON MONITORES DE GAS RADÓN

Se realizaron 71 mediciones en la localidad de Negritos (Talara). Los resultados de concentración de radón y torón en el aire del suelo medidos con los monitores activos son presentados en las figuras 21 y 22 respectivamente. Las líneas de color rojo en los gráficos indican los valores representativos en la zona estudiada para cada isotopo de radón en el aire del suelo. Se establece un límite de 1 kBq.m⁻³ para radón y 0.2 kBq.m⁻³ para torón, basado en el tercer cuantil (Q₃) de los datos. Por lo tanto, valores por debajo del límite establecido corresponden a valores promedio (normales) y valores superiores se relacionan con valores extremos (anómalos). Los valores anómalos de concentración de radón en el aire del suelo se encontraron en un rango de 2 a 22 kBq.m⁻³, mientras que los de concentración de torón estuvieron en un rango de 0.3 a 1.4 kBq.m⁻³.

Tabla N° 1: Resultados de concentración de radón y torón en el suelo y permeabilidad

Medición	Coordenadas geográficas		Elevación (m.s.n.m.)	Concentración de Rn-222 en el suelo (kBq.m ⁻³)		Concentración de Rn-220 en el suelo (kBq.m ⁻³)		Permeabilidad del suelo a radón (m2)	
	Longitud	Latitud		Promedio	Incertidumbre	Promedio	Incertidumbre	Valor	Nivel
1	-81.305652	-4.6577587	11	11.52	1.21	0.88	0.13	-	-
2	-81.3055891	-4.6582201	11	0.07	0.03	0.17	0.12	-	-
3	-81.3055352	-4.6586815	12	0.55	0.07	0	0	-	-
4	-81.3054254	-4.65507196	11	0.13	0.04	0.13	0.06	-	-
5	-81.3054072	-4.65460155	12	3.28	0.57	1.22	0.18	-	-
6	-81.3051726	-4.6542036	13	0.13	0.04	0.11	0.05	-	-
7	-81.3049921	-4.65379658	13	0.15	0.05	0.08	0.08	-	-
8	-81.3047575	-4.65338054	12	1.75	0.22	0.28	0.1	-	-
9	-81.3046221	-4.65296446	11	0.35	0.16	0.11	0.05	-	-
10	-81.3044957	-4.65253932	10	0.1	0.05	0.08	0.08	-	-
11	-81.3042881	-4.65214136	10	1.63	0.07	0.17	0.01	-	-
12	-81.3059303	-4.65507174	9	3.4	0.3	-	-	-	-
13	-81.305885	-4.65459229	9	0.79	0.14	0.16	0.01	-	-
14	-81.3058398	-4.65412189	10	0.11	0.03	0.08	0.01	-	-
15	-81.3057945	-4.65366958	10	0.1	0.08	0.34	0.17	-	-
16	-81.3057222	-4.65322633	9	0.09	0.03	0.13	0.06	-	-
17	-81.3045336	-4.65696309	20	1.75	0.1	0.81	0.05	-	-
18	-81.3045338	-4.65743351	19	0.05	0.04	0.11	0.05	-	-
19	-81.3045881	-4.65790391	20	0.1	0.05	0.5	0.25	-	-
20	-81.3052641	-4.65593457	12	0	0	0	0	-	-
21	-81.305489	-4.65590728	11	0.05	0.01	0.08	0.08	-	-
22	-81.3056581	-4.65593245	11	1.17	0.27	0.1	0.04	1.5 x 10 ⁻¹¹	Alta
23	-81.3058057	-4.65589994	10	0.36	0.11	0.11	0.05	2.4 x 10 ⁻¹²	Media
24	-81.3059162	-4.65589029	10	1.85	0.05	0.17	0.08	1.5 x 10 ⁻¹¹	Alta
25	-81.3060941	-4.65585614	9	0.05	0.01	0.17	0.01	-	-
26	-81.3063358	-4.65596216	8	7.67	0.07	0.98	0.42	-	-
27	-81.3065227	-4.65584471	8	0.88	0.08	0.42	0.12	-	-
28	-81.3067132	-4.65582161	7	0.1	0.05	0.25	0.12	-	-
29	-81.3059694	-4.65629565	10	0.39	0.04	0.13	0.06	-	-
30	-81.3058771	-4.65630231	10	0.83	0.27	0.11	0.05	-	-
31	-81.3057407	-4.65629625	11	0.09	0.03	0.08	0.08	-	-
32	-81.3055965	-4.65636625	12	0.98	0.18	1.28	0.25	-	-
33	-81.3053401	-4.65633408	13	0.08	0.03	0.12	0.06	-	-
34	-81.3055906	-4.65712383	11	0.2	0.11	0.12	0.06	-	-
35	-81.305742	-4.6557645	10	8.5	0.8	-	-	-	-
36	-81.3056744	-4.65575908	11	3.2	0.3	-	-	-	-
37	-81.3059564	-4.65615609	10	2.2	2.2	-	-	2.5 x 10 ⁻¹²	Media
38	-81.3058662	-4.65615969	10	0.3	0.03	-	-	-	-
39	-81.3056996	-4.65612221	11	2	0.2	-	-	-	-
40	-81.3052876	-4.65553353	12	3.19	0.07	1.08	0.27	-	-
41	-81.3054016	-4.65552345	11	5.81	0.64	1.32	0.32	-	-
42	-81.3055019	-4.6555495	11	0.12	0.06	0.08	0.01	-	-
43	-81.3056313	-4.65558776	11	0.35	0.13	0.11	0.04	1.3 x 10 ⁻¹¹	Alta
44	-81.3057495	-4.65559276	10	0.51	0.06	0.25	0.15	5.0 x 10 ⁻¹³	Media
45	-81.3058171	-4.65559615	10	0.06	0.02	0.12	0.04	8.4 x 10 ⁻¹²	Alta
46	-81.3059375	-4.65558871	9	0.07	0.04	0	0	-	-
47	-81.3060473	-4.65559145	9	0.07	0.04	0	0	-	-
48	-81.3061145	-4.65561171	9	0.69	0.21	0.1	0.04	-	-
49	-81.3063047	-4.65562522	8	0.35	0.14	0	0	-	-
50	-81.3058299	-4.65574287	10	0.59	0.21	0.08	0	-	-
51	-81.3059065	-4.65525918	9	0.2	0.1	0	0	-	-
52	-81.3060609	-4.65525593	8	2.18	0.07	0.3	0.05	-	-
53	-81.3059245	-4.65537845	9	0.08	0.03	0.16	0.12	-	-
54	-81.3060527	-4.65540309	9	0.56	0.17	0.08	0.01	-	-
55	-81.3060924	-4.65574053	9	0.05	0.01	0.16	0.01	-	-
56	-81.3059531	-4.65573843	9	0.05	0.05	0.08	0.08	-	-
57	-81.3060896	-4.65614096	9	0.07	0.03	0.08	0.01	-	-
58	-81.3061215	-4.65626016	9	0.67	0.18	0.08	0.08	-	-
59	-81.3063529	-4.65622202	9	0.07	0.04	0.08	0.01	-	-

60	-81.306389	-4.65653289	9	0.81	0.16	0.08	0.08	-	-
61	-81.3061356	-4.65658879	10	0.5	0.16	0.12	0.06	-	-
62	-81.3061748	-4.65703824	9	0.13	0.08	0.17	0.12	-	-
63	-81.306192	-4.65729263	9	0	0	0.09	0.09	-	-
64	-81.3060917	-4.65729899	9	0.05	0.05	0.09	0.09	-	-
65	-81.3056273	-4.65690104	12	0.05	0.01	0.12	0.05	-	-
66	-81.3055636	-4.65666291	12	0.58	0.18	0.09	0.01	-	-
67	-81.3054849	-4.65610909	12	0.07	0.03	0.09	0.01	-	-
68	-81.3052839	-4.65609506	12	0	0	0.17	0.12	-	-
69	-81.3055292	-4.65569716	11	0.05	0.05	0.09	0.09	-	-
70	-81.3054082	-4.65566889	11	0.08	0.04	0.13	0.06	-	-
71	-81.3052888	-4.65566401	12	1.25	0.26	0.14	0.05	-	-

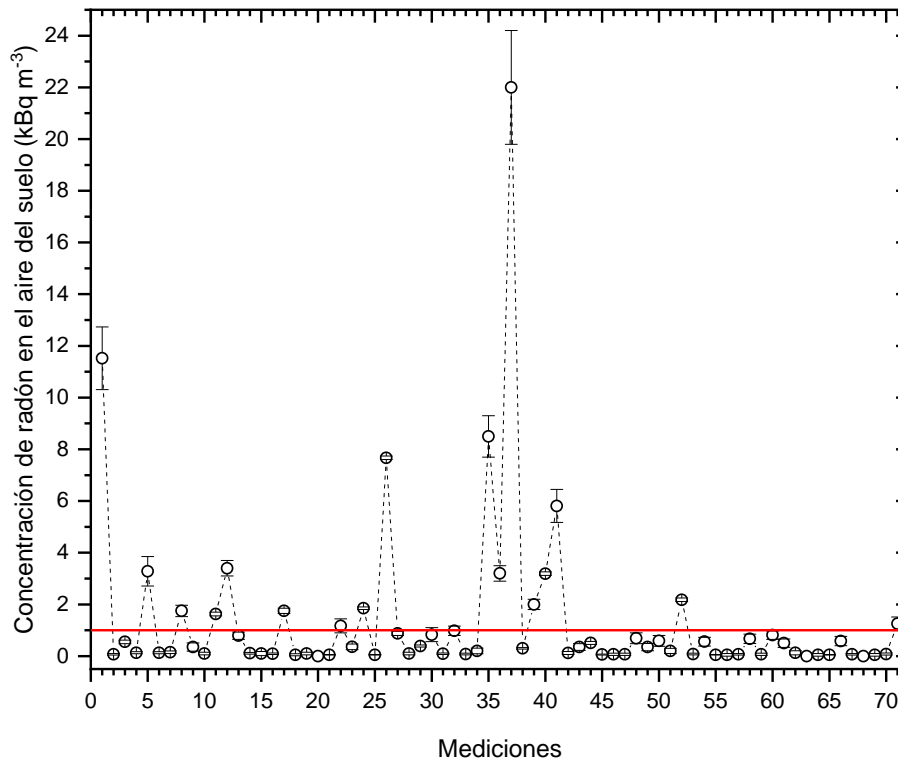


Figura 21. Mediciones de concentraciones radón (^{222}Rn) en el aire del suelo

En la localidad de Negritos (Talara) se han realizado 7 mediciones simultaneas de permeabilidad con el sistema RADON-JOK y de concentración de isotopos de radón en el aire del suelo. Este estudio se realizó principalmente dentro del Colegio IE José Pardo y Barrera. En la Tabla N° 1 se presentan los resultados de permeabilidad con su correspondiente valor de concentración de radón y torón. Se han identificado zonas con permeabilidad a gas radón en el suelo de nivel medio y alto. Las concentraciones de radón y torón en estos puntos presentaron valores normales (por debajo del límite), excepto en un punto donde se determinó un valor de 22 kBq.m-3 y una permeabilidad de nivel medio.

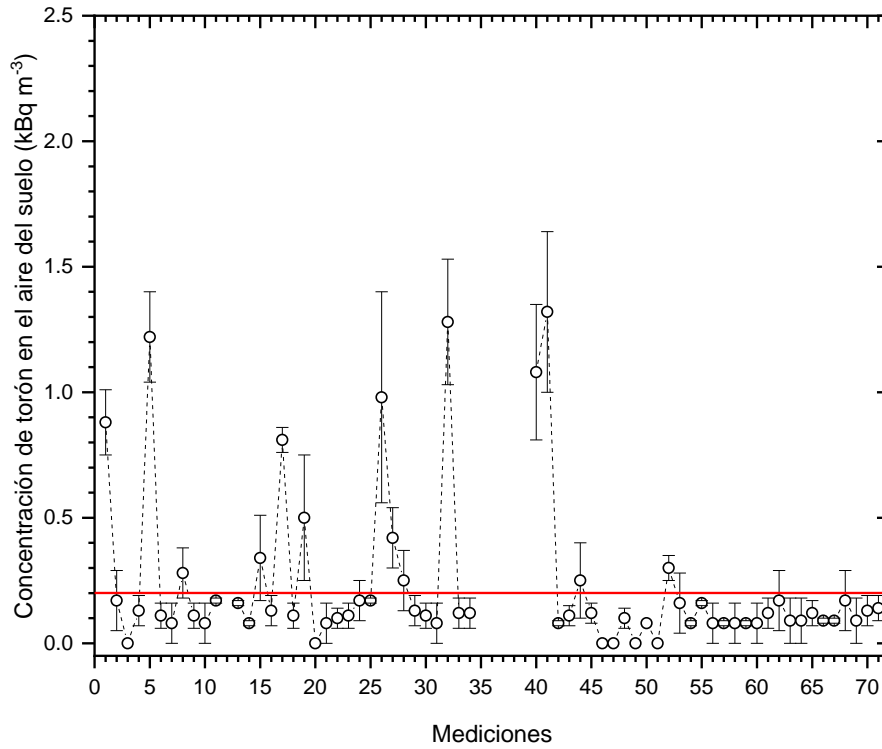


Figura 22. Mediciones de concentraciones torón (^{220}Rn) en el aire del suelo

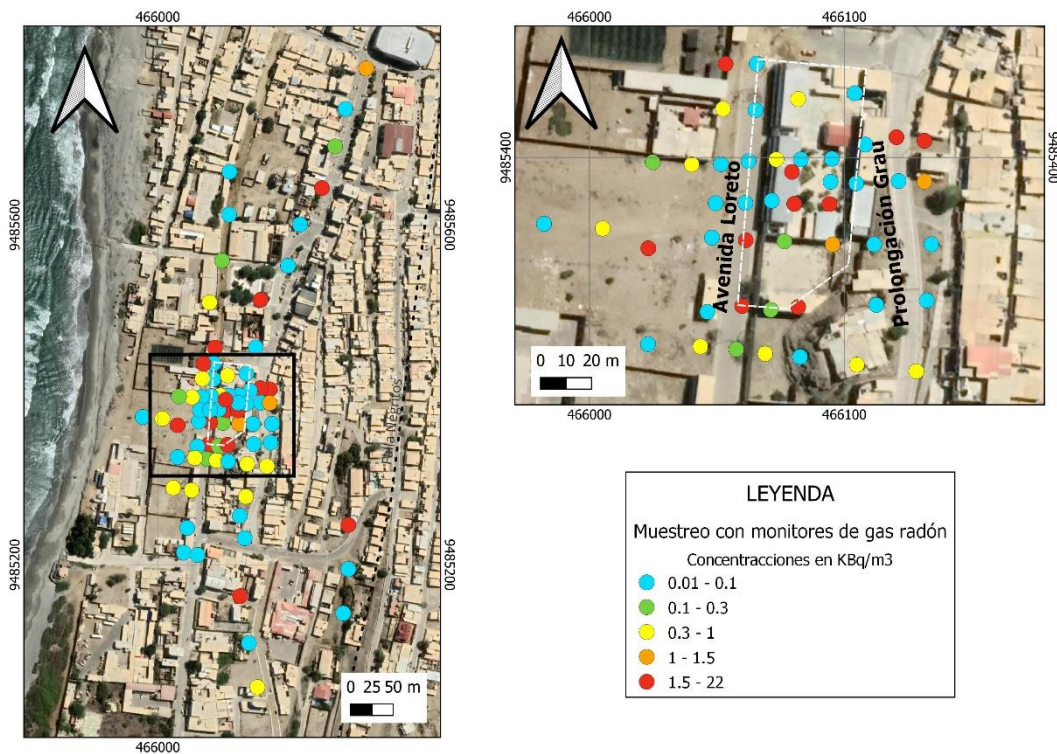


Figura 23. Mapa con los valores de gas radón en suelo en la ciudad de Negritos y alrededores (izquierda) y en la Institución educativa (Derecha).

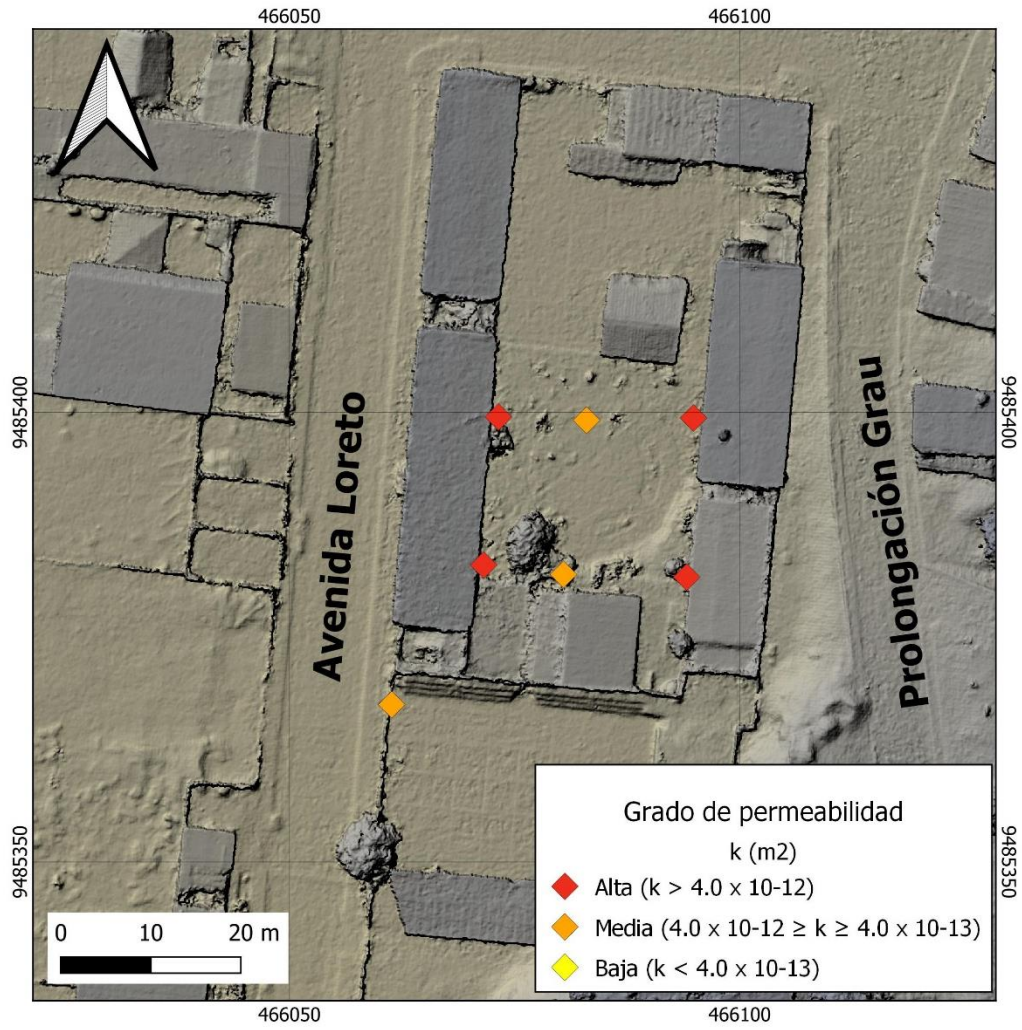


Figura 24. Mapa con los valores de permeabilidad en la Institución educativa.

5.4. ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS

Para conocer las condiciones de permeabilidad de las unidades litológicas in situ se muestran en el Cuadro N° 04, los resultados de los 05 ensayos de infiltración. En la parte de resultados de este informe, se muestra el procesamiento de cada ensayo de infiltración:

Cuadro N° 04: Resultados del procesamiento de los ensayos de infiltración realizados en el área de estudio.

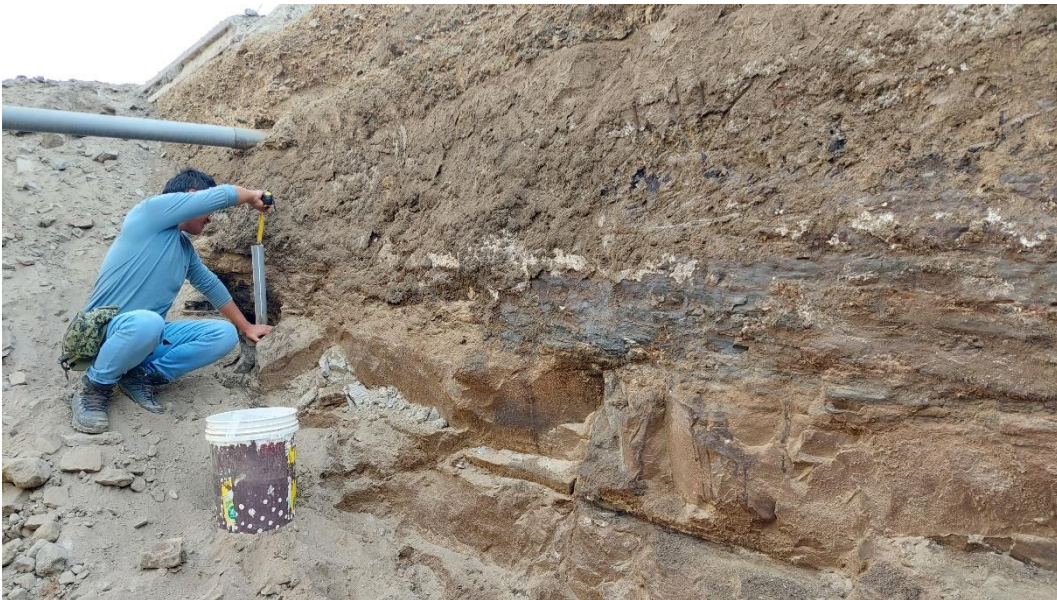
N°	Ensayo	Litología	Coordenadas UTM WGS-84			L (cm)	D (cm)	T (min)	K (m/d)
			N	E	Cota				
1	EI-01-Negritos	Areniscas	9485402	466118	9	60	5.08	3	1.055
2	EI-02-Negritos	Lutitas	9485398	466117	9	60	5.08	3	0.3984
3	EI-03-Negritos	Areniscas	9485205	466235	22	60	5.08	3	1.399
4	EI-04-Negritos	Suelo limo arenoso	9485360	466091	10	60	5.08	3	0.9727
5	EI-05-Negritos	Areniscas arcosas	9486916	466863	40	60	5.08	3	1.134

De acuerdo al Cuadro N° 04, observamos que los resultados de los ensayos de infiltración en la zona de estudio, marcan dos litologías bien definidas con diferente grado de permeabilidad, por un lado, las lutitas y el suelo limo arenoso (ensayos EI-02 y EI-04), que presentan permeabilidades bajas, y, por otro lado, las areniscas (ensayos EI-01, EI-03 y EI-05), que presentan valores de permeabilidad un poco más elevadas.

A continuación, describiremos cada una de estos ensayos:

El ensayo EI-01-Negritos, se realizó, sobre las areniscas que afloran dentro de la calicata que se encuentra fuera de la Institución Educativa “Jose Pardo y Barreda”, resultando un valor de permeabilidad de 1.055 m/day, en comparación con los rangos de permeabilidad de los cuadros antes mencionados, nos indica que presentan una permeabilidad moderada, que se clasificaría entre un acuífero de mediana capacidad de almacenar y transmitir flujos subterráneos, en este sector esta unidad litológica, se encuentra fisurado, es posible que en interior las surgencias del hidrocarburo (material crudo), este siguiendo estas fisuras, saturando estos materiales a través de la porosidad primaria y secundaria que presentan las areniscas en este sector.

Esta saturación del terreno por el hidrocarburo, puede estar reteniendo el paso del agua, debido a que se evidencio una baja tasa de infiltración en el momento del ensayo. Fotografías 13 y 14:



Fotografías 13 y 14. Corresponden al ensayo de infiltración EI-01-Negritos, sobre una litología de areniscas, que se encuentran fracturadas.

Los ensayos de infiltración EI-03-Negritos y EI-05-Negritos, también se realizaron en afloramientos de areniscas. Estos dos ensayos se ubican fuera de la zona afectada por las surgencias del hidrocarburo. El ensayo EI-03-Negritos, se realizó en un afloramiento a pocas cuadras de la Institución Educativa “Jose Pardo y Barreda”, mientras que el ensayo EI-05-Negritos, se realizó en afloramientos de las afueras del centro poblado de Negritos, con el objetivo de tener una comparación del comportamiento del grado de variación de la infiltración con respecto al ensayo EI-01-Negritos, cuya zona se encuentra afectada por la surgencia del petróleo.

Los resultados de ambos ensayos fueron: EI-03-Negritos = 1.399 m/day y EI-05-Negritos = 1.134 m/day, ambos resultados evidencian que en estos sectores se presentan

rangos de mediano a moderado grado de permeabilidad, ligeramente mayores en comparación con el ensayo EI-01-Negritos, esto nos indica que, en estos sectores, las areniscas, presentan una mayor tendencia a ser un poco más permeables, con mayor capacidad de almacenar y transmitir flujos subterráneos.

De estos tres ensayos, podemos inferir que las areniscas en general presentan moderadas propiedades de ser permeables, y que en el sector del ensayo EI-01-Negritos, baja ligeramente su grado de permeabilidad, esto debido a que los espacios vacíos y/o fisurados estén siendo saturados por las surgencias del hidrocarburo. Fotografías 15 y 16.



Fotografías 15 y 16. Corresponden al ensayo de infiltración: EI-03-Negritos = 1.399 m/day, sobre areniscas, en la zona urbana del centro poblado de Negritos, se observa la preparación del tuvo y la toma de medida de los descensos del agua.

Para el caso del ensayo de infiltración (EI-02-Negritos), litológicamente corresponde a una capa de lutitas, por lo general, este tipo de litología, está considerada como acuitardos, debido a que presenta propiedades nulas de permeabilidad; el resultado del valor de permeabilidad fue de 0.3984 m/day, que nos confirma su baja permeabilidad, este material da lugar a las barreras impermeables, este ensayo se desarrolló en la calicata que se encuentra fuera de la Institución Educativa “Jose Pardo y Barreda”. Fotografías 17 y 18.



Fotografías 17 y 18. Corresponden al ensayo de infiltración: EI-05-Negritos = 1.134 m/day, en los alrededores del centro poblado de Negritos, se observa el desarrollo del ensayo sobre afloramientos de areniscas, que se encuentran fracturadas.

Finalmente se tiene el ensayo de infiltración (EI-04-Negritos), ubicado dentro de la Institución Educativa “Jose Pardo y Barreda”, realizado cerca de la surgencia del hidrocarburo, este ensayo se desarrolló sobre un suelo de depósito limo arenoso, que se encuentra por debajo de la losa deportiva. Conocer la permeabilidad de este depósito, nos permite tener una idea del avance de la contaminación del hidrocarburo sobre el terreno, a medida que se va saturando el terreno, siendo el resultado del valor de la permeabilidad de 0.9727 m/day, lo que nos indica que presenta propiedades medianamente permeables; por consiguiente, propensa a que el hidrocarburo pueda expandirse por este medio (fotografía 21).



Fotografías 19 y 20. Corresponde al ensayo de infiltración EI-02-Negritos, sobre una capa de lutitas, cuyo comportamiento es de tendencia impermeable.



Fotografía 21. Corresponde al ensayo de infiltración EI-04-Negritos, sobre un suelo de material de relleno, cuyo comportamiento es de tendencia permeable.

A continuación, en la Figura 25, se observa la ubicación de los ensayos de Infiltración desarrollados en el área afectada de la Institución Educativa “Jose Pardo y Barreda”, por la surgencia del hidrocarburo, en el centro poblado de Negritos (Imagen Google Earth).



Figura 25. Ubicación de los ensayos hidrogeológicos.

6. PELIGROS GEOLÓGICOS

6.1. Relación de la geología con el fenómeno (ocurrencia de hidrocarburo)

Si bien es cierto los antecedentes mencionan que la ocurrencia de hidrocarburos se debe a la presencia de algún pozo de petróleo mal abandonado, nuestros estudios pretenden dejar en evidencia que el fenómeno tiene una relación con los componentes y procesos geológicos locales, es decir la ocurrencia del hidrocarburo se debe a procesos naturales como factores condicionantes.

Según la verificación en campo de la geología, apoyados en las excavaciones de las calicatas, se observan discontinuidades laterales en la estratificación. Del mismo modo las estaciones microtectónicas muestran dos clusters de deformación con orientaciones NE-SO y N-S (Figura 26), las cuales estarían relacionadas a la presencia de las fallas geológicas locales y regionales identificadas por las empresas petroleras y por Lajo et al. (2022).

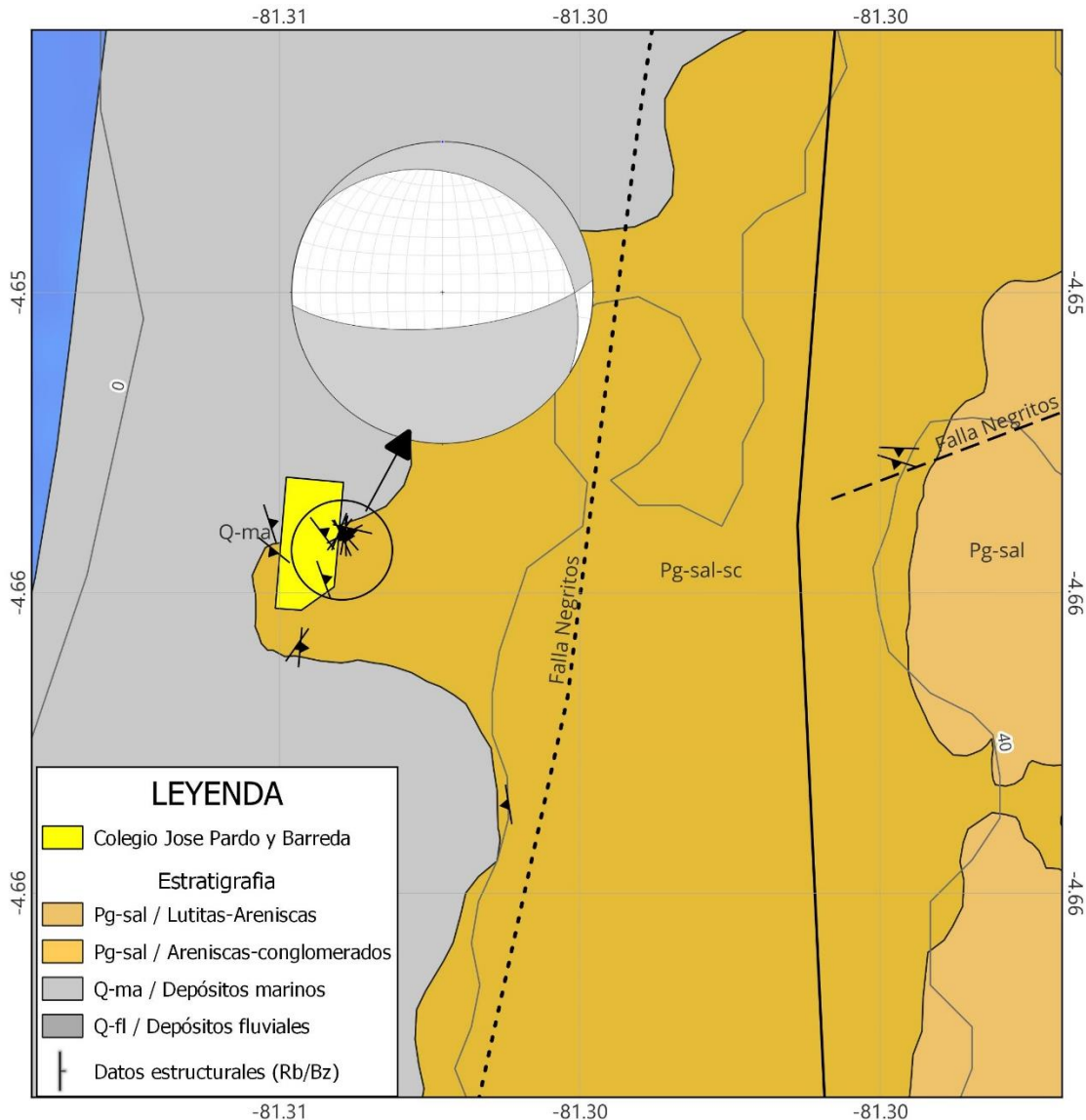


Figura 26. Mapa con la interpretación geológica estructural de la zona de estudio.

Por otro lado, la interpolación de los valores de radón obtenidos en campo muestra anomalías en una tendencia NE-SO (Figura 27).

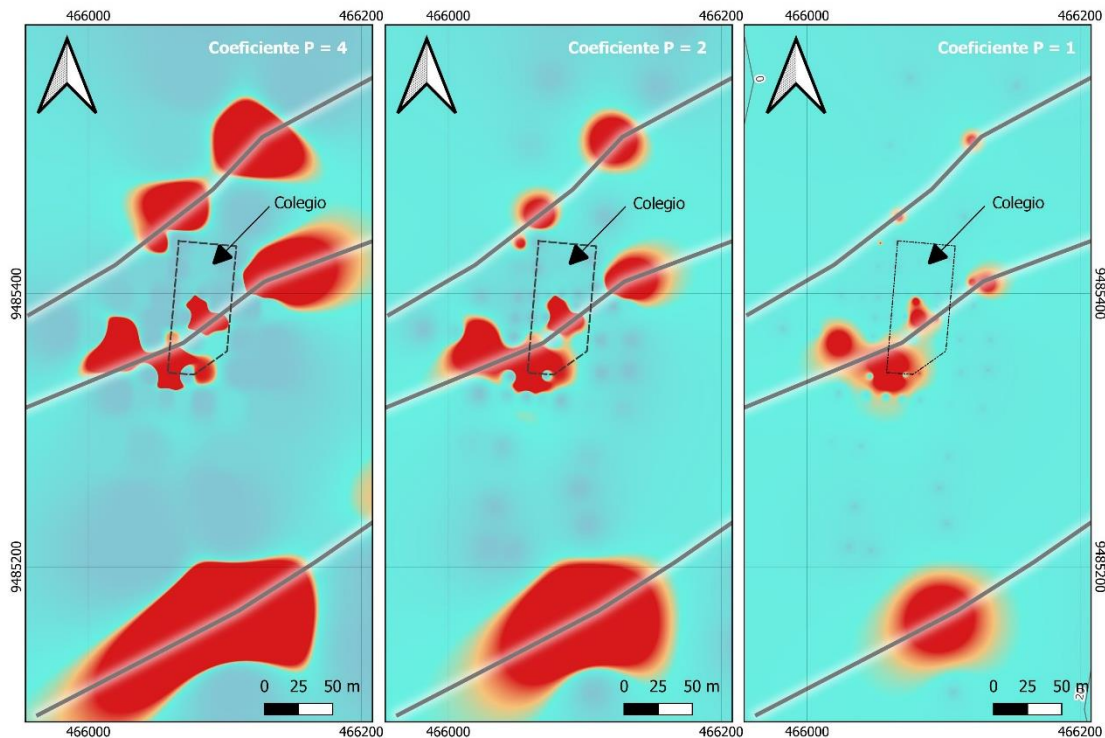


Figura 27. Mapa de interpolación IDW con diferentes coeficientes de distancia (P) de los valores de radón obtenidos en campo. Se observan tendencias en las anomalías con orientación NE-SO que permiten interpretar la presencia de fallas geológicas (líneas grises) en estas zonas.

6.2. Interpretaciones de los perfiles geofísicos

6.2.1. Resultados del modelamiento 3d. Mapas en planta

Un análisis en planta, del resultado de la interpolación de las líneas geofísicas se muestran en las figuras 28 y 29. Las imágenes fueron extraídas cada 5 m desde el tope (0 metros) hasta los 65 metros de profundidad. En los mapas en planta se observan lineamientos NE-SO que están relacionados a los sistemas de fallas identificados con microtectónica. También es posible observar un lineamiento NS que aparece desde los 5 m de profundidad, este lineamiento no muestra continuidad al sur y por falta de información geofísica no se observa su continuidad al norte. Por su relación con las anomalías a diferentes metros esta estructura parece ser una falla de relevo entre las dos estructuras NE-SO. Este aspecto es importante resaltar ya que las fallas de relevo están relacionados a sistemas strike slip, tal como se evidencia en los estudios de microtectónica y en los antecedentes tectónicos de la cuenca Talara.

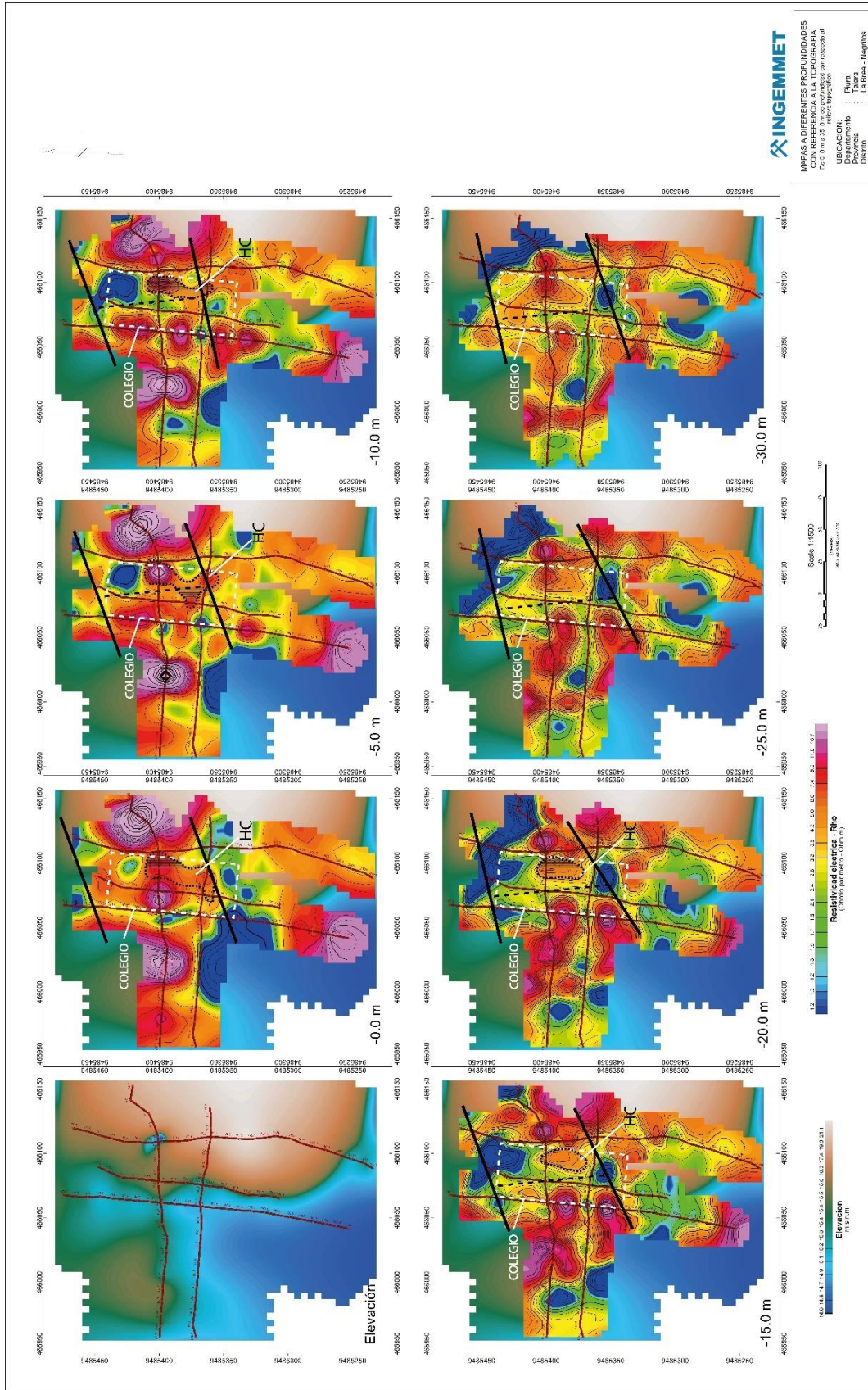


Figura 28. Interpolación de la geofísica entre los 0 y 30 metros. En líneas negras se marcan las fallas, el polígono blanco representa la ubicación del colegio y el polígono negro representa la presencia de hidrocarburo (HC).

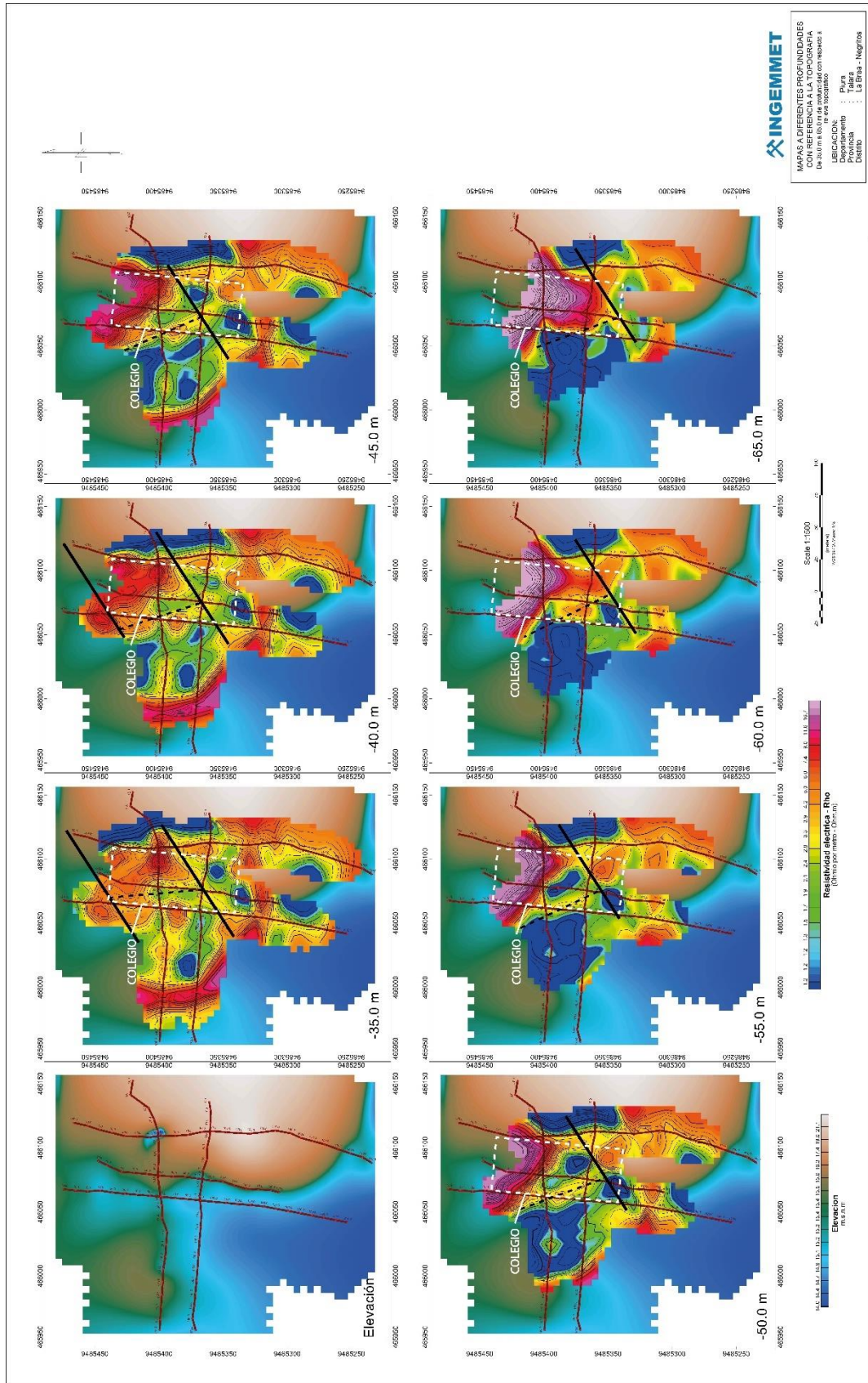


Figura 29. Interpolación de la geofísica entre los 35 y 65 metros. En líneas negras se marcan las fallas, el polígono blanco representa la ubicación del colegio y el polígono negro representa la presencia de hidrocarburo (HC).

Así mismo, se observa en las imágenes entre 0 y 20m anomalías relacionadas a la presencia de hidrocarburos en cuerpos irregulares pero alargados de norte a sur. Al mismo tiempo se observa anomalías de conductividad entre los -10 y -45 metros, variando en forma, esta anomalía estaría relacionada a la presencia de agua subterránea.

6.2.2. Interpretación de las secciones geofísicas en perfil

A) Perfiles N-S

En los perfiles L-01, L-04 y L-05 que tienen dirección N-S, se observan discontinuidades laterales lo que evidencia la presencia de fallas geológicas con dirección perpendicular o semi-perpendicular a estos perfiles (Figura 30). En el perfil L-01 se observa en los primeros metros debajo del colegio un delgado nivel resistivo, el cual está relacionado a la presencia de hidrocarburos (HC), este análisis se respalda en que en este sector se ha identificado un nivel contaminado por hidrocarburo en la calicata 2. Debajo de este nivel resistivo se observa un nivel conductivo (color celeste) el cual estaría relacionado a la presencia de agua subterránea (H₂O). Las discontinuidades laterales marcadas en línea de color negro indican la presencia de las fallas normales identificadas en los afloramientos rocosos en las calicatas del colegio.

Así mismo, en el perfil L-04 se observa la discontinuidad sub-vertical relacionada a la falla identificada en campo. En este perfil que atraviesa el colegio por el medio, se observa un nivel superficial resistivo de aproximadamente 5 metros, este nivel al igual que el identificado en el perfil L-01 debe estar relacionado al nivel saturado en hidrocarburo.

Por último, el perfil L-05 representa a la sección donde mejor se evidencia la discontinuidad lateral, la cual está relacionada a la presencia de la falla geológica. En este perfil que fue realizado en la avenida Loreto ya no se observa un nivel resistivo (hidrocarburo-HC) encima del nivel conductivo (agua-H₂O) lo que indicaría que en esta zona ya no existe un nivel saturado en HC, esto se puede evidenciar en la calicata realizada en esta avenida.

B) Perfiles E-O

En los perfiles L-02 y L-03, se observan discontinuidades laterales lo que evidencia la presencia de una estructura continua con dirección perpendicular o semi-perpendicular a estos perfiles (Figura 31). En el perfil L-02 se observa en los primeros 15 metros debajo del colegio un nivel resistivo, el cual está relacionado a la presencia de hidrocarburos (HC). Debajo de este nivel resistivo se observa un nivel conductivo (color celeste) el cual estaría relacionado a la presencia de agua subterránea (H₂O). Las discontinuidades laterales marcadas en línea de color negro indican la presencia de la falla de relevo interpretada en los mapas en planta.

Del mismo modo la línea L-03 muestra condiciones similares. En este caso el nivel de hidrocarburo se extiende hasta el medio del jardín del colegio conservando la profundidad (15 metros). La anomalía vertical claramente es la continuación de la anomalía en la línea L-02.

Cabe mencionar que inicialmente esta anomalía vertical en el perfil L-02 estaba siendo interpretado como un posible pozo, sin embargo, luego de procesar la anomalía vertical en el perfil L-03, se observa que la anomalía es continua de sur a norte, descartando la hipótesis del pozo.

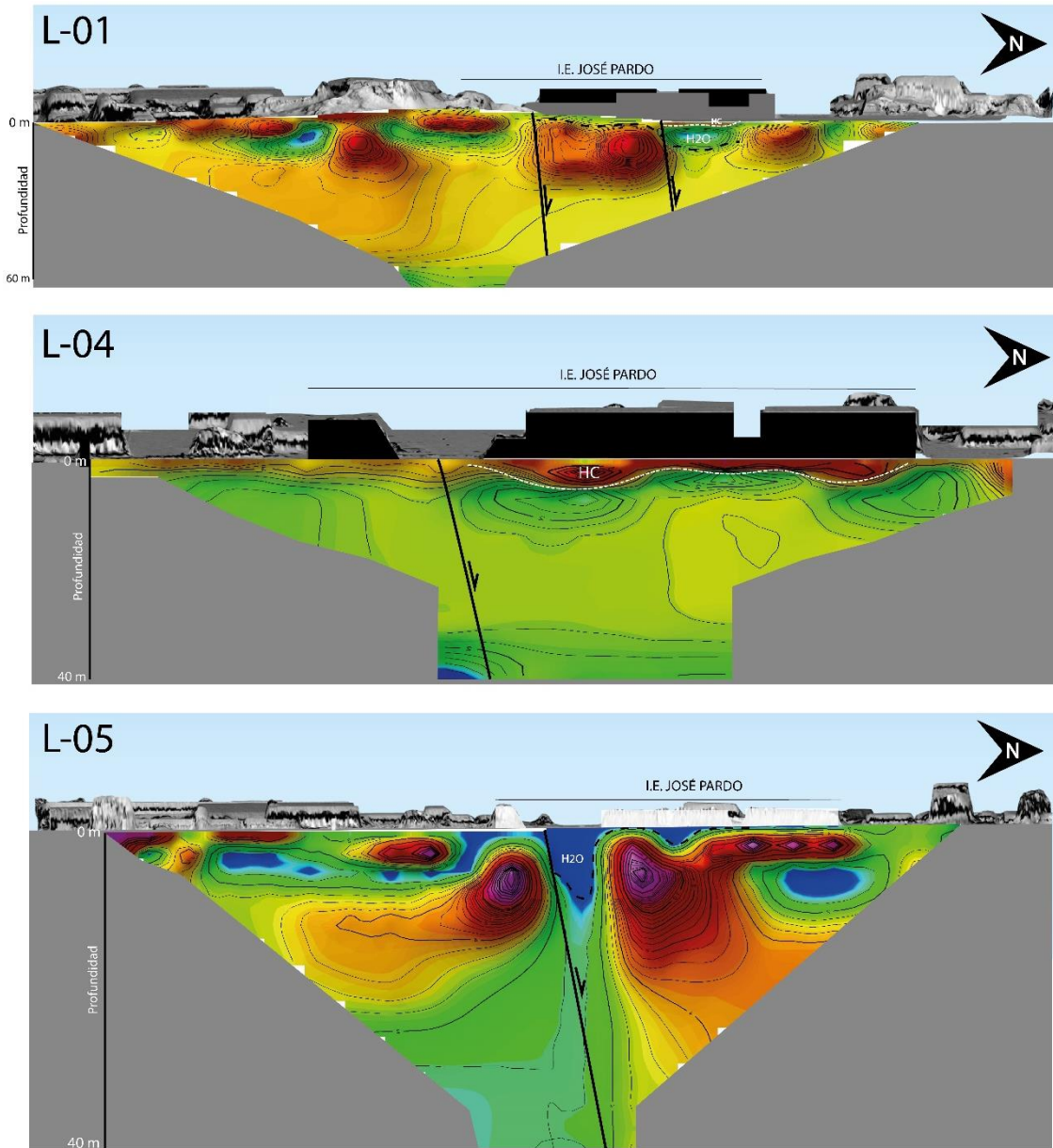


Figura 30. Perfiles geofísicos L-01, L-04 y L-05 interpretados.

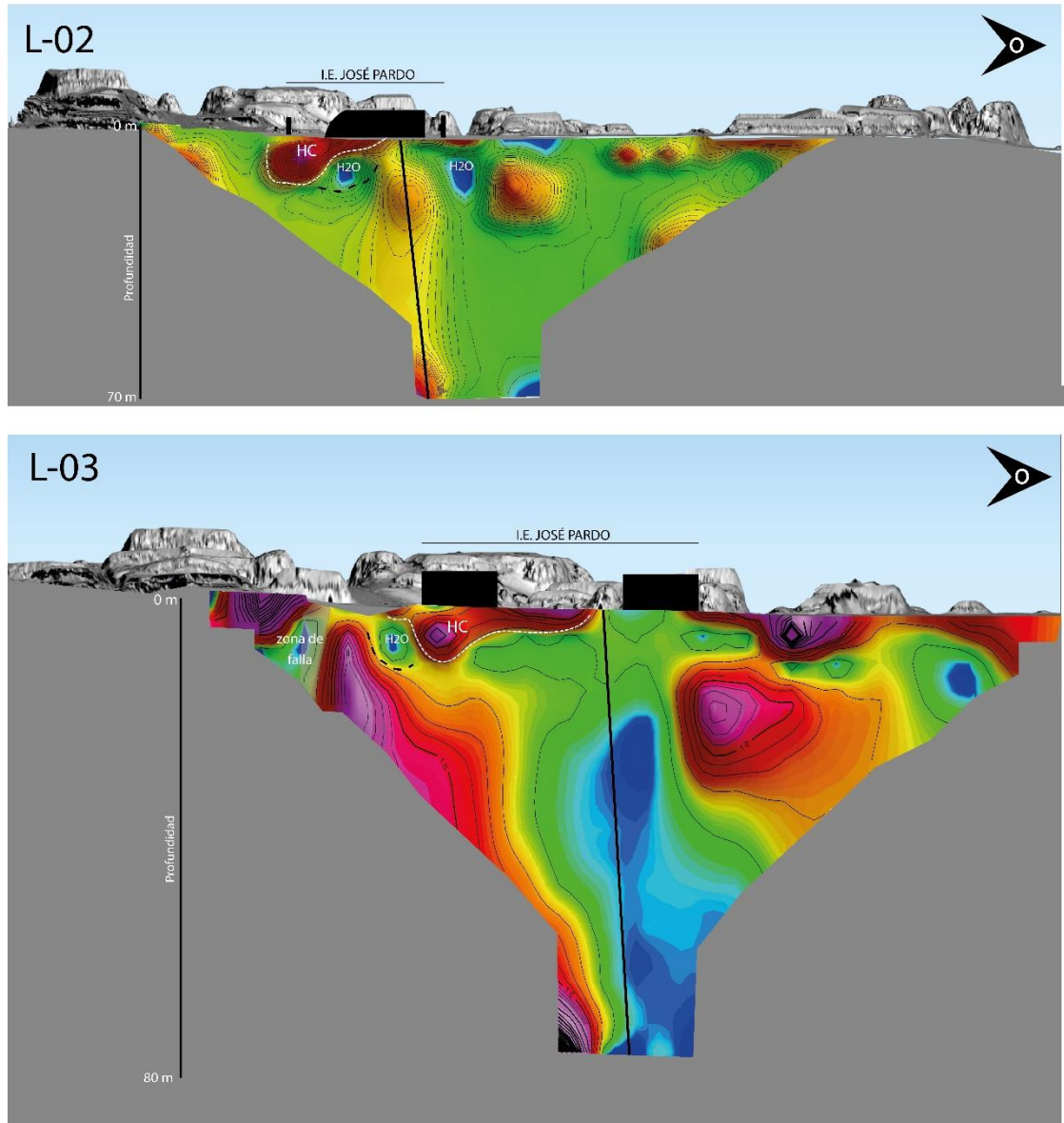


Figura 31. Perfiles geofísicos L-02 y L-03 interpretados.

6.3. Factores desencadenantes

6.3.1. Precipitaciones pluviales

Según los comentarios de los pobladores locales y las personas que laboran en el centro educativo, durante el Fenómeno El Niño del presente año, entre los meses de enero y marzo, incrementó el afloramiento de hidrocarburos. Teniendo en consideración que la media anual en condiciones normales las precipitaciones son de 52 mm, representa un peligro alto las precipitaciones extraordinarias por la presencia del Fenómeno El Niño que pueden llegar hasta 40 mm/día, tal como ocurrió en marzo del presente año (Fuente: SENAMHI).

Este aspecto es muy importante a tener en cuenta debido a que el agua subterránea puede ayudar en el aumento de la producción de hidrocarburo en suelos contaminados como el caso de Negritos. Es conocido que la inyección de agua es una técnica usual en la

industria petrolera para incrementar la producción de los pozos petroleros. Las diferentes densidades generan que el agua “empuje” al hidrocarburo a la superficie.

6.3.2. Factores antrópicos

Tal como se describió, el agua puede ayudar al incremento del afloramiento de hidrocarburo. En caso no existiera precipitaciones pluviales como el caso de La Brea entre los meses de mayo y diciembre del presente año, el origen antrópico del agua puede representar un problema.

Si bien es cierto en la zona no existen actividades de riego, si fue posible identificar un tanque de agua instalado en un pozo sin revestimiento en las inmediaciones de los baños para los escolares de la institución educativa (ver fotos f y g en anexos). Este tanque de agua a primera vista luce sin mantenimiento, con pliegues en sus paredes y grietas asociadas a estas deformaciones. Este tanque alimenta mediante una bomba a otro tanque elevado (Figura 32).

Durante los trabajos de campo se solicitó el llenado de este tanque para analizar las implicancias del tanque de agua con el afloramiento de hidrocarburos. El llenado del tanque inició a las 7:54 am y llegó a su llenado casi al tope de su capacidad a las 12:05 pm. Posteriormente se retorno a las 3:46 pm observándose que el nivel de agua del tanque había reducido en aproximadamente 70 cm, quedando a estabilizarse en los niveles agrietados del tanque de agua.

Se debe señalar que el tanque de agua se encuentra instalado entre los afloramientos de hidrocarburos del patio trasero del colegio y el jardín ubicado al frente del salón del 1ro “C”. Se estima además que el tanque está instalado sobre las areniscas saturadas en hidrocarburos lo que estaría saturando de agua la misma capa que contiene el hidrocarburo.

Es necesario mencionar que inmediatamente después de observar el descenso del agua en el tanque se revisó las calicatas con afloramiento de hidrocarburos, observándose paredes más humedecidas y aumento de hidrocarburo en la calicata ubicada en el patio del colegio.

6.4. Modelo geológico del fenómeno

En las columnas estratigráficas, hemos identificado un nivel gravoso de origen aluvial de edad holocena y que muestra signos de contener hidrocarburos, su tonalidad oscura y el sutil olor a petróleo sugieren que la presencia local de hidrocarburos ha sido constante a lo largo del tiempo. Es fundamental considerar que, en los primeros años del siglo XX, las empresas petroleras, careciendo de tecnología avanzada, perforaron áreas con afloramientos naturales de hidrocarburos, buscando así garantizar el éxito de sus operaciones.

Nuestros estudios estructurales (microtectónica) con apoyo de herramientas como el gas radón y la geofísica nos permite ubicar el trazo de una falla geológica con orientación NE-SO y una estructura menos importante con una tendencia NS atravesando el afloramiento natural de hidrocarburos.

Así mismo, en la zona de afloramiento se registró dos secuencias de areniscas de aproximadamente 1.5 m y 2 m respectivamente, las cuales muestran evidencias de fallamiento y fracturamiento. Estas secuencias muestran saturación por hidrocarburos, así como por la presencia del agua.

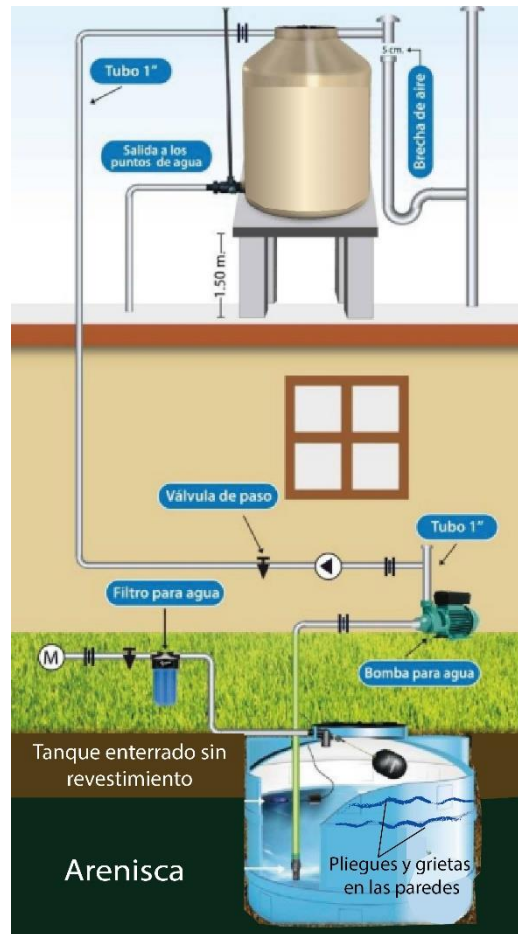


Figura 32. Ejemplo de la instalación de los tanques de agua en el centro educativo. Se identificó un tanque de agua enterrado que alimenta a otro tanque de agua elevado a través de una bomba.

En resumen, las evidencias geológicas indican que, en esta zona, el afloramiento de hidrocarburos es un fenómeno natural (ver modelos en la figura 33). El área estimada de la zona afectada por presencia de hidrocarburos en las unidades geológicas locales es de 2391.71 m² (Figura 34).

Por otro lado, la presencia del tanque de agua sin mantenimiento y las pruebas realizadas en campo nos indican que claramente hay una relación entre el incremento del hidrocarburo y la presencia de agua.

A continuación, se muestra algunos modelos geológicos de la ocurrencia de hidrocarburos en la I.E. José Pardo y Barreda:

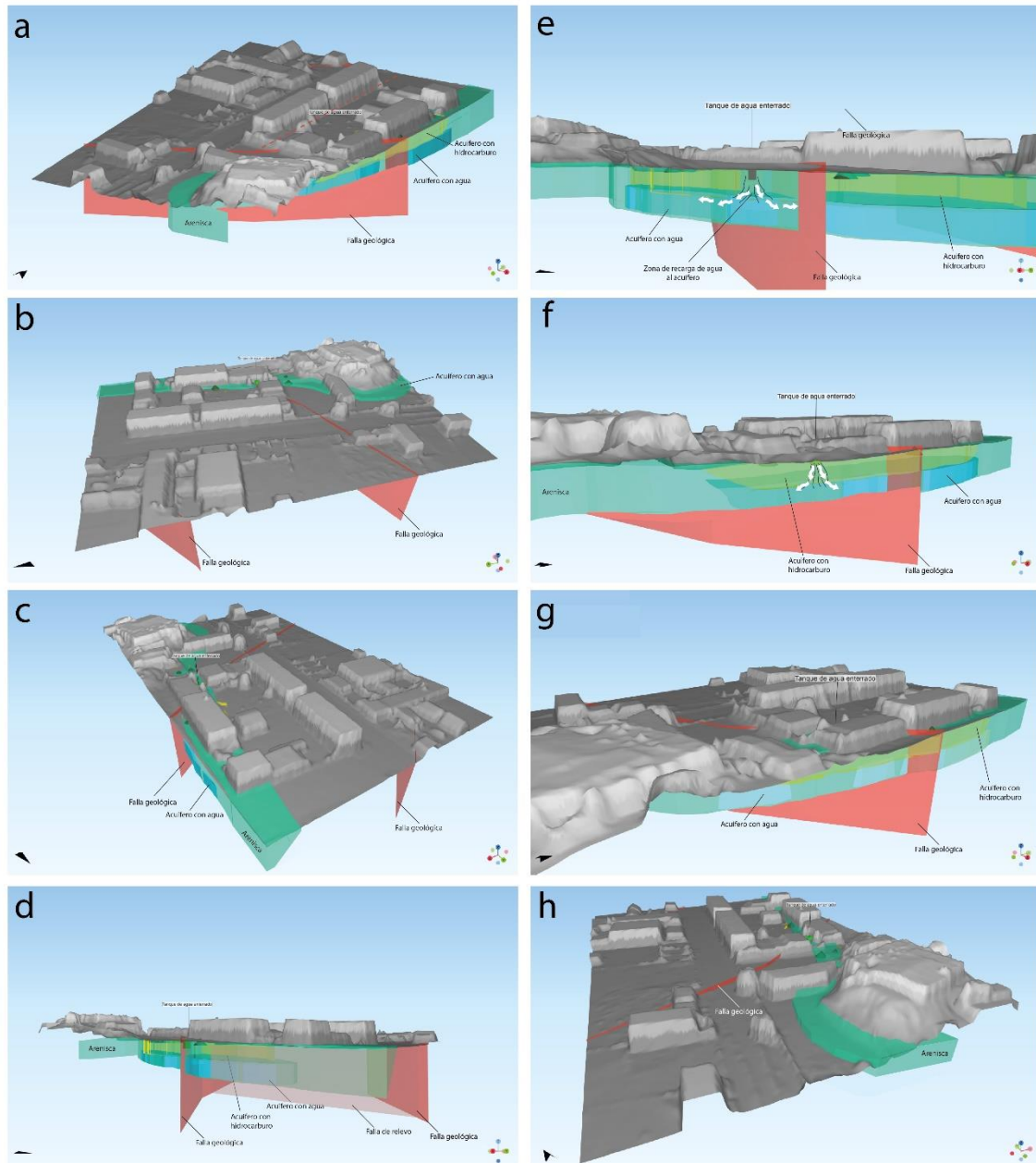


Figura 33. a) Modelo 3D con vista al noreste donde se observa la falla geológica atravesando secuencias de areniscas saturadas en agua e hidrocarburos. También se aprecia en líneas entrecortadas la falla de relevo o zona de transferencia. b) Modelo 3D con vista al este donde se observan trazos de falla y la disposición de las secuencias de areniscas. c) Modelo 3D con vista al suroeste donde se observa la ubicación del tanque de agua en la zona de intersección de la falla geológica y las secuencias de areniscas. d) Modelo 3D, vista en perfil al oeste donde se observa la disposición del acuífero saturado en agua por debajo del nivel saturado en hidrocarburo. e) Modelo 3D con vista en perfil al oeste la zona de recarga antrópica del agua con origen en el tanque de agua enterrado. f) Modelo 3D con vista en perfil al noroeste donde se observa la falla deformando la secuencia de arenisca del Grupo Salina, transportando hidrocarburo y albergando a este en esta secuencia porosa, secuencia que a su vez es saturada en agua por la filtración de agua del tanque de agua. g) Perspectiva al noroeste del modelo anterior. d) Modelo 3D, vista al norte.

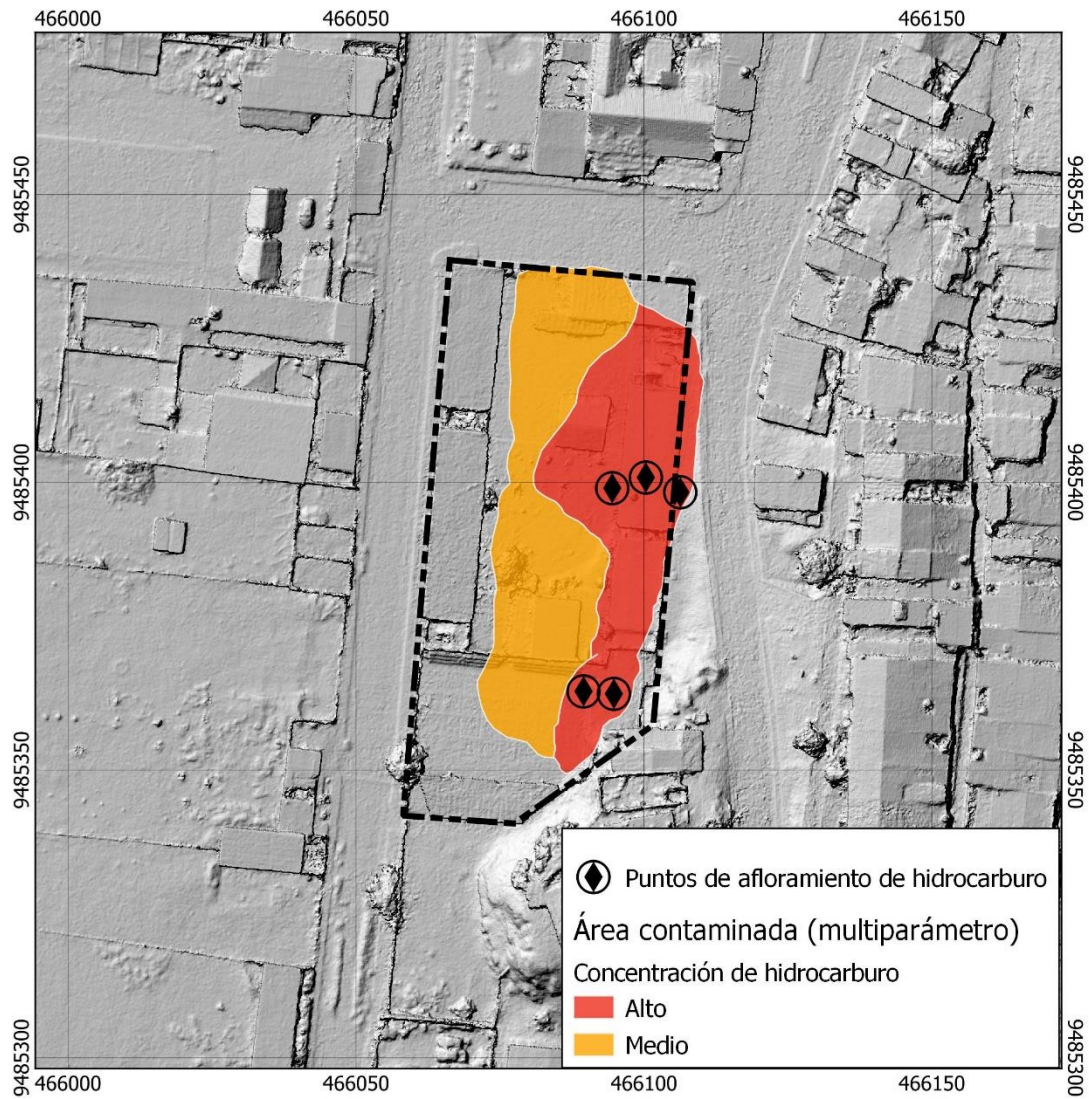


Figura 34. Mapa de concentración de hidrocarburo en el suelo, generado a partir de métodos geofísicos, monitoreo de radón, pruebas de permeabilidad y cartografiado geológico.

7. CONCLUSIONES

- Los estudios realizados por el INGEMMET en la I.E. José Pardo y Barreda y alrededores cubren un área de 1.16 kilómetros cuadrados o 116 hectáreas. En esta área se adquirió información geológica, geofísica, hidrogeológica, de gases radioactivos y permeabilidad.
- Con base en nuestras exhaustivas investigaciones, respaldadas por observaciones geológicas, geofísicas y el uso de monitores de gas radón, se ha confirmado la existencia de una falla geológica con orientación NE-SO que atraviesa el centro educativo. Además, se han identificado otras estructuras con orientaciones NE-SO y N-S en los alrededores.
- La cinemática normal de la falla geológica, con una componente de rumbo tipo dextral, está ejerciendo una influencia significativa en las secuencias del Grupo Salina en las proximidades del colegio. Las secuencias de areniscas, y en menor medida, aquellas compuestas por intercalaciones de areniscas y lutitas, exhiben una saturación notable de hidrocarburos.
- La deformación local, evidente en las pruebas de permeabilidad y en los valores anómalos de radón, indica un grado sustancial de afectación. Las secuencias lutáceas actúan como niveles impermeables, evitando la migración del hidrocarburo.
- El tanque de agua enterrado en las inmediaciones del colegio, situado sobre la secuencia arenosa, presenta signos evidentes de deterioro, incluyendo grietas y pliegues. Esta condición facilita la infiltración de agua en el suelo y/o roca circundante que alberga el depósito. Nuestras pruebas, al llenar el tanque, revelaron una clara relación entre la falta de mantenimiento y el aumento en los niveles de hidrocarburo.
- La aplicación de métodos indirectos, como la geofísica y el gas radón, ha corroborado las observaciones de campo y está directamente vinculada a los recursos geológicos presentes in situ. Los estudios hidrogeológicos han confirmado la alta saturación del acuífero (arenisca) en la actualidad, sobre todo en la zona afectada por la presencia del hidrocarburo.
- Se estimó que el área contaminada por hidrocarburos es de 2391.71 m², esto en base a todos los análisis realizados en campo.
- En el área de estudio, no se encontraron surgencias naturales de fuentes de agua subterránea, ni pozos de agua; la única fuente de abastecimiento de agua para el centro poblado de]Negritos proviene de la captación del río Chira, siendo esta administrada y tratada para el consumo humano, por la EPS Grau (Empresa Prestadora de Servicio de Agua Potable), estos volúmenes de agua no son suficientes para cubrir las necesidades de la población, siendo proporcionada sólo en ciertos horarios durante el día.

- En conclusión, el análisis de los datos recopilados en campo y el procesamiento de información en gabinete nos lleva a vincular la presencia del hidrocarburo a una fuente natural. Sin embargo, es crucial destacar que la variación en los niveles de hidrocarburo y/o su circulación está estrechamente ligada a la presencia de agua, ya sea por precipitación natural o por factores antropogénicos. Este hallazgo destaca la necesidad de una gestión cuidadosa de los recursos hídricos para mitigar cualquier impacto potencial en la calidad del suelo y la salud ambiental.

8. RECOMENDACIONES

1. En vista de la posible ocurrencia del Fenómeno El Niño en los primeros meses del 2024, es imperativo llevar a cabo el relleno de las calicatas previamente excavadas para el estudio de hidrocarburos. Dado que, como se detalla en el informe, el aumento de hidrocarburos está directamente vinculado a la presencia de agua en el acuífero, se hace urgente tomar estas medidas, especialmente debido a la proximidad del inicio del fenómeno.
2. Se requiere la limpieza y extracción del hidrocarburo de las áreas que presentan este material antes de iniciar el relleno e impermeabilización de las zonas afectadas.
3. Con el objetivo de prevenir la infiltración de agua de origen natural, se sugiere impermeabilizar la zona contaminada con hidrocarburo utilizando material arcilloso, especialmente bentonita. Estas acciones pueden complementarse con el uso de geomembranas o geo-polímeros de PVC.
4. La zona impermeabilizada debe contar con obras de drenaje y/o alcantarillado, todo ello coordinado con especialistas en la materia.
5. Se debe evaluar la viabilidad de instalar tuberías verticales al aire libre para la liberación de gases acumulados en el subsuelo, con el propósito de evitar el hinchamiento del suelo ante la acumulación de gases.
6. Se aconseja retirar cualquier tipo de tubería (agua, desagüe o electricidad) de la zona intervenida para evitar el deterioro de las obras realizadas en el área afectada.
7. Es fundamental retirar el tanque de agua enterrado dentro de la institución educativa para prevenir posibles fugas de agua.
8. Finalmente, se sugiere considerar el uso del área afectada como zona de recreación o área verde, proporcionando así un beneficio adicional a la comunidad educativa y minimizando el impacto ambiental.



Ing. Briant Garcia Fernández Baca



ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

REFERENCIAS

- Agüero, J. & Pujol, R. (2000) - Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del valle central de Costa Rica (en línea). VII Conferencia Anual Latinoamericana de Usuarios ESRI /Erdas y VI Conferencia Internacional de Topografía, 20-22 setiembre, 2000. (consulta: 13 junio 2023). <https://acortar.link/85bZng>
- Aylas, E. (2021). Caracterización geológica de un yacimiento sobreexplotado de hidrocarburos para determinar la capacidad de almacenamiento de CO₂. Caso de estudio: Cuenca Talara - Lote I. Tesis Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Bianchi, R.C., 2002, Sistema petrolero, mecanismos de entrapamiento de fluidos en el campo Litoral. Cuenca Talara— nor oeste del Peru: Lima, Peru, Ingepet 2002.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (2001) - Hidrología Subterránea, Volumen 1. (Omega, Ed.) (2a Edición). Barcelona.
- Custodio, E., Llamas, MR. (1983) “Hidrología subterránea.” Ed. Omega, Barcelona.
- Foster, S. & Hirata, R. (1988) - Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; OMS/OPS, 42 p.
- Garcia, B, Oviedo, M., Astete, I. y Garcia, J. (2014). Congreso Peruano de Geología, 17, Lima, 12-15 octubre 2014. Resúmenes. 4 pp.
- Gonzales Torres, E.R., 1999, Modelo sedimentario de la formacion Basal Salina cuenca Talara: Lima, Peru, Ingepet '99.
- Gonzales, E., and Alarcon, P., 2002, Potencial hidrocarburifero de la cuenca Talara: Lima, Peru, Ingepet 2002.
- Higley, D. (2004). The Talara Basin Province of Northwestern Peru: Cretaceous-Tertiary Total Petroleum System. U.S. Geological Survey Bulletin 2206-A. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. 28 pp.
- Instituto Geológico y Minero de España (1976) - Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los mantos acuíferos de la España Peninsular, Baleares y Canarias. Primer esquema cualitativo. 2a. ed. Madrid: IGME, 10 p., 2 mapas.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2023), Moreno, J. “Evaluación Hidrogeológica en la ciudad de Ilo”, distritos Ilo y El Algarrobal, provincia Ilo, departamento Moquegua.
- Lajo-Yáñez, J., Flint, S., Brunt, R., Huuse, M., Searle, S. & Sheppard, J. (2022). Disentangling tectonic and eustatic controls on forearc basin stratigraphy, Talara Basin, Peru, *Sedimentary Geology*, Volume 442.
- Loke, M.H. & Barker, R.D. (1996) - Practical Techniques for 3D Resistivity Surveys and Data Inversion. *Geophysical Prospecting*, 44, pp. 4-5.
- Módulo de Quality Control for your Induced Polarization Data (2016). Disponible en:

<http://updates.geosoft.com/downloads/files/how-to-guides/Quality_Control_for_your_IP_Data.pdf>.

- Ruez Lurquin, M.A., 1999, Tectonica en la cuenca Talara costaafuera, nor-oeste Peru Exploration and exploitation of petroleum and gas: Lima, Peru, Ingepet '99.
- Sebrier, M., Mercier, J.L., Machare, J., Bonnot, D., Cabrera, J., and Blanc, J.L., 1988, The Andes of central Peru: Tectonics, v. 7, no. 4, p. 895–928.
- Seranne, M., 1987, Evolution tectono-sedimentaire du Bassin de Talara (nord-ouest du Perou): Bulletin de l'Institut Français des Etudes Andines, v. XVI, no. 3-4, p. 103–125.
- Tejada, G. 1994. Vocabulario geomorfológico. Edición Akal. Madrid. 144p.

ANEXOS
PANEL FOTOGRÁFICO



Foto a. Fallas normales N-S en la calicata 2.



Foto b. Fallas E-W (flecha blanca) en la calicata ubicada en el jardín del colegio. Nótese la arenisca saturada en hidrocarburo.



Foto c. Falla normal E-W afectando secuencias sedimentarias del Grupo Salina. Esta falla se encuentra ubicado a 400 metros del colegio en dirección NEE.



Foto d. Equipo geodésico (GPS diferencial) al fondo y Monitor de radón Atmos al frente.



Foto e. Falla normal N-S afectando secuencias sedimentarias del Grupo Salina. Esta falla se encuentra ubicado en el patio posterior del colegio.



Foto f. Ubicación de tanque de agua enterrado.



Foto g. Tanque de agua enterrado. Se puede observar los plieques del tanque, los cuales presentan grietas. Coordenadas UTM: 466090.76/9485377.57.

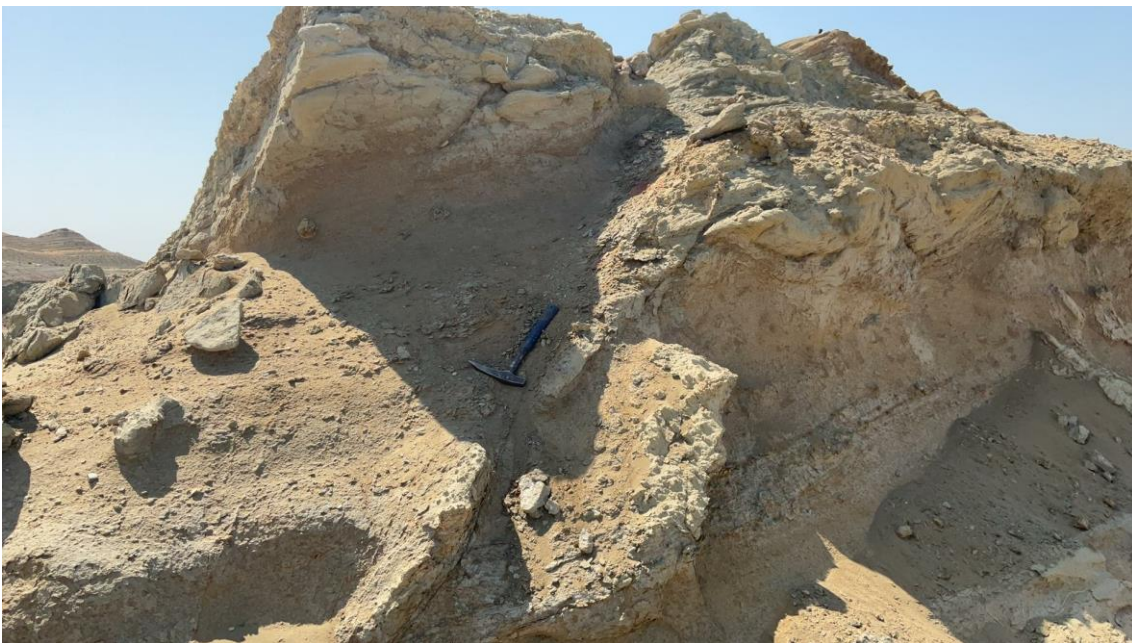
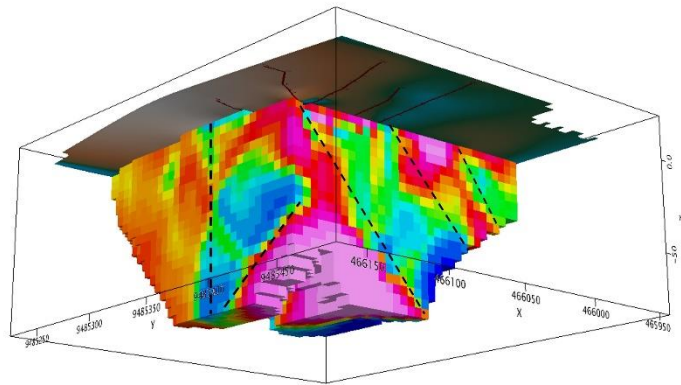
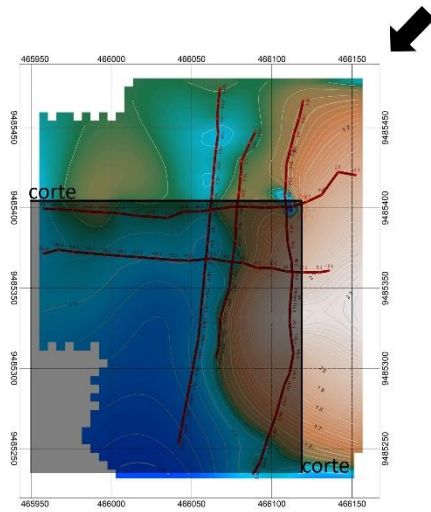
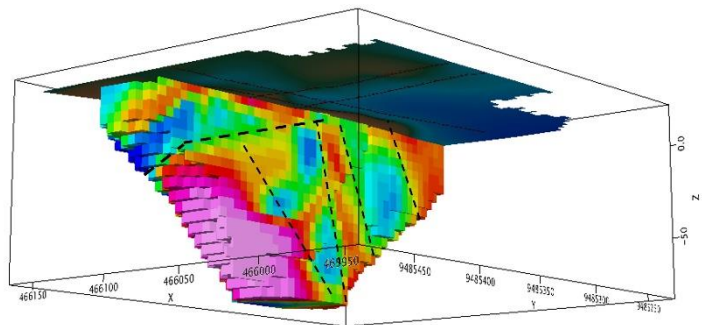
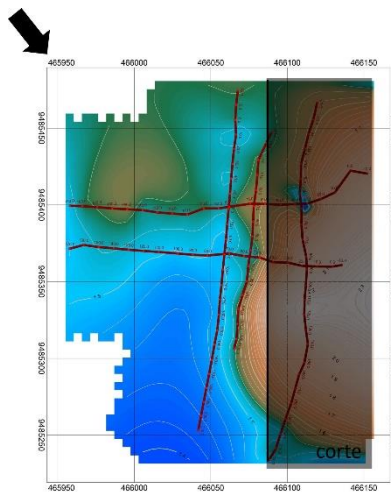


Foto i. Falla normal N-S afectando secuencias sedimentarias de la Formación Palegedra. Punto ubicado a 970 m al sureste del colegio.

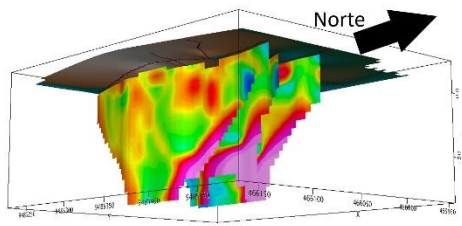
MODELOS GEOFÍSICOS COMPLEMENTARIOS



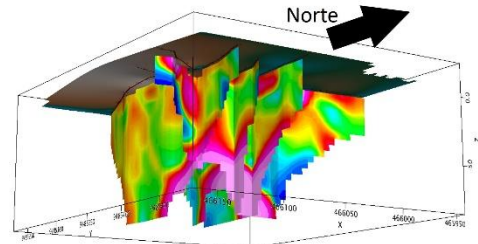
Modelo en Bloque 3d. Vista de la zona afectada desde el NE, recortado según plano. (zona visible = sombreado)



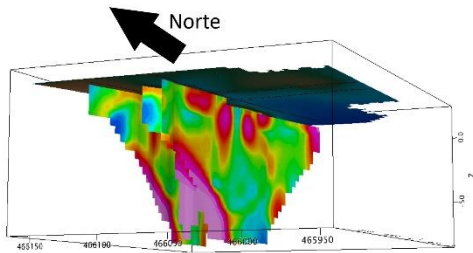
Modelo en Bloque 3d. Vista de la zona afectada desde el NO, recortado según plano (zona visible = sombreado)



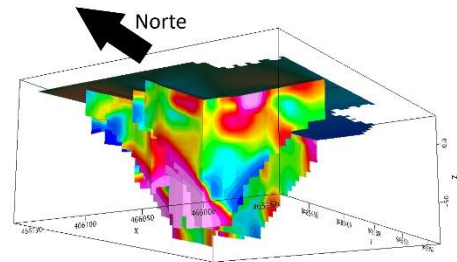
Vista del NE de las líneas L-1, L-04 y L-05



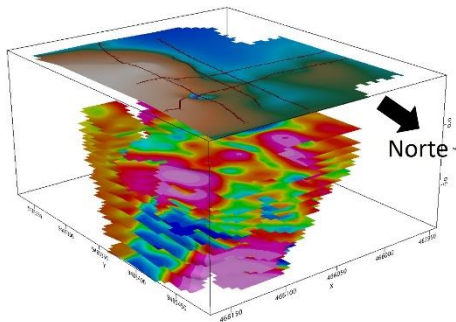
Vista del NE de las líneas L-1, L-03, L-04 y L-05



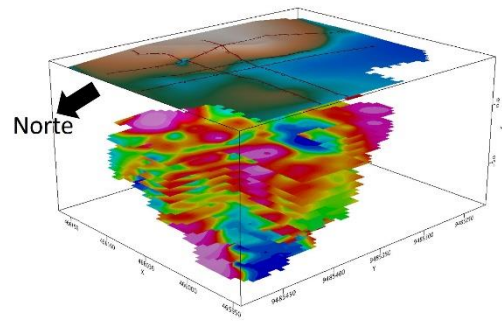
Vista del NO de las líneas L-1, L-04 y L-05



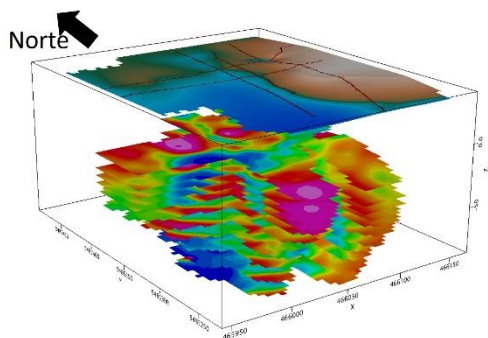
Vista del NO de las líneas L-1, L-03, L-04 y L-05



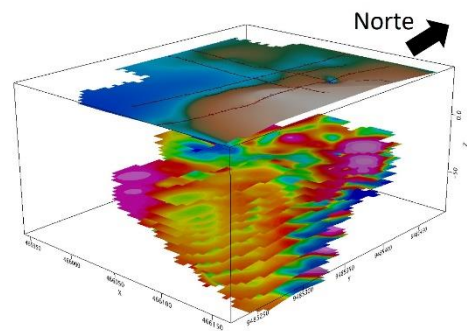
Modelo en Bloque 3d. Vista NE



Modelo en Bloque 3d. Vista NO



Modelo en Bloque 3d. Vista SO



Modelo en Bloque 3d. Vista SE