

INFORME

**PROSPECCIÓN GEOFÍSICA CON GEORADAR-GPR EN EL SECTOR DE
SACTA DEL DISTRITO DE SANTIAGO PROVINCIA Y DEPARTAMENTO
DE ICA**



Ing. Walter Pari Pinto

Abril, 2008

“INSTRUMENTACIÓN GEOFÍSICA CON GEORADAR EN EL SECTOR DE SACTA - DISTRITO DE SANTIAGO PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE ICA”

CONTENIDO

1. Introducción	3
1.1 Ubicación	
2. Especificaciones del Levantamiento	3
2.1 Personal	
2.2 Fundamentos de la Técnica del Georadar	
2.3 Trabajo de campo	
2.3.1 Equipo	
2.3.2 Procedimiento en Campo	
2.4 Control de calidad	
3. Procesamiento y Edición de Radargramas	6
3.1 Acciones de Edición	
3.2 Procesamiento	
3.3 Presentación de Radargramas Procesados	
4. Interpretación Geofísica	7
4.1 Determinación de Anomalías	
4.2 Descripción de Resultados e Interpretación con Georadar	
5. Conclusiones y Recomendaciones	14

Anexos

Fotos del Trabajo de Campo

Lista de Tablas

Tabla N° 1. Líneas con Georadar – GPR.

Tabla N° 2. Parámetros para el levantamiento con antenas de 50 MHz

Lista de Figuras

Figura N° 1: Ubicación del área de estudio con Georadar en EL Sector de Sacta del distrito de Santiago.

Figura N° 2: Equipo pulse Ekko pro (biestático)

Figura N° 3: Formación de un radargrama (modo reflexión)

1. Introducción

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico a solicitud de la Organización Solidaridad Internacional Andalucía de España, a través de su coordinador Eduardo Agui Fuentes se procedió a llevar a cabo un estudio de investigación geofísica incluido con el método del georadar GPR pulse EKKO PRO. Cuyo objetivo fue definir las características físicas del área. Así como también determinar zonas anómalas relacionadas a deformación de suelos y delimitar las diferentes capas de material superficial (suelos, gravas, limos y arenas) y la profundidad de la napa freática. Con la finalidad de contribuir a la mejora en las capacidades del Municipio de Santiago para la planificación del Proceso de Reconstrucción con un enfoque de gestión de riesgo. Para ello se tuvo la participación también de CESEL Ingenieros S.A., con quienes realizamos un esfuerzo común para llevar a cabo estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos que permitan conocer las características del suelo de dichos distritos. Se han ejecutado estudios de Georadar-GPR de alta frecuencia, microtremores y geotecnia.

Después del sismo del 15 de agosto del 2007 ($M_w = 7.9$), se realizó la evaluación de daños a nivel de ciudades, provincias, distritos y localidades del departamento de Ica. Según lo reportado por Defensa Civil y ONG's nacionales e internacionales, además de la ciudad de Ica, también fueron afectados considerablemente varias localidades pequeñas; entre ellos la localidad de Sacta, ubicada a 137 km del epicentro del sismo (Figura 1a).

Los resultados del estudio geofísico se presentan en este informe el cual contiene a su vez una descripción de los procedimientos de levantamiento, metodología, resultados e interpretación.

1.1 Ubicación

La localidad de Sacta, está ubicada a 21 km de la ciudad de Ica y 9 km de la ciudad de Santiago, capital del distrito del mismo nombre (departamento de Ica). Esta localidad fue asentada dentro de una zona agrícola y está compuesta por 80 familias aproximadamente. Políticamente pertenece al distrito de Santiago, provincia y departamento de Ica.

Punto	ESTE	NORTE
1	372000	8522000
2	384000	8522000
3	384000	8512000
4	372000	8512000

2. Especificaciones del Levantamiento

2.1 Personal

Ing. Walter Pari Pinto
Pract. Max Panhigua Tasayco

Geofísico - INGEMMET
Practicante Geólogo – INGEMMET

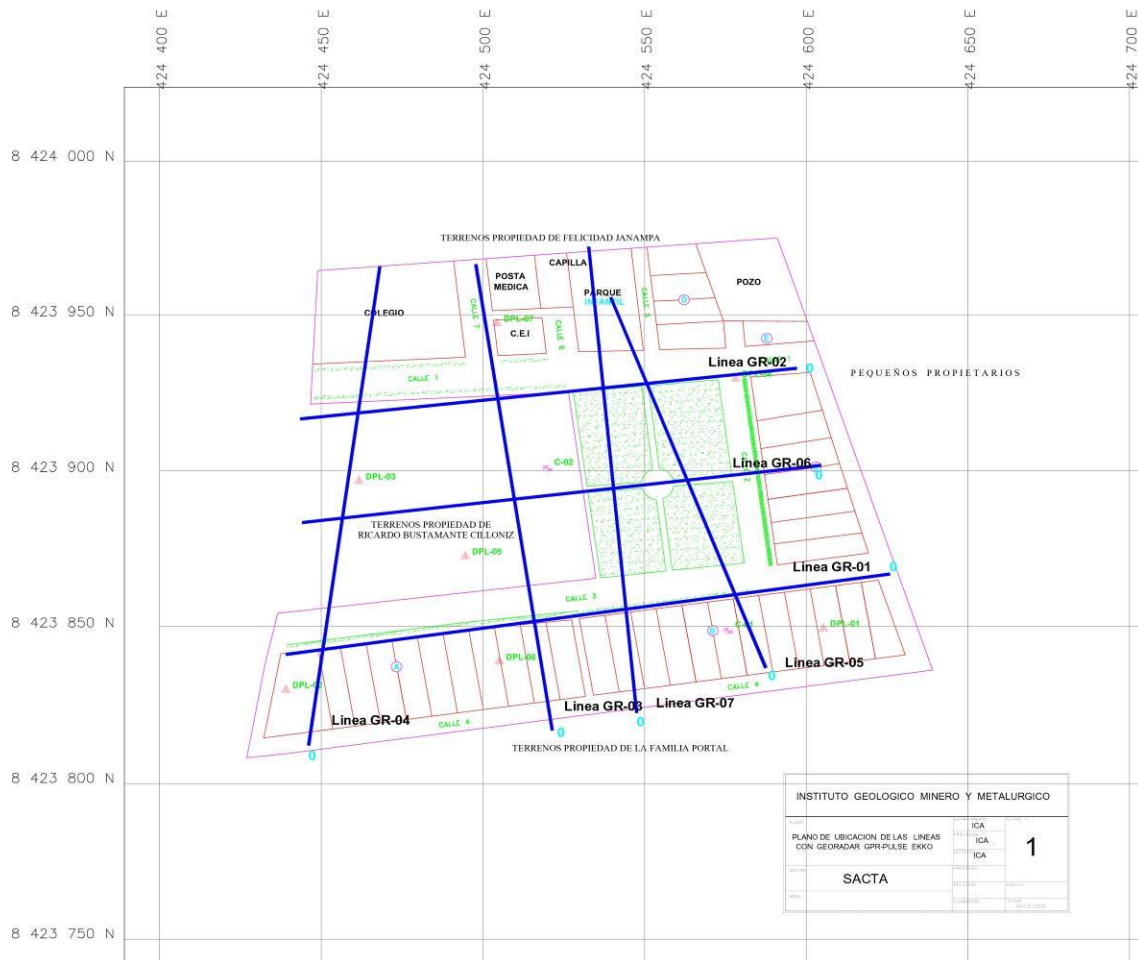


Figura N° 1 – Ubicación de las Líneas de Georadar GPR-Pulse Ekko Pro en el sector de SACTA distrito de Santiago - ICA

2.2 Fundamentos de la Técnica del Georadar

El Georadar, es una técnica no destructiva que permite realizar una exploración del subsuelo en superficie mediante la emisión de pulsos electromagnéticos. Cuando el pulso electromagnético de poca duración (nanosegundos) emitido por la antena transmisora atraviesa la superficie experimenta reflexiones al incidir sobre interfaces u objetos con diferentes propiedades electromagnéticas y diferente permeabilidad, esta onda de regreso es captada por la antena receptora. Bajo un mismo punto de observación se tendrá un conjunto de reflexiones que constituirán una traza, al desplazar las antenas sobre la superficie se van detectando y almacenando un conjunto de trazas en la línea de desplazamiento de las antenas, de esta forma se van formando una especie de “radiografía” del subsuelo, a la que se le denomina radargrama, la Fig. 2 muestra la formación de un radargrama. En el eje de la abscisas se tiene la longitud de la línea de exploración que corresponde a la longitud de desplazamiento de la antena en una dirección, en el eje de las ordenadas se tiene el tiempo de ida y vuelta del pulso, si se conoce la velocidad de la onda en el medio el eje de ordenadas puede ser convertido a profundidad.

2.3 Trabajo de Campo

2.3.1 Equipo utilizado

El equipo empleado es un GEORADAR pulse EKKO PRO de la compañía canadiense, Sensors & Software, Fig. 3, consiste de lo siguiente: Tres antenas de alta frecuencia (50, 100 y 200 MHz), Transmisor y Receptor, Pulsador eléctrico, un sistema de adquisición de datos Digital Video Logger (DVL) con software incorporado para el registro de los parámetros del GPR, control de adquisición, parámetros de levantamiento, selección de directorios, archivos de almacenamiento y colección de líneas de datos, Cables de fibra óptica y Baterías.

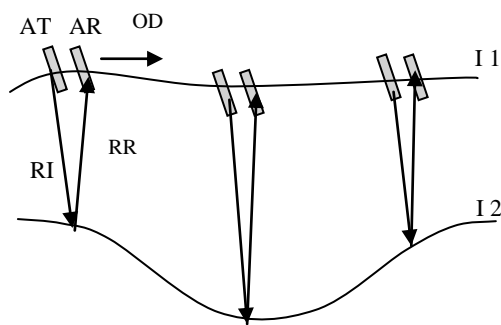


(a)

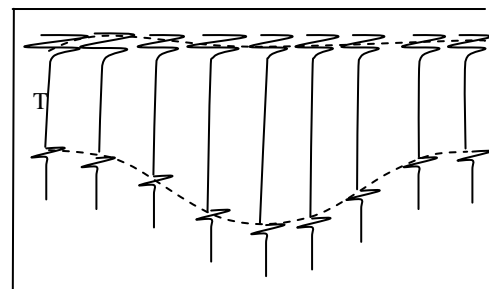


(b)

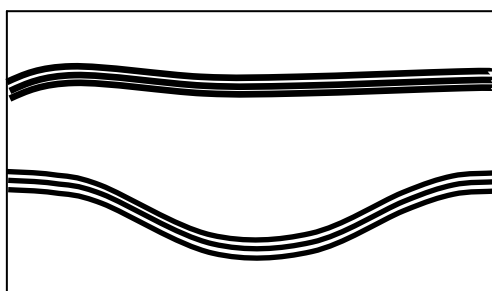
Figura Nº 2: Equipo pulse Ekko pro (biestatico). (a) Antenas no blindadas de 200 MHz., (b) Sistema de adquisición de datos con software incorporado (DVL).



a



b



c

Figura Nº 3: Formación de un radargrama (modo reflexión).

(a) Proceso de adquisición de datos, Antena Transmisora (AT), Antena Receptora (AR), Onda directa (OD), Rayo incidente (RI), Rayo Reflejado (RR), interfase aire y primer medio (I1), interfase primer y segundo medio (I2)

(b) Radargrama formado por varias trazas (T), formato wiggle, (c) Radargrama en formato scan (en banda del gris o colores asignados a diferentes amplitudes)

2.3.2 Procedimiento en Campo

Se realizó un previo reconocimiento de los sectores a investigar, teniendo en cuenta la topografía del lugar de impacto y geología del área de estudio.

Luego se procedió a realizar el levantamiento respectivo previo control de la calibración del método geofísico del Georadar-GPR en modo reflexión, en el sector de Sacta del distrito de Santiago donde empezamos a ejecutar el levantamiento de las líneas con el fin de caracterizar los reflectores de las señales electromagnéticas en las secciones de georadar en Sacta.

El estudio geofísico de campo se llevó a cabo del día 18 al 20 de marzo del 2008 con viaje incluido, ejecutándose una red de 07 líneas de GPR con un total de 1016.75 m de longitud, distribuidos en el terreno de Sacta. Se exploraron con dos tipos de antenas, de 50 y 100 Mhz.

Tabla N° 1: Líneas de georadar en el sector de Sacta DISTRITO DE SANTIAGO - ICA

Ubicación	Coordenadas UTM			
	Punto Inicio		Punto Final	
	Norte	Este	Norte	Este
LR-01	8423870	424624	8423842	424439
LR-02	8423936	424601	8423918	424452
LR-03	8423822	424524	8423959	424495
LR-04	8423811	424445	8423958	424463
LR-05	8423831	424579	8423962	424541
LR-06	8423901	424567	8423884	424449
LR-07	8423835	424557	8423958	424536

2.4 Control de Calidad

Con el fin de asegurar la calidad y precisión de los datos se tomaron en cuenta los parámetros del manual del equipo de georadar y que están citados en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2. Parámetros para el levantamiento con antenas de 50 MHz.

Frecuencia de la antena(MHz)	Profundidad de Investigación (m)	Ventana de Tiempo (ns)	Intervalo de Muestreo (ns)	Separación mínima de antenas (m)	Separación entre Estaciones(m)	Velocidad de la onda en el medio (m/ns)
50	20	400	1.6	2.0	0.50	0.13
100	12	200	0.8	1	0.25	0.13

Los datos fueron tomados con una velocidad de 0.13 m/ns, este valor por defecto no altera la interpretación que se haga posteriormente sobre el radargrama ya que después de la calibración de este se obtiene la velocidad de onda en el medio, se aplicó un control automático de ganancia (Automatic Gain Control, AGC).

3. Procesamiento y Edición de Radargramas

Los radargramas sin procesar nos dan una interpretación cualitativa, como la evidencia de una respuesta uniforme, la presencia de anomalías representadas por

cuerpos reflectores y discontinuidades del medio, sin embargo es necesario realizar una edición y procesamiento de datos que comprende varios pasos con el objetivo de resaltar las anomalías, definir los estratos y encontrar sus profundidades, el procesamiento y la edición ha sido realizada con los software Ekko View Deluxe.

3.1 Presentación de Radargramas Procesados

Los radargramas procesados y editados con el Ekko view Deluxe, se encuentran en el anexo donde se muestran las diferentes reflexiones del material fino de limos y arcillas en contraste con el material permeable de gravas y arenas donde se acumula el acuífero.

4. Interpretación Geofísica

Una vez efectuado el procesamiento de los radargramas, se definen los tipos de anomalías en estos. Las anomalías están representadas por : **reflectores hiperbólicos (anomalías de tipo hiperbólico)**, que pueden constituir grandes bloques de roca, cavidades, etc., **reflectores lineales (horizontales, verticales, inclinados o curvos)**, que corresponden a las interfaces entre dos medios de diferentes propiedades electromagnéticas indicando la presencia de diferentes capas, nivel freático, fracturas y fallas así también si estos son de pequeña extensión pueden indicar hoyos, cavidades o removimientos del suelo y secuencia estratigráfica.

La primera interpretación cualitativa de los radargramas, nos permite apreciar las condiciones del subsuelo que en la parte superior aproximadamente 2 a 3 m han sufrido deformaciones debido a la actividad agrícola imperante en la zona durante mucho tiempo y por debajo las reflexiones se atenúan y parece indicar tierra fina no removida y por debajo el material de arenas con gravas muy permeable se encuentra saturado.

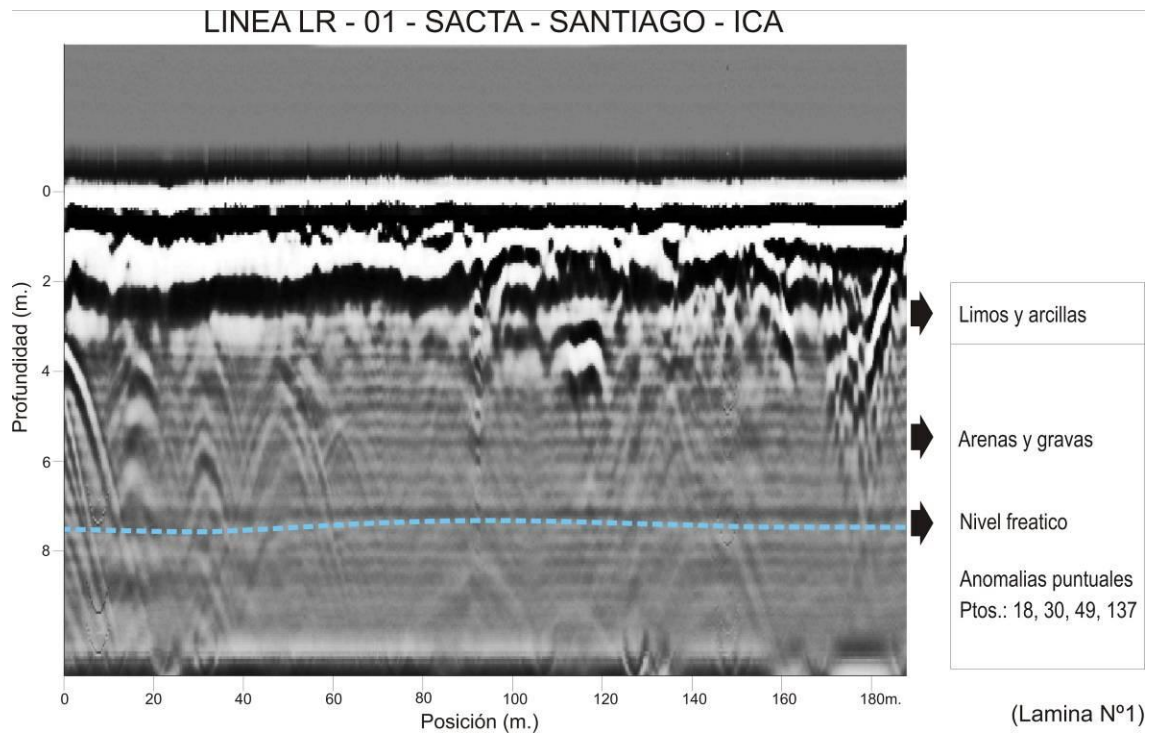
4.1 Determinación de Anomalías

La calibración de los radargramas, ha consistido en obtener la velocidad de la onda en cada sector. La velocidad de la onda en cada sector permite determinar la profundidad de penetración de la señal, así como la profundidad de cada anomalía.

Con la velocidad de onda, obtenida en el sector de Sacta se ha determinado una profundidad de investigación máxima de aproximadamente entre 12 m (líneas LR-01 a LR-05) a 24 metros (LR-06 y LR-07).

4.2 Descripción de Resultados e interpretación de las líneas con Georadar

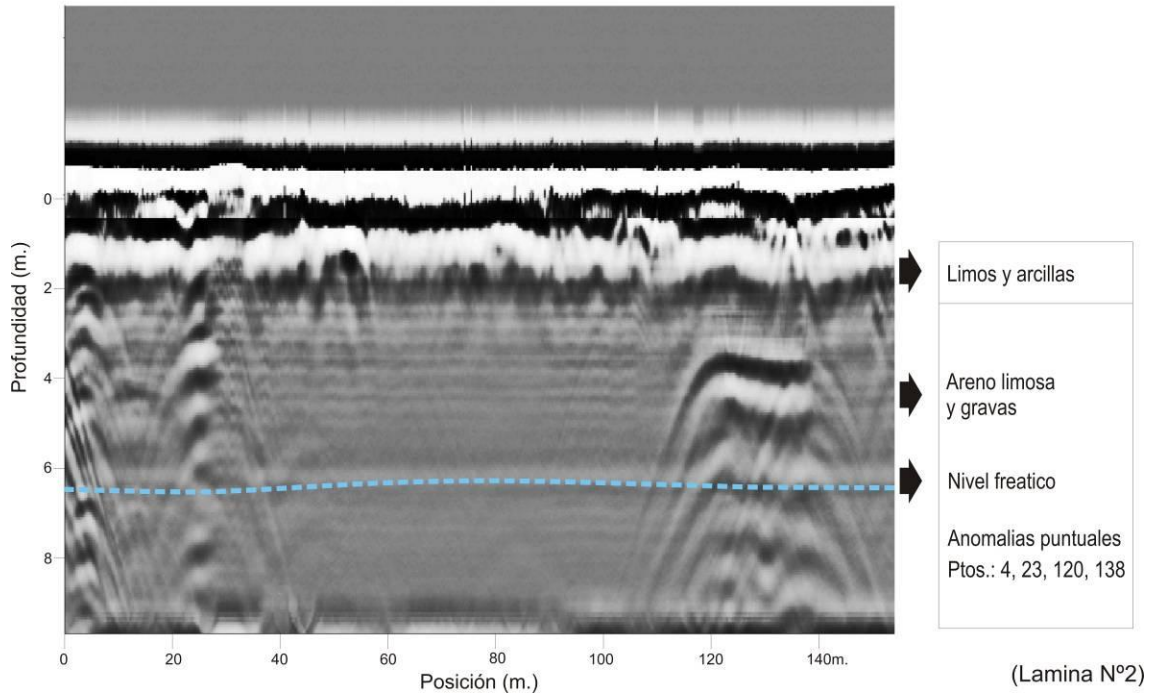
SECTOR SACTA – DISTRITO DE SANTIAGO – ICA



LINEA LR-01 – SACTA – SANTIAGO – ICA (Figura N° 1)

Línea se ubica en los terrenos de propiedad Ricardo Bustamante Colloniz, con una longitud de 185 metros de distancia, rumbo S10°W donde se ha determinado dos capas bien diferenciados. La capa superior esta conformado por materiales finos (limos y arcillas) tiene un espesor de 4.5 metros, la segunda capa esta constituida por arenas y gravas 11.5 metros aproximadamente, en esta capa se ha identificado una Anomalía planar a lo largo de todo el perfil que identifica el nivel freático y se encuentra a la profundidad de 7.5 metros medidos desde la superficie, también se ubico las anomalías puntuales en los siguientes puntos 18, 30, 149 y 137 metros desde el punto de inicio de la prueba, estas anomalías indican probables ductos de tuberías de agua .

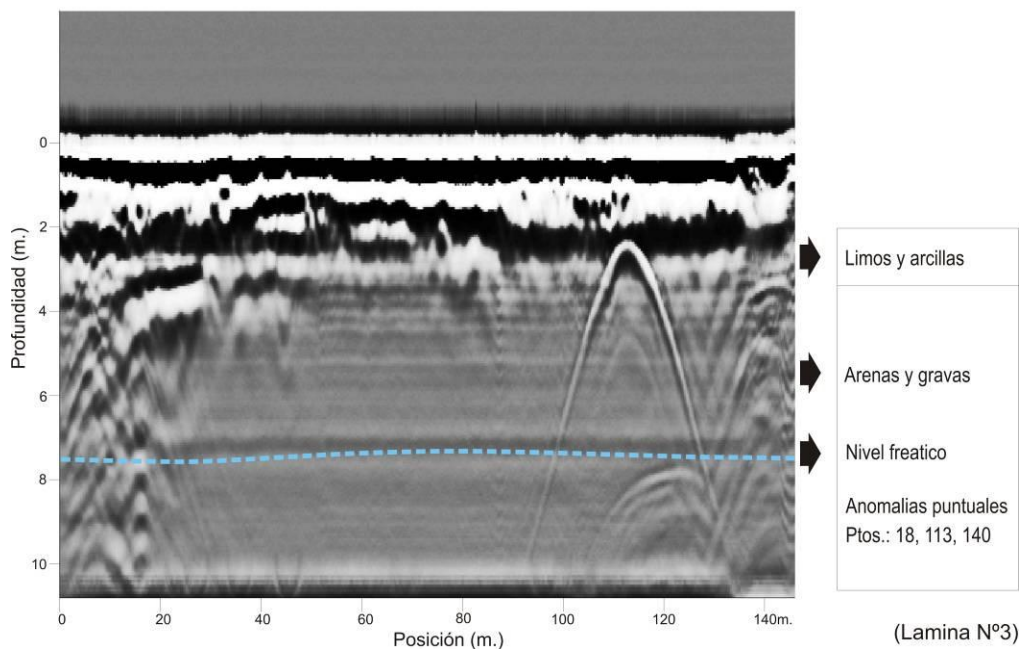
LINEA LR - 02 - SACTA - SANTIAGO - ICA



LINEA LR-02 – SACTA - SANTIAGO - ICA (Figura N° 2)

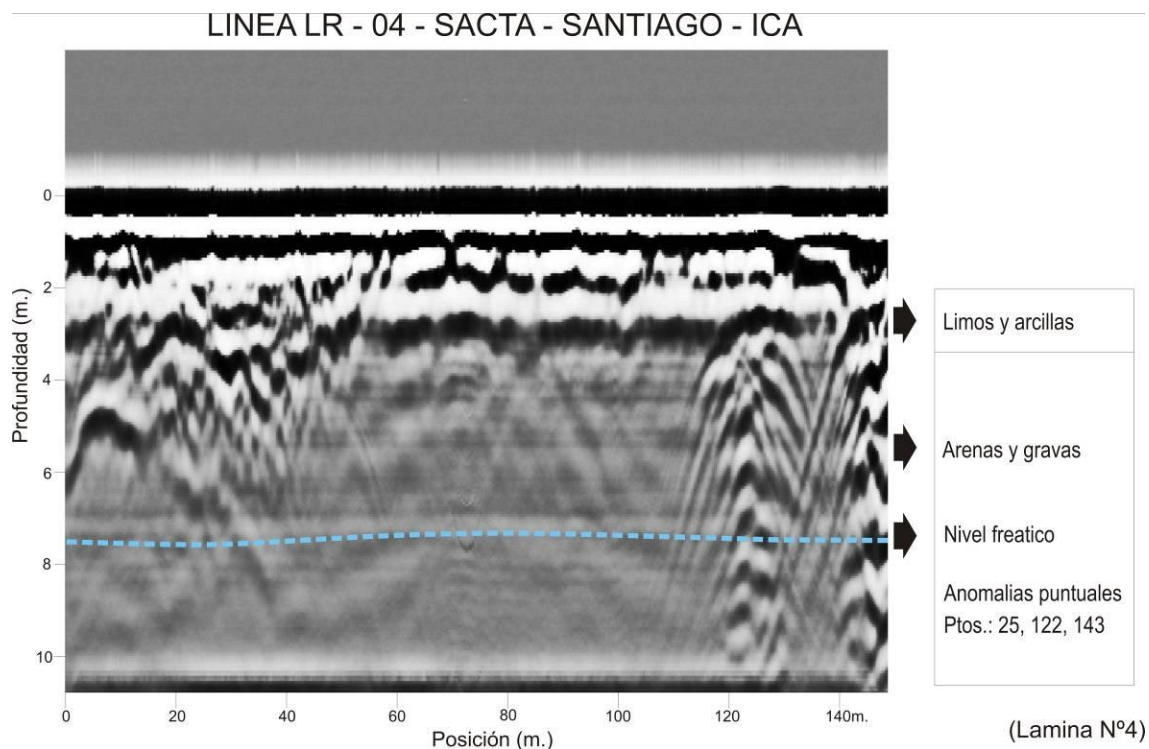
Se ubica junto a la línea LR-01 con una longitud de 150 metros de longitud, con rumbo S6°W aquí sea determinado dos secuencias bien marcadas. La primera capa esta en la parte superior conformado de materiales finos (limos y arcillas) con un espesor de 3.80 metros, la segunda capa de arena limosa y gravas con 6.20 metros de espesor. La anomalía planar continua en este perfil bien marcada y se denota al nivel freático a una profundidad de 6.5 metros medidos desde la superficie. Se encontraron también anomalías puntuales en los puntos 4, 23, 120 y 138 estas anomalías son perturbaciones de las instalaciones de tuberías subterráneas que tiene la zona.

LINEA LR - 03 - SACTA - SANTIAGO - ICA



LINEA LR-03 – SASTA – SANTIAGO – ICA (Figura N°3)

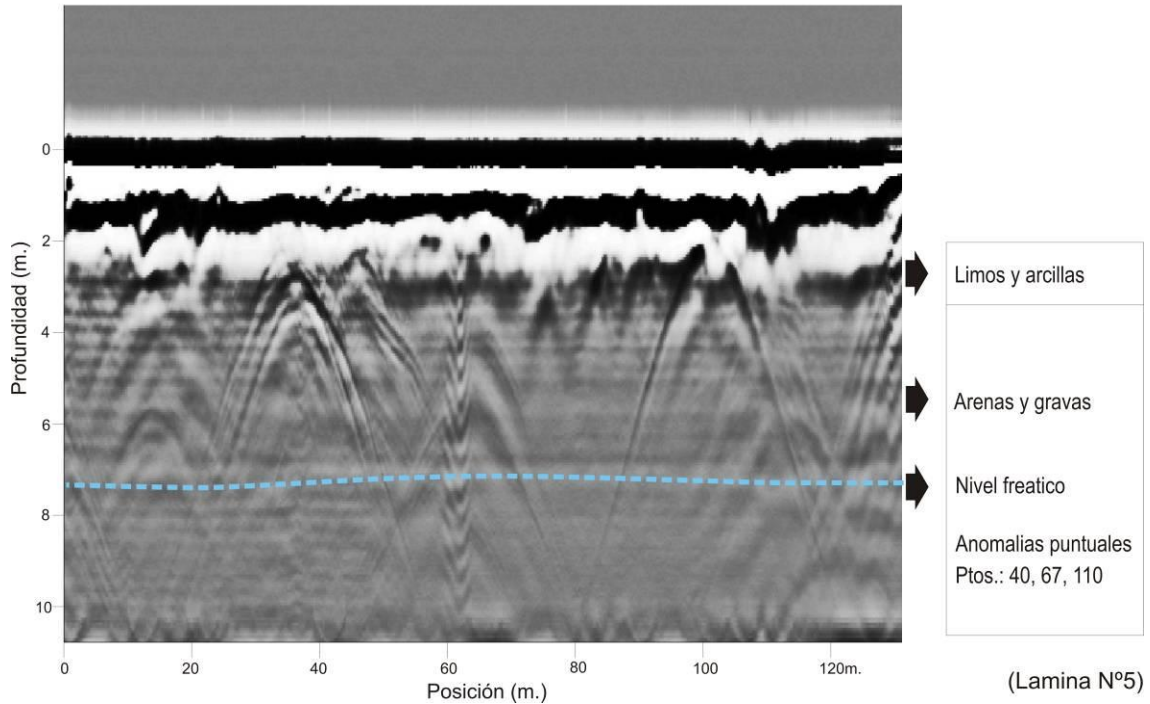
Se ubica junto a la línea LR-02 con una longitud de 142 metros a una profundidad de 11 metros con rumbo N13°W. Se ha diferenciado dos capas bien marcadas la primera capa esta constituida con material fino (limo y arcillas) con un espesor de 4.20 metros y la segunda capa compuesta de arenas y gravas de un espesor de 6.80 m. El nivel freático se encuentra a los 7.8 metros aproximadamente medidos desde la superficie. Se encuentran tres anomalías puntuales a los 10, 113 y 140 metros. Estas anomalías están directamente ligadas a ductos subterráneos.



LINEA LR-04 – SACTA – SANTIAGO – ICA (Figura N°4)

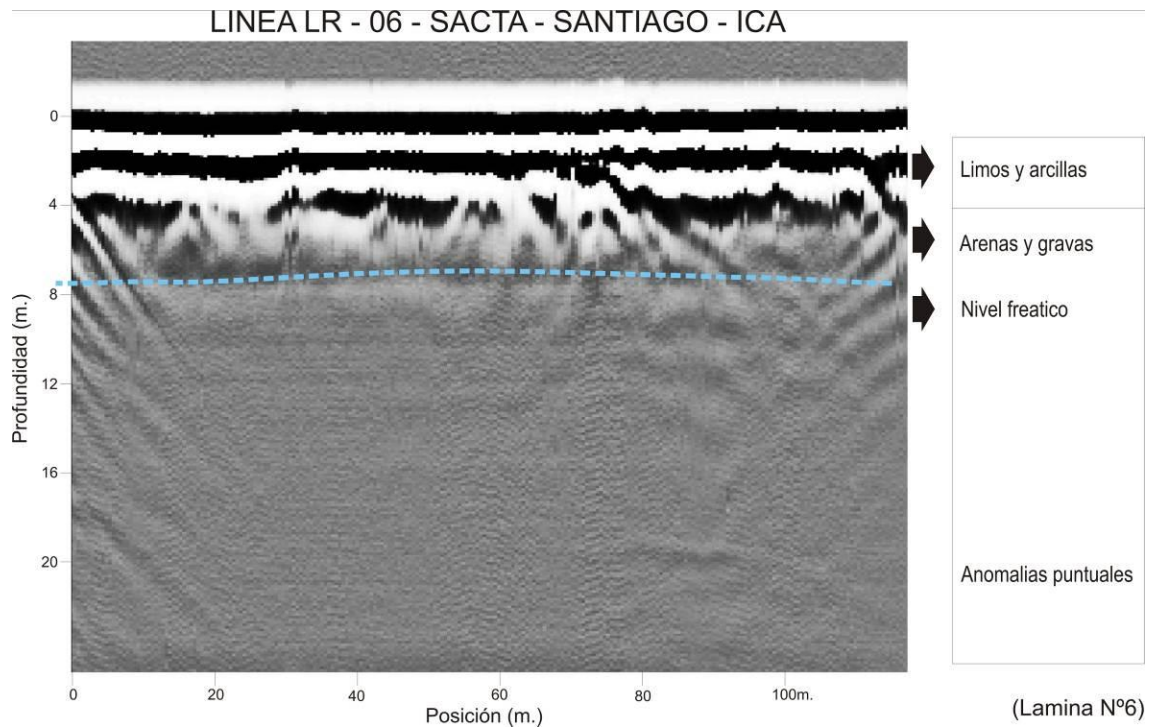
Esta línea se encuentra en los terrenos de Ricardo Bustamante Cilloniz, tiene 145 metros de longitud y 11 metros de profundidad aproximadamente con rumbo de N7°E. Se ha identificado dos capas la primera compuesta de limos y arcillas con un espesor de 4.20 metros y la segunda capa tiene arenas y gravas con un espesor aproximado de 6.80 metros, el nivel freático se ha ubicado a 7.80 metros medido desde la superficie. Se han encontrado tres anomalías puntuales en 25, 122, 143 metros de distancia. Estas anomalías probablemente están ligadas a ductos del lugar.

LINEA LR - 05 - SACTA - SANTIAGO - ICA



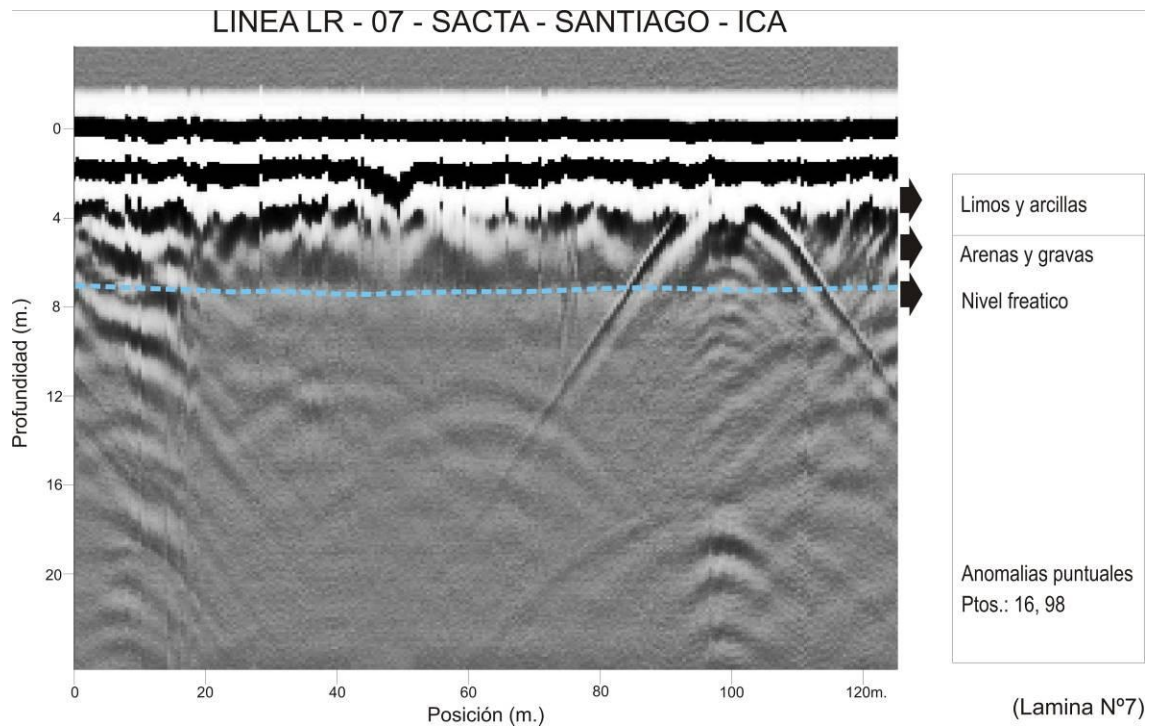
LINEA LR-05 – SACTA – SANTIAGO – ICA (Figura N°5)

Esta línea se ubica los terrenos de Ricardo Bustamante Cilloniz paralelo a la línea GR-3, mide 1.30 metros de longitud y 11 metros de profundidad aproximadamente con un rumbo N17°W. Se ha diferenciado dos capas, la primera compuesta de limos y arcillas con un espesor aproximado de 4.20 metros, la segunda capa esta compuesta de arenas y gravas con un espesor de 6.8 metros, en esta capa se ha determinado la anomalía planar relacionada al nivel freático y se encuentra a una profundidad de 7.80 metros aproximadamente y se definen 3 anomalías puntuales en 40, 67, 110 metros. Estas anomalías detectadas probablemente correspondan a ductos.



LINEA GR-06 SACTA – SANTIAGO – ICA (Figura N°6)

Registrado con antena de 50 MHz, se ubica paralela a las líneas GR-1 y GR-2 con una longitud de 120 metros y una profundidad de 22 metros aproximadamente con rumbo de S9°W. se determinaron dos capas bien marcadas la primera en la parte superior de la sección contiene limos y arcillas con un espesor de 4.20 metros y la segunda capa compuesto de arenas y gravas tiene una potencia 7.80 metros aproximadamente y se ha determinado una anomalía bien marcada que corresponde al nivel freático que se encuentra a 7.9 metros de profundidad. En esta parte no se ha detectado anomalías puntuales.



LINEA LR-07 SACTA – SANTIAGO – ICA (Figura N° 7)

Ubicado en el sector central del área de estudio, se utilizó la antena de 50 MHz, a fin de definir las variaciones de las reflexiones materiales a mayor profundidad y el nivel acuífero.

La línea se encuentra ubicado paralelo a la línea GR-5 perpendicular a la línea GR-6 tiene unos 122 metros de longitud y a 22 metros de profundidad con rumbo de N10°W. Aquí se han determinado dos capas la primera contiene limos y arcillas con un espesor aproximado de 4 metros la segunda capa contiene arenas y gravas de 18 metros de profundidad aproximadamente en este nivel esta la capa freática a 7. 8 metros medidos desde la superficie. También se determino anomalías puntuales en los puntos 16 y 98 metros desde el inicio de la prueba.

5. Conclusiones y Recomendaciones

- Las líneas de Georadar – GPR ejecutadas en el Sector de Sacta del distrito de Santiago, muestran reflectores electromagnéticos que corresponden a patrones de reflexión bien definidas que indican claramente cambios litológicos y de deformación del suelo causados por la constatación de la permitividad y conductividad eléctrica del medio.
- Del análisis de los Radargramas para 12 m de profundidad de investigación en el sector de SACTA se ha determinado la presencia de tres capas bien definidas, la primera revela la presencia de material trabajado por la actividad agrícola con 2 a 3 metros de profundidad donde las reflexiones son notorias; la segunda capa representa el material de transición entre el material fino y la presencia de material de gravas con arenas y por debajo la tercera capa representa el material permeable de gravas en matriz arenosa con pocos limos donde se encuentra el comienzo del nivel freático.
- Se ha determinado en los perfiles LR-1 a LR-7 la presencia de una anomalía planar y está relacionado al nivel superior del material permeable con acumulación de agua donde este nivel freático se encuentra ubicado a profundidades de entre 7 a 8 m. que merece ser verificado.
- Se ha correlacionado este nivel con un pozo (P-01), operativo existente en la zona de estudio (centro poblado) a mas o menos 200 metros del área. En dicho pozo el nivel freático se encuentra a profundidades similares a la anomalía planar encontrada.

ANEXO: FOTOS DEL TRABAJO DE CAMPO



Foto N° 1 – Línea de Georadar LR-4 colindante a la zona agrícola se observa las dos antenas de 100 Mhz con espaciamentos de 1 m de las antenas y medidas cada 0.25 m.



Plano N° 2 – Línea de Georadar LR-1 se observa el material de suelo conformado de limos y arcillas con poca arenas al comienzo del levantamiento.



Foto N° 3 – Ejecución de la excavación de una de las calicatas en el área de Sacta, donde se observa el material con granulometría fina limo arcillosa.



Foto N° 4 – Vista de registro de la línea LR-04 en su tramo final cerca del local del colegio.



Foto N° 5 – Personal de CESEL supervisando una calicata donde también se observa el material fino limo arcilloso hasta una profundidad de 3 m.