

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA MEDIANTE MÉTODOS
GEOLÓGICO-GEOFÍSICOS PARA LA PROSPECCIÓN DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN LA HUERTA SANTA CATARINA, MUNICIPIO DE
LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

POR

SERGIO MARVIN GALVÁN MANCILLA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERIA
AMBIENTAL**

ENERO DE 2013



Dr. Pedro L. Valdez Tamez
Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación
Facultad de Ingeniería Civil UANL.
Presente.-

Monterrey N.L, a 14 de Enero de 2013

Estimado Dr. Valdez Tamez:

En atención a su oficio en el que me informa que fui designado como Evaluador de la Tesis “Estudio de prospección geohidrológica mediante métodos geológico-geofísicos para la prospección de agua subterránea en la huerta Santa Catarina, municipio de Linares, Nuevo León, México”, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, me permito informar a Usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA.**

Sin otro en particular, le reitero mis distinguidas consideraciones y un afectuoso saludo.

M.C. JUAN MANUEL CHAPA GUERRERO
Jefe de Operaciones Suministros Básicos

C.c.p. Archivo.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Dr. Pedro L. Valdez Tamez
Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación
Facultad de Ingeniería Civil UANL.

Estimado Dr. Valdez Tamez:

En atención a su oficio en el que me informa que fui designado como Evaluador de la Tesis **“Estudio de prospección geohidrológica mediante métodos geológico-geofísicos para la prospección de agua subterránea en la huerta Santa Catarina, municipio de Linares, Nuevo León, México”**, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, me permito informar a Usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

Sin otro en particular, le reitero mis distinguidas consideraciones y un afectuoso saludo.

ATENTAMENTE,
“ALERE FLAMMAM VERITATIS “
Cd. Universitaria, a 21 de enero del 2013

DR. HÉCTOR DE LEÓN GÓMEZ
Profesor Titular D. TC y Exclusivo

C.c.p. Archivo.



Cd. Universitaria S/N, Apdo. Postal No. 17
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66450
Tels: (81) 83294000 Ext. 7216
(81)1442-4400 Ext. 4447 y 5206
www.ingenieriacivil.uanl.mx



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL

Dr. Pedro L. Valdez Tamez
Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación
Facultad de Ingeniería Civil UANL.
Presente.-

Estimado Dr. Valdez Tamez:

Por este medio le comunico que el Ing. Sergio Marvin Galván Mancilla, pasante de la Maestría en Ingeniería con Especialidad en Ingeniería Ambiental, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de tesis denominado **“Estudio de prospección geohidrológica mediante métodos geológico-geofísicos para la prospección de agua subterránea en la huerta Santa Catarina, municipio de Linares, Nuevo León, México”**, por lo que no tengo inconveniente en solicitarle que amablemente gire las instrucciones para dar paso a los trámites correspondientes y atender la solicitud del Examen de Grado del Ing. Sergio Marvin Galván Mancilla para cumplir con los requisitos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales de nuestra institución.

Agradeciendo de antemano la atención brindada a la presente, me despido quedando a sus órdenes.

Atentamente
25 DE ENERO 2013

DR. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ
DIRECTOR DE LA TESIS

C.c.p. Archivo.



Cd. Universitaria S/N, Apdo. Postal No. 17
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66450
Tels. 8352 4969 Fax: 8376 0477
<http://www.fic.uanl.mx/esp/lic>



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Oficio SDEPI-031-2013

ING. LÁZARO VARGAS GUERRA

Director del Departamento de Escolar y de
Archivo de la UANL
Presente.-

Estimado Ing. Vargas:

Por este conducto me permito comunicarle que el **ING. SERGIO MARVIN GALVÁN MANCILLA**, pasante de la **Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental**, ha solicitado su examen de grado, para lo cual a cubierto la totalidad de los requisitos académicos y administrativos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales y el Reglamento General de Estudios de Posgrado de nuestra Institución. De la manera más atenta, le solicito su colaboración para que se dé el trámite correspondiente en el Departamento a su digno cargo.

Sin más por el momento, quedo a sus apreciables órdenes para cualquier duda o aclaración.

ATENTAMENTE,
"ALERE FLAMAM VERITATIS"
Cd. Universitaria a 28 de enero del 2013

DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ.
Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación



SUB DIRECCION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACION

C.c.p. Archivo.
Rtp.



Cd. Universitaria S/N, Apdo. Postal No. 17
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66450
Tels: (81) 1340-4388 Ext. 7234 y 7216 ó
(81)1442-4400 Ext. 4447 y 5206
www.ingenieriacivil.uanl.mx

AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestro señor por el don de la vida y por su inmensa misericordia, gracias por todas las bendiciones recibidas.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, Institución que me brindo la formación académica en la cual me desempeño con orgullo.

Al Dr. Juan Manuel Rodríguez Martínez por brindarme su amistad y confianza desde mi etapa de licenciatura, por su valiosa asesoría y por apoyarme a llevar a buen fin la presente Tesis de Maestría.

A la Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Rio Bravo, en especial a la Dirección Técnica del Organismo, por todas las facilidades otorgadas para llevar a cabo esta tesis, Gracias a todo el personal de esta Dirección Técnica por compartir sus conocimientos y experiencias que me han ayudado a crecer y enriquecer mi persona así como ser un mejor profesionista.

Al personal administrativo de la Maestría en Ingeniería Ambiental por su valioso apoyo para llevar a cabo los trámites correspondientes del la presente tesis

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al M. C. Juan Manuel Chapa Guerrero Asesor de mi tesis y al Dr. Héctor de León Gómez por formar parte del Comité de Tesis, por sus valiosas sugerencias e interés, en la revisión del presente trabajo.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr, Cesar Villegas García por darme todas las facilidades y brindarme su apoyo en la realización de este trabajo sin él no se hubiera concretado la elaboración de esta tesis, siendo el quien brindo su propiedad para la realización de este proyecto además del financiamiento de los estudios y la exploración directa para la verificación de los trabajos.

DEDICATORIA

A Dios por lo maravilloso de tener esta vida y haberme rodeado de gente valiosa en la cual pudiera apoyarme.

A la memoria de Mi abuelita Emilia (f), Mi Papa José Luis(f) y mi Hermano Luis Eduardo(f).

A mi Mamá María Auristela Mancilla de Alba, esta tesis es un ejemplo de que la semilla que sembraste ha dado frutos positivos. Te quiero mucho.

A los integrantes de las familias Galván Mancilla, Cuellar Galván, Navarro Galván, y Camacho Soto, gracias por su apoyo.

A Sonia, María José, Sergio Marvin y Axel Emiliano, son el motor que me impulsa a conseguir mis sueños, este es uno de ellos y deseo que Ustedes tengan sueños maravillosos por los que luchen por concretar.

A todos aquellos que directa o indirectamente fueron partícipes de este proyecto muchas gracias por el apoyo que me brindaron para culminarlo.

RESUMEN

El presente estudio describe los trabajos llevados a cabo mediante reconocimiento geológico y prospección geoelectrica detallada, a través de la medición de la resistividad del subsuelo, para determinar los tipos de material y sus espesores, así como las estructuras geológicas y la presencia de zonas de saturación con agua; en especial interés los canales de grava, mediante la aplicación del método geofísico de prospección geoelectrica, en su modalidad de tomografía geoelectrica y seleccionar las zonas más factibles para la perforación de pozos para la extracción de agua.

Con base en los resultados se ubicó el sitio para realizar una perforación con máquina de percusión, revalidando la litología que determinó la tomografía geoelectrica; se realizó prueba de bombeo de 24 horas y se obtuvo un gasto de 26.8 lps, los valores de transmisividad, así como el de su radio de influencia, correspondiendo a los valores establecidos para acuífero granulares.

El análisis de calidad del agua determinó un total de sólidos disueltos de 557 mg/l, siendo las concentraciones de Calcio y Sulfatos los principales componentes, mostrando relación con los materiales por donde atraviesa, desde su área de recarga, hasta su descarga, demostrando que el agua subterránea tiene su procedencia en las rocas carbonatadas y sulfatadas de la Sierra Madre Oriental hasta llegar a la zona de Linares, mediante el escurrimiento superficial del río Pablillo.

ABSTRACT

This study describes the work carried out by geological reconnaissance and prospecting geoelectrical survey, through the measurement of ground resistivity, to determine the types of material and its thickness, and geological structures and the presence of zones of saturation with water in special interest gravel channels, by applying the method of geophysical prospecting geoelectric, in its modality tomography geoelectrical and select the most feasible for the drilling of wells for the extraction of water.

Based on the results was located site for a percussion drilling machine, which determined lithology revalidating the geoelectric tomography; pumping test was performed 24 hours and yielded a cost of 26.8 liter for second, transmissivity values, and as its radius of influence, corresponding to the values set for granular aquifer.

The water quality analysis determined a TDS of 557 mg / l, with concentrations of calcium sulphates and major components with materials showing relationship where it crosses from the charging area, to download, demonstrating that groundwater has its origin in carbonate rocks and sulphated of the Sierra Madre Oriental to reach the Linares area, by river runoff Pablillo.

CONTENIDO

		LISTA DE FIGURAS.....	v
		LISTA DE TABLAS.....	vi
		LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	vii
CAPÍTULO	1	GENERALIDADES.....	1
	1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
	1.2	ANTECEDENTES.....	2
	1.2.1	Localización de la zona de estudio.....	2
	1.3	OBJETIVO.....	4
CAPÍTULO	2	EL MARCO FÍSICO.....	4
	2.1	FISIOGRAFÍA.....	4
	2.1.1	La provincia fisiográfica.....	4
	2.2	HIDROGRAFÍA.....	6
	2.3	CLIMATOLOGÍA.....	7
	2.3.1	Precipitación media anual.....	7
	2.3.2	Temperatura media anual.....	9
	2.4	GEOLOGÍA.....	11
	2.4.1	Estratigrafía de la Sierra Madre Oriental.....	11
	2.4.2	Estratigrafía de la Planicie Costera del Golfo de México.....	15
	2.4.3	Geología Estructural.....	17
	2.5	GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	19
CAPÍTULO	3	HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA.....	23
	3.1	CENSO DE APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	23
	3.1.1	Recopilación de censos y bases de datos de aprovechamientos de agua subterránea que se localizan dentro de la zona de estudio.....	23
	3.1.2	Censo de aprovechamientos de agua subterránea.....	23
	3.2	PIEZOMETRÍA.....	26
	3.2.1	Observaciones piezométricas.....	26
	3.2.2	Carta Hidrogeológica (Isopiezas).....	26
CAPÍTULO	4	PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.....	32
	4.1	INTRODUCCIÓN.....	32
	4.2	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LAS ROCAS.....	32
	4.3	CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS ELÉCTRICOS.....	33
	4.3.1	Teoría de Resistividad.....	33
	4.3.2	Arreglo Schlumberger.....	36
	4.3.3	Arreglo Wenner.....	36
	4.4	ADQUISICIÓN DE DATOS.....	37
	4.5	PERFILAJE ELÉCTRICO.....	38
	4.6	INTERPRETACIÓN DE DATOS DE PERFILES HORIZONTALES.....	38
	4.7	ESTUDIO GEOFÍSICO DE RESISITIVIDAD.....	38
	4.8	METODOLOGÍA.....	38
	4.9	DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS PERFILES GEOELECTRICOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	41
	4.10	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICO-GEOFÍSICA.....	47
CAPÍTULO	5	HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	50

	5.1	INTRODUCCIÓN.....	50
	5.2	GEOMETRÍA DEL SISTEMA.....	55
CAPÍTULO	6	EXPLORACIÓN HIDROGEOLOGÍA DEL SITIO DE PERFORACIÓN.....	56
	6.1	PERFORACIÓN DE POZO.....	56
	6.2	PERFORACIÓN POR PERCUSIÓN.....	57
	6.3	CLASIFICACIÓN DE MUESTRAS.....	58
	6.4	LA PRUEBA DE AFORO.....	61
CAPÍTULO	7	DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS DEL ACUÍFERO.....	62
	7.1	EL MÉTODO.....	62
	7.2	EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE BOMBEO DEL POZO PERFORADO.....	63
	7.3	CORRECCIÓN DE TIEMPO PARA LA EVALUACIÓN.....	64
	7.4	OBTENCIÓN DE TRANSMISIVIDAD Y CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.....	64
	7.5	ESTIMACIÓN DEL ESCURRIMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	68
	7.6	ESTIMACIÓN DEL RADIO DEL CONO DE ABATIMIENTO.....	68
	7.7	PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	70
		CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
		CONCLUSIONES.....	73
		RECOMENDACIONES.....	75
		REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Localización del área de estudio.....	3
Figura 2.1	Provincia fisiográfica del área de estudio.....	5
Figura 2.2	Hidrografía del área de estudio.....	6
Figura 2.3.1	Comportamiento de la precipitación anual promedio, para el periodo de 1924 a 2011.....	7
Figura 2.3.2	Comportamiento de la temperatura media anual para el periodo de 1924 a 2011	9
Figura 2.4.1	Columna estratigráfica tomada y traducida de Michalzik, 1988. (Tomada de De la Garza-González, 2000).....	14
Figura 2.4.2	Relación de pendiente y formación de terrazas aluviales en el área de la Cuenca Hidrológica del Rio Pablillo (Tomada de Davila Porcel R.A. 2011).....	17
Figura 2.4.3	Perfiles Geológicos-Estructurales que muestran la zona de cabalgadura entre el área de la Sierra Madre Oriental y la Planicie Costera del Golfo de México, pasando por Linares y hasta la zona del Refugio. (Tomada de De León-Gómez, H., 1993).....	18
Figura 2.5	Geología de la zona de estudio.....	21
Figura 2.6	Perfil Geológico de la zona de estudio.....	22
Figura 3.1	Pozos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua.....	24
Figura 3.2	Aprovechamientos obtenidos del censo de aprovechamientos.....	28
Figura 3.3	Carta hidrogeológica del área de estudio.....	29
Figura 3.4	Bloque tridimensional diagramático que muestra la dirección del flujo subterráneo.....	30
Figura 3.5	Niveles históricos de almacenamiento de la Preas Cerro Prieto. (Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2012).....	31
Figura 4.1	Líneas equipotenciales y de corriente para un par de electrodos A y B en un semiespacio homogéneo.....	35
Figura 4.2	Configuraciones del arreglo del electrodo para las medidas de la resistividad, tomado de Benson (1994).....	37
Figura 4.3	Inversión de Datos Perfil 1.....	45
Figura 4.4	Inversión de Datos Perfil 2.....	45
Figura 4.5	Inversión de Datos Perfil 3.....	45
Figura 4.8	Plano de los Perfiles.....	46
Figura 4.10	Localización del perfil 1.....	48
Figura 4.11	Dimensión de canal de gravas, en el Perfil 1.....	49
Figura 6.1	Croquis definitivo de pozo de 14" de diámetro y de 50 metros de profundidad..	59
Figura 6.2	Profundidad del Nivel dinámico durante la prueba de aforo, en 24 horas.....	62
Figura 7.1	Descenso del pozo.....	66
Figura 7.2	Radio de influencia.....	69
Figura 7.3	Resultados de análisis Físico-Químicos.....	70
Figura 7.4	Resultados de análisis Bacteriológicos.....	71
Figura 7.5	Resultados de familia química en el Diagrama triangular de Piper.....	72

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1	Datos de las precipitaciones anuales promedio, para los años de 1924 a 2011, para la zona en estudio.....	8
Tabla No. 2	Análisis de los datos de las temperaturas medias anuales, para los años de 1980 a 2010, para la zona en estudio.....	10
Tabla No. 3	Estratigrafía de la zona de estudio.....	19
Tabla No. 3.1	Resumen de aprovechamientos del REPDA.....	25
Tabla No. 3.2	Resumen de aprovechamientos Censados.....	26
Tabla No. 4.1	Valores de resistividades de las rocas más comunes.....	35
Tabla No. 6.1	Valores de la prueba de aforo obtenidos.....	61
Tabla No. 7.1	Relación de scorr con el tiempo de bombeo.....	65
Tabla No. 7.2	Valores del Radio de Influencia.....	69

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1	Equipo SARIS Scintrex.....	39
Fotografía 2	Ubicación del Perfil 1.....	41
Fotografía 3	Ubicación del Perfil 2.....	42
Fotografía 4	Ubicación del Perfil 3.....	43
Fotografía 5.1	Panorámica de la zona de estudio, mostrando como límite Oriente la sinuosidad del río Pablillo.....	50
Fotografía 5.2	Talud del río Pablillo, en cuya parte superior se puede observar en la parte superior material arcillo arenoso y subyaciendo a estos materiales gravas calcáreas semiredondeadas de tamaño variado, con una matriz areno arcillosa con alta permeabilidad, que funcionan como zona de aportación para los canales de gravas.....	51
Fotografía 5.3	Talud del río Pablillo en donde se puede observar, aflorando sobre la margen derecha, el conglomerado en forma de manchones.....	52
Fotografía 5.4	Afloramiento de la lutitas calcáreas y areniscas pertenecientes a la Formación Méndez, en la zona del Cerrito en la localidad de Linares, Nuevo León.....	53
Fotografía 5.5	Las flechas en rojo sobre la margen izquierda del río Pablillo indican las posibles zonas de aporte de las entradas del agua al acuífero conformado por los canales de gravas así como al de grietas conformado por la Formación Méndez.....	54
Fotografía 6.1	Máquina de percusión utilizada para la perforación del pozo.....	55
Fotografía 6.2	Litología obtenida de los recortes a cada metro perforado.....	57
Fotografía 6.3	Pozo recién perforado, listo para efectuar la prueba de aforo, para después culminar con el diseño final, conforme a la Norma NOM-003 CNA-1996...	58
Fotografía 6.4	Prueba de aforo del pozo perforado.....	60
Fotografía 7.1	Prueba de bombeo al pozo perforado, etapa de abatimiento (Pozo de bombeo).....	63

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Durante la última década se ha producido una notable adecuación en la aplicación de técnicas geofísicas para la resolución de problemas geotécnicos o medioambientales. Concretamente, la prospección eléctrica de resistividades mediante corriente continua ha experimentado un notable avance con la aparición de sistemas automáticos de adquisición de datos y programas informáticos para la obtención de imágenes del subsuelo, con estimación de la distribución real de la resistividad en una sección del terreno.

La implantación de dispositivos eléctrico-resistivos para la localización de contactos entre los materiales del subsuelo se ha venido utilizando con éxito desde 1950 (Beresnev, I.A. et al., 2002); si bien, las técnicas modernas permiten establecer cada vez mayor aproximación entre los resultados obtenidos y la verdadera disposición de los materiales en el subsuelo. Con todo, el éxito de una campaña de investigación geofísica de resistividad mediante tomografía eléctrica depende en gran medida de múltiples factores, tales como el conocimiento geológico de la zona a explorar, la selección de la configuración tetraelectródica más sensible para cada propósito, la determinación de un espaciado interelectródico adecuado para el objetivo a localizar, la densidad y el número de medidas o, por supuesto; la interpretación de los resultados por un especialista con suficiente experiencia en la materia. De este modo, se puede decir que la investigación mediante tomografía eléctrica dará buenos resultados o fracasará estrepitosamente, en función de diversas decisiones que han de tomarse desde el inicio de una campaña de prospección (Porres, J.A., 2003).

Los antecedentes en la utilización de tomografía eléctrica para la localización de superficies de discontinuidad o contactos litológicos son múltiples y están bien documentados. Beresnev, I.A. et al., (2002) presenta buenos resultados empleando un dispositivo de 24 electrodos para la localización de depósitos de gravas y arenas, permitiendo hacer una valoración volumétrica con gran exactitud.

Demanet, D. et al., (2001), Caputo, R. et al., (2003) y otros muchos han aplicado estas técnicas para localizar fallas activas en sedimentos cuaternarios recientes. La versatilidad de estas técnicas ha llegado incluso a servir para el estudio de suelos contaminados (De la Vega, M. et al., 2003; Aracil, E. et al., 2003) o la evaluación de la potencialidad minera de los terrenos para extracción de roca ornamental (Aracil, E. et al., 2002).

El presente trabajo es un estudio geológico-geofísico, mediante reconocimiento geológico y prospección geoelectrica a detalle, para determinar el o los tipos de material del subsuelo, las estructuras geológicas y la presencia de zonas de saturación con agua; en especial, los canales de grava, mediante la aplicación del método geofísico de prospección geoelectrica, en su modalidad de tomografía geoelectrica.

Para llevar a cabo esta investigación fue necesario realizar trabajos de campo y de gabinete, que permitieron establecer un análisis minucioso de la resistividad verdadera del subsuelo, con la finalidad de ubicar los canales de gravas, siendo éstos las zonas más factibles para la perforación de pozos profundos, en este caso hasta los 100 m de profundidad para la explotación del agua subterránea.

1.2 . ANTECEDENTES

La zona es primordialmente aprovechada para el cultivo de cítricos, especialmente naranja; cultivos que son regados principalmente por agua subterránea que en la mayoría de los casos se extrae mediante pozos de profundidades que oscilan entre los 50 y 100 metros de profundidad y con gastos que van de los 2 hasta los 10 lps. (p.e. pozo La Esmeralda 65 lps comunicación personal De León 2012). Sólo en algunos casos se tienen gastos mayores que los 10 lps. (p. e. pozo La Escondida 65 lps, com. per De León 2012). Lo que se pretende con este estudio es determinar las zonas en las que sea posible obtener un gasto mayor que este caudal y que pueda ser sustentable, con la finalidad de aprovechar las condiciones optimas del acuífero, para poder realizar de manera eficiente la explotación del mismo y aprovechar al máximo el recurso al tecnificar el sistema de riego. Lo importante de este estudio es mostrar a los citricultores de la zona que se debe realizar un estudio geohidrológico para obtener el mejor sitio para realizar una perforación exitosa y que reporte un gasto significativo, con el cual se haga más eficiente el manejo del agua en la zona; ya que la gran mayoría de los usuarios de la zona. realizaron sus perforaciones cerca a donde existían vialidades y electricidad; esto con la finalidad de no invertir en nuevas vialidades ni en nuevas líneas de transmisión eléctrica. Esto les ha ocasionado a la larga, tener un acuífero que les aporta un gasto reducido en sus aprovechamientos, más horas de consumo de energía eléctrica y una ineficiencia en sus métodos de riego. Mediante este estudio se trata de determinar los principales canales de grava de la Huerta Santa Catarina, con la finalidad de realizar una exploración a la profundidad que determine el estudio geofísico y poder corroborar los resultados de la tomografía eléctrica mediante la perforación directa de pozos.

1.2.1 Localización de la Zona de Estudio

El predio en estudio se localiza en el municipio de Linares, Nuevo León, la zona de estudio se localiza más allá de la cabecera municipal de Linares, Nuevo León, entre los ríos Pablillo y Camacho. Para llegar al predio en estudio, partiendo de la cabecera municipal del Linares se accede por la avenida Modesto Galván Cantú, hasta una bifurcación, para tomar luego hacia las localidades de Río Verde y La Escondida, dirigiéndose hacia esta última por la carretera estatal NL44 y recorriendo 4.5 kilómetros, aproximadamente, para llegar al área de estudio, denominada Huerta Santa Catarina (Figura 1.1).

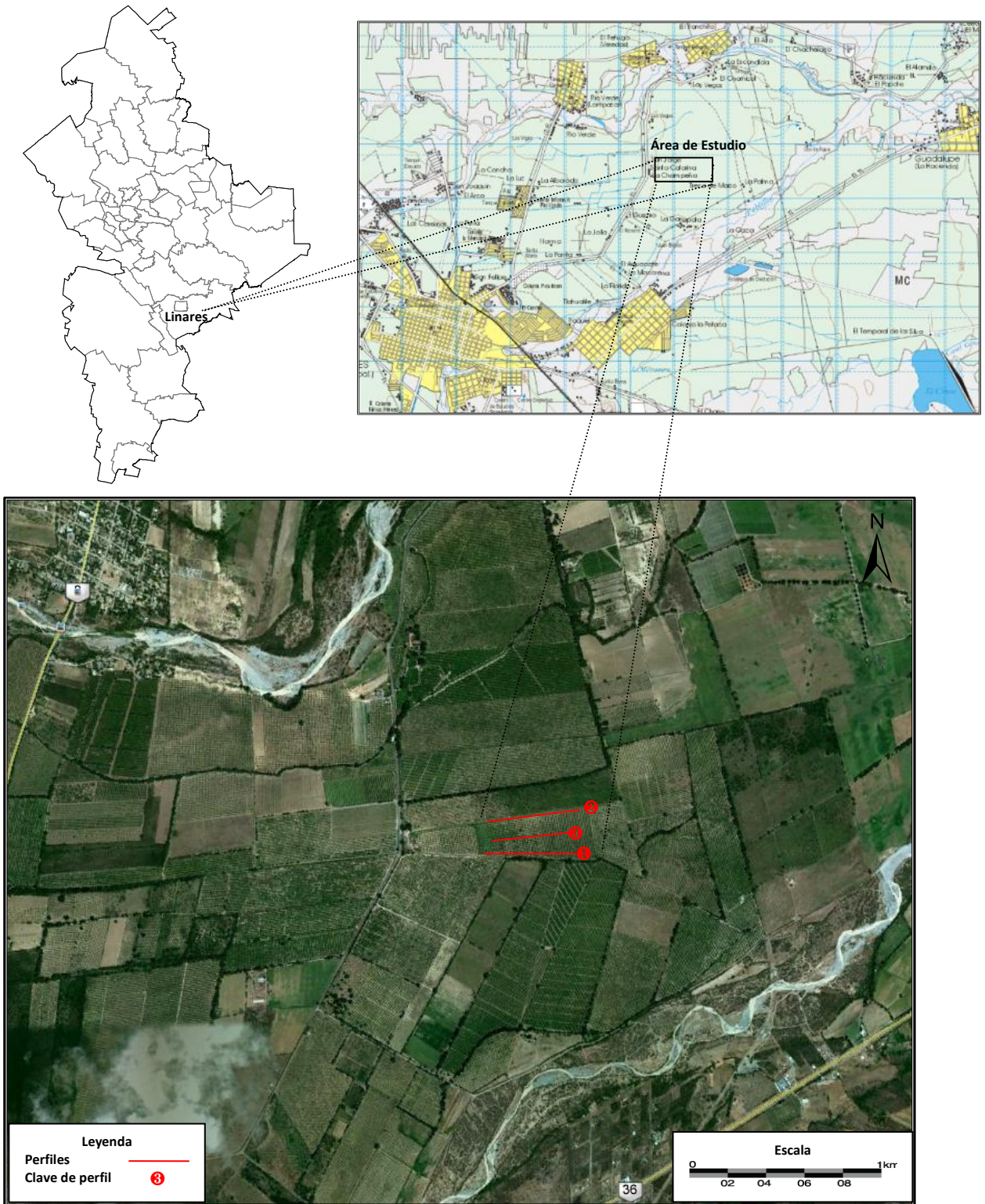


Figura 1.1- Localización del área de estudio.

Fuente: INEGI. Carta Topográfica G14-C58 Linares, Segunda Edición.
 Google Earth, versión libre.

1.3 OBJETIVO

Determinar los canales de gravas mediante la resistividad del subsuelo, la cual está relacionada con varios parámetros geológicos, tales como: Litología, el contenido de los fluidos y los minerales, la porosidad, las fracturas, y el grado de saturación de agua en las rocas.

Objetivos particulares

- Determinar los tipos de material que integran el subsuelo.
- Determinar las estructuras geológicas.
- Determinar la presencia de zonas de saturación con agua; en especial, los canales de gravas.
- Establecer la profundidad de los distintos materiales geológicos con base en los valores de resistividad medidos en el campo.
- Seleccionar las zonas más factibles para la perforación de pozos para la adecuada utilización del agua subterránea.

CAPITULO 2

MARCO FÍSICO

2,1 FISIOGRAFÍA

2.1.1 La provincia fisiográfica.

El Área de estudio se encuentra comprendida en la provincia fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo Norte, dentro de una subprovincia de llanuras y lomeríos con un sistema de topofomas de, lomerío con bajadas (Figura 2.1). (Mapa Fisiográfico del estado de Nuevo León, INEGI, 1990).

Fuente: INEGI. Síntesis de información geográfica del estado de Nuevo León.

INEGI. Anuario Estadístico del estado de Nuevo León, 2006.

<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/nl/fisio.cfm?c=444&e=28>



2.1.- Provincia fisiográfica del área de estudio.

2.2 HIDROGRAFÍA

La zona se localiza dentro de la región hidrológica San Fernando-Soto la Marina, en la Cuenca del río San Fernando, al interior de la subcuenca del A. Camacho, entre las corrientes de agua perennes de los ríos Camacho y Pablillo, antes de la Presa José López Portillo (Cerro Prieto) (Figura 2.2). Hidrografía del área de estudio., INEGI, 1990).

Fuente: INEGI. Síntesis de información geográfica del estado de Nuevo León.

INEGI. Anuario Estadístico del estado de Nuevo León, 2006.

<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/nl/rh.cfm?c=444&e=25>



Figura 2.2.- Hidrografía del área de estudio.

2.3.- CLIMATOLOGÍA

El clima es semicálido subhúmedo, con lluvias en verano. Su temperatura media anual es de 24.3°C y su precipitación de 806 mm. La dirección del viento es del este. Las temperaturas frías se presentan en los meses de noviembre, diciembre y enero; con un régimen de lluvias en los meses de abril, mayo, agosto, septiembre y octubre (Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2012).

2.3.1 Precipitación media anual

Se calculó obteniendo la media aritmética de los valores de precipitación de la serie del mes correspondiente para después sumar las doce medias mensuales y obtener la precipitación media anual para el periodo de 1924 a 2008, obteniéndose la precipitación media anual de 806 mm para la estación Camacho, en el municipio de Linares, Nuevo León (Figura 2.3.1).

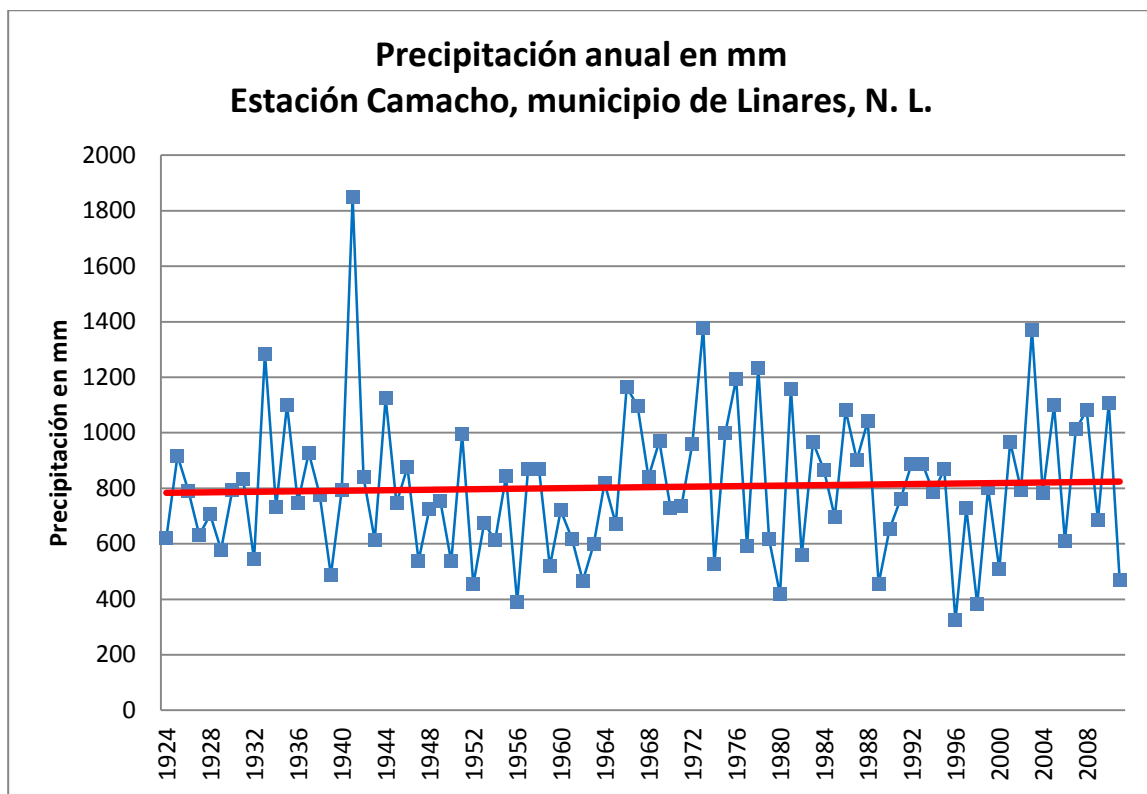


Figura 2.3.1.- Comportamiento de la precipitación anual promedio, para el periodo de 1924 a 2011 (Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2012).

Tabla No. 1.- Datos de las precipitaciones anuales promedio, para los años de 1924 a 2011, para la zona en estudio (Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2012).

AÑO	ANUAL (mm)	EVENTO	AÑO	ANUAL (mm)	EVENTO	AÑO	ANUAL (mm)	EVENTO
1924	621.2		1961	618.2		1998	382.4	
1925	917.4		1962	466.0		1999	799.9	
1926	790.7		1963	597.6		2000	509.1	
1927	631.4		1964	819.4		2001	967.4	
1928	705.0		1965	671.7		2002	793.6	
1929	578.5		1966	1163.9		2003	1370.1	
1930	792.1		1967	1096.4	Beulah	2004	781.5	
1931	833.3		1968	840.1		2005	1098.1	Emily
1932	542.9		1969	968.8		2006	610.2	
1933	1284.8		1970	728.2		2007	1012.2	Dean
1934	732.0		1971	735.4		2008	1081.0	Dolly
1935	1099.5		1972	960.6		2009	685.2	
1936	747.8		1973	1378.3		2010	1106.9	Alex
1937	928.0		1974	527.6		2011	468.6	
1938	776.5		1975	999.6				
1939	487.3		1976	1194.4				
1940	794.3		1977	590.0				
1941	1847.7		1978	1232.3				
1942	838.7		1979	614.9				
1943	613.6		1980	418.5				
1944	1125.5		1981	1158.9				
1945	745.6		1982	559.9				
1946	875.6		1983	966.3				
1947	538.9		1984	866.2				
1948	726.5		1985	696.3				
1949	754.0		1986	1081.1				
1950	535.8		1987	901.9				
1951	993.9		1988	1041.5	Gilberto			
1952	453.3		1989	455.7				
1953	675.6		1990	652.3				
1954	611.5		1991	759.0				
1955	842.8		1992	887.9				
1956	390.1		1993	888.3				
1957	868.4		1994	784.5				
1958	870.2		1995	868.2				
1959	518.7		1996	323.9	Sequía			
1960	720.0		1997	726.6				

2.3.2 Temperatura media anual.

La temperatura media anual en la Estación Camacho en el periodo de 1924 – 2010 corresponde a 22.5 °C, teniendo como máxima 46.0 °C y -11.5 °C como mínima, (Figura 2.3.2). (Fuente Comisión Nacional del Agua, 2012).

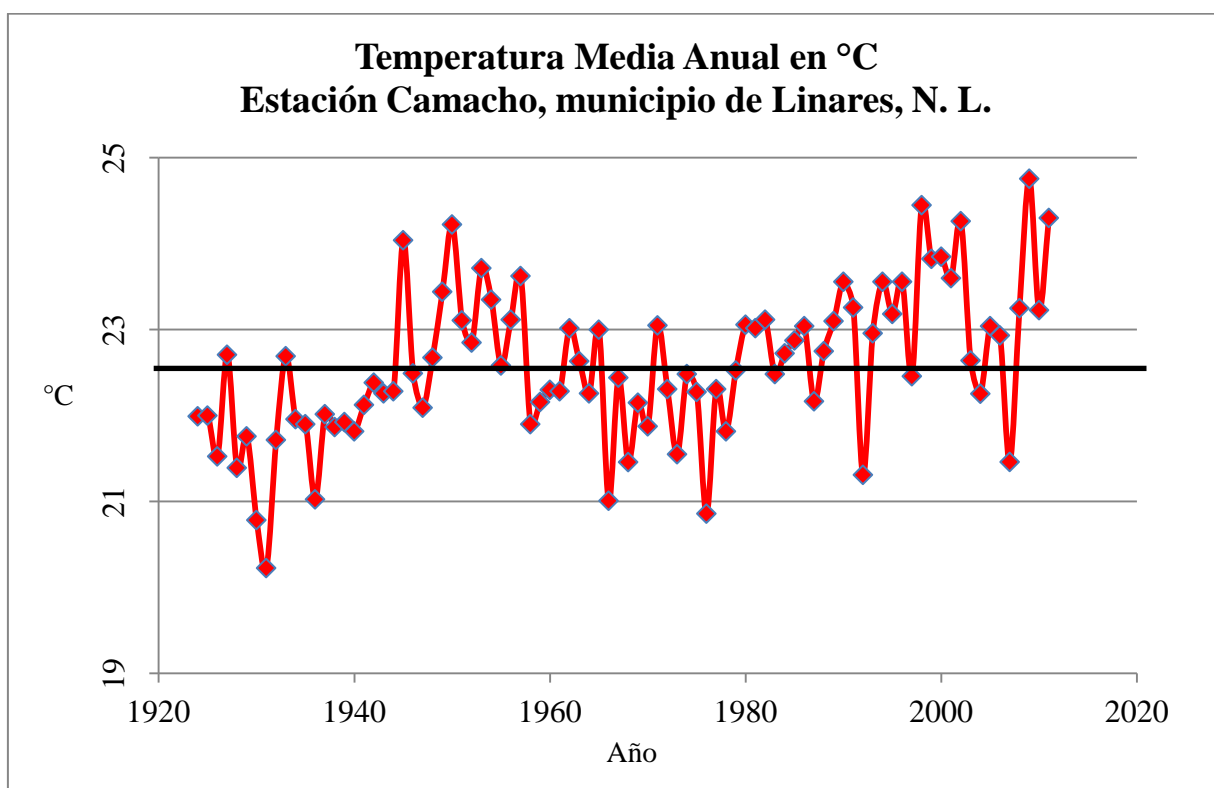


Figura 2.3.2.- Comportamiento de la temperatura media anual para el periodo de 1924 a 2011.

Tabla No. 2.- Análisis de los datos de las temperaturas medias anuales, para los años de 1980 a 2011, para la zona en estudio (Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2012).

AÑO	Promedio (mm)	AÑO	Promedio (mm)	AÑO	Promedio (mm)	AÑO	Promedio (mm)
1924	22.0	1951	23.1	1978	21.8	2005	23.0
1925	22.0	1952	22.9	1979	22.5	2006	22.9
1926	21.5	1953	23.7	1980	23.1	2007	21.5
1927	22.7	1954	23.4	1981	23.0	2008	23.3
1928	21.4	1955	22.6	1982	23.1	2009	24.8
1929	21.8	1956	23.1	1983	22.5	2010	23.2
1930	20.8	1957	23.6	1984	22.7	2011	24.3
1931	20.2	1958	21.9	1985	22.9		
1932	21.7	1959	22.2	1986	23.0		
1933	22.7	1960	22.3	1987	22.2		
1934	22.0	1961	22.3	1988	22.8		
1935	21.9	1962	23.0	1989			
1936	21.0	1963	22.6	1990	23.6		
1937	22.0	1964	22.3	1991	23.3		
1938	21.9	1965	23.0	1992	21.3		
1939	21.9	1966	21.0	1993			
1940	21.8	1967	22.4	1994			
1941	22.1	1968	21.5	1995			
1942	22.4	1969	22.2	1996			
1943	22.3	1970	21.9	1997			
1944	22.3	1971	23.1	1998	24.5		
1945	24.0	1972	22.3	1999	23.8		
1946	22.5	1973	21.6	2000	23.9		
1947	22.1	1974	22.5	2001	23.6		
1948	22.7	1975	22.3	2002	24.3		
1949	23.4	1976	20.9	2003	22.6		
1950	24.2	1977	22.3	2004	22.3		

2.4 GEOLOGÍA.

2.4.1 Estratigrafía de la Sierra Madre Oriental

La estratigrafía de la Sierra Madre Oriental se constituye mayormente de rocas sedimentarias terrígenas y carbonatadas del Mesozoico que se depositaron en un ambiente de rift a margen pasivo. Durante el Cretácico Tardío toda la secuencia marina sufrió plegamientos y fallas a causa de la orogenia Laramide (Goldhammer, 1999; Götte, 1988; Padilla y Sánchez, 1982; Padilla y Sánchez, 1986).

Sobre la sucesión de rocas mesozoicas descansan en forma discordante, sedimentos más recientes, como brechas sedimentarias y conglomerados, todos ellos cementados por carbonato de calcio o comúnmente conocido como caliche.

La columna estratigráfica que se correlaciona con esta secuencia es la de Michalzik 1988 (Figura 2.4.1), que, aunque a manera regional las formaciones pueden presentar un cambio de facie lateral, ésta sigue aplicando.

Triásico Tardío

Triásico Temprano o Medio - Oxfordiano Tardío.

Formación Huizachal. Definida por Imlay et al, (1948) como Grupo Huizachal, en su parte inferior se encuentra la *Formación La Boca* y su parte superior se ubica la *Formación La Joya*, ambas están compuestas por rocas mesozoicas no fosilíferas de lechos rojos continentales. (Meiburg, 1987; Mixon *et al.*, 1959; Padilla y Sánchez, 1982). De acuerdo a Barboza *et al.* (2010) esta Formación se denomina *Alamar*.

Jurásico

Calloviano–Oxfordiano

Formación Minas Viejas–Olvido. Definida por Humphrey y Díaz (1954), compuesta por yesos, lutitas y areniscas, se depositó en secciones restringidas, se infiere una altura ~600 m y aflora en el sector oeste al interior del perímetro de la Cuenca Hidrológica del Río Pablillo (Goldhammer, 1999; Götte, 1988; Humprey, 1956; Humprey y Diaz, 1954).

Oxfordiano–Kimmeridgiano

Formación Zuloaga. Definida por Imlay (1938), compuesta por calizas de estratificación delgada a mediana de color gris a gris claro, poseen nódulos de pedernal negro y ooides. De espesores muy variables (máximo ~600 m y mínimo ~8 m). El afloramiento principal se encuentra al sur de la CHRP donde presenta estratos fuertemente karstificados impidiendo la identificación de planos de estratificación conteniendo zonas recristalizadas (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010; Imlay, 1938; Imlay, 1943; Michalzik, 1986b; Michalzik, 1987; Michalzik, 1988; Padilla y Sánchez, 1982; Padilla y Sánchez, 1985; Santana-Salas, 2008).

Kimmeridgiano–Berriasiano temprano

Formación La Casita. Designada por Imlay (1936), que litológicamente se compone de lutita de color gris oscuro o negro con intercalaciones de capas de caliza y arenisca amarillenta, también puede incluir conglomerado polimíctico, limolita, arenisca calcárea, caliza arcillosa,

ligeramente fosfatada, marga, lutita calcárea bituminosa y pequeños bancos de carbón, además presenta abundantes concreciones fosilíferas. Su espesor varía en función de su proximidad a la Isla de Coahuila (650 a 800 m). Dentro del área de estudio se encuentra distribuida predominantemente en la parte sur y en menor presencia al oeste. En el cañón Santa Rosa se compone de caliza arcillosa micrítica, lutita carbonatada y arenisca fina; las intercalaciones tienen espesores que varían entre 5 a 40 cm (Adatte *et al.*, 1992; Alvarado-Molina, 2004; Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000; Fortunato y Ward, 1982; Goldhammer *et al.*, 1991; Gutiérrez-Alejandro, 2008; Imlay, 1936; López-Ramos, 1980; Padilla y Sánchez, 1978; Padilla y Sánchez, 1982; Padilla y Sánchez, 1985; Santana-Salas, 2008).

Cretácico

Berriasiano–Valanginiano

Formación Taraises. Definida por Imlay (1937), formada por dos miembros; el superior constituido de caliza arcillosa delgada de color negro interestratificada con lutita calcárea de color gris claro y caliza nodular; el inferior presenta caliza arcillosa intemperizada tiene un color gris amarillento y su color original es gris oscuro. Posee una altura variable entre 135 a 500 m. Al interior del perímetro de estudio, presenta distribución parecida a la *Formación La Casita*, particularmente en el Cañón Santa Rosa está compuesta por intercalaciones de caliza y lutita (Goldhammer, 1999; Gutiérrez-Alejandro, 2008; Humprey, 1949; Imlay, 1936; Imlay, 1937; López-Oliva, 1989; Michalzik, 1988; Padilla y Sánchez, 1982).

Hauteriviano–Barremiano

Formación Tamaulipas inferior. Definida por Imlay (1937), es la equivalente de ambiente de cuenca para la caliza de plataforma arrecifal de la *Formación Cupido*, compuesta de caliza de color gris, no tiene presencia de fósiles, constituye la secuencia más potente y morfológicamente con mayor relieve de la SMO (300 a 1,000 m). En las cercanías del área de estudio se encuentra aflorando en las crestas de la SMO. En el Cañón Santa Rosa presenta una serie de estratos de caliza masiva con las siguientes características: a) estilolitas diagenéticas paralelas a la estratificación y b) estilolitas tectónicas perpendiculares a la estratificación. La caliza tiene un color amarillento (intemperizado) y su color original es gris claro (Imlay, 1937; López-Oliva, 1989; Michalzik, 1988; Padilla y Sánchez, 1982; Porras-Vázquez, 2008).

Aptiano tardío

Formación La Peña. Esta Formación fue introducida por Imlay (1936), se comprende de dos miembros; a) superior con espesor de 300-400 m de caliza y b) el inferior de 100 m de espesor formado por caliza y lutita. Su importancia estratigráfica reside en ser un indicador litológico, morfológico y faunístico entre las *Formaciones Cupido* y *Aurora*, las cuales pueden presentar litologías y características muy similares entre sí. Presenta distribución amplia en la Cuenca Hidrológica del Río Pablillo. En el Cañón Santa Rosa se evidencia una secuencia de caliza delgada de color gris oscuro rojizo con intercalaciones de lutita. Es posible reconocer nódulos de hierro, pirita y bandas delgadas de pedernal negro (Goldhammer, 1999; Humprey, 1949; Imlay, 1936; Porras-Vázquez, 2008).

Albiano temprano y medio

Tamaulipas Superior. Se depositó en un ambiente de cuenca en el noreste de México, su equivalente de plataforma es la Formación Aurora y fue definida por Burrows (1910), representada por capas de caliza de color gris claro, densas y compactas. Posee una marcada

estratificación, estilolitas diagenéticas bien desarrolladas y nódulos aislados de hematita y pedernal. Se encuentra coronando las crestas de la Sierra Madre Oriental y por disolución posee varias cavernas. Su espesor varía entre 100 a 200 m. En el Cañón de Santa Rosa se compone de caliza de estratificación mediana a gruesa con intercalaciones de espesor delgado de arcilla (Burrows, 1910; Goldhammer, 1999; Padilla y Sánchez, 1985; Porras-Vázquez, 2008).

Albiano tardío–Cenomaniano inferior

Formación Cuesta del Cura. Definida por Imlay (1936), se compone en una secuencia de 80 m de caliza compacta de color gris claro a negro y de estratificación delgada. Su estratificación ondulada y la presencia de amonites permiten identificarla fácilmente, se encuentra intercalada por lentes, capas y nódulos de pedernal oscuro, se estima que tiene un espesor entre 65 y 250 m. Porras-Vázquez (2008) en el Cañón Santa Rosa, describe esta Formación como roca caliza de color gris oscuro que intemperiza a color amarillento. Se evidencian intercalaciones de banda de pedernal de color negro y lutitas de espesor delgado (Imlay, 1936; López-Ramos, 1982; Porras-Vázquez, 2008).

Cenomaniano tardío–Turoniano

Formación Agua Nueva. Este término fue introducido por Stephenson (1921), primeramente y Muir, J. M., (1936), quien fue el que dio el rango de Formación a los sedimentos que descansan directamente sobre la Formación Tamaulipas Superior.

Es una secuencia rítmica de caliza bituminosa y lutita negra; esta formación intemperiza a un color café ocre y al fresco es negra. Su espesor promedio es de 120 m y una secuencia estratigráfica de esta está expuesta sobre el Blvd. Rogelio Cantú a la altura de la entrada al puente Atirantado de Monterrey.

Está presente en la parte central de la Cuenca Hidrológica del Río Pablillo en el frente de la Sierra Madre Oriental. Gutiérrez-Alejandro (2008) la describió en el Cañón Santa Rosa, donde está compuesta por caliza arcillosa micrítica, con alternancia de marga y lutita carbonosa conteniendo nódulos de pedernal y nódulos de fierro de color rojizo (Gutiérrez-Alejandro, 2008; Muir, 1936; Padilla y Sánchez, 1982).

Coniaciano–Santoniano

Formación San Felipe. Está compuesta de caliza intercalada con lutita compacta de color grisáceo y color marrón amarillento ya intemperizada. Presenta estratificación delgada a laminar con espesores que varían entre 110 y 350 m. Por otra parte, exhibe horizontes bentoníticos de color verde y arenisca de grano fino. Se encuentra presente en los pliegues y cañones del frente de la Sierra Madre Oriental. De manera puntual, en el cañón Santa Rosa está compuesta por estratos de espesor delgado de caliza arcillosa biomicrítica de color gris verdosa, caliza arenosa, limolita y marga calcárea (Gutiérrez-Alejandro, 2008; López-Ramos, 1980; Martínez-Limas y Gómez-Alejandro, 2008; Muir, 1936; Padilla y Sánchez, 1982).

Campaniano–Maastrichtiano

Formación Méndez. Descrita por Padilla y Sánchez (1982) como una secuencia de lutita limosa altamente quebradiza que presenta diferentes colores que varían entre gris oscuro, azules, negros y marrones. Posee espesores muy potentes que alcanzarían los 1,500 m. Es la unidad marina más joven que se depositó en el frente de la Sierra Madre Oriental. En el límite superior de la Formación Méndez se encuentran depositados conglomerados y aluviones

(terciarios y cuaternarios) resultado del transporte de materiales no consolidados por los antiguos cauces de ríos y arroyos que desembocan en la Planicie Costera del Golfo de México. En el Cañón Santa Rosa, la Formación Méndez se compone por lutita verdosa a gris clara, frágil, lutita calcárea y una pequeña capa de marga, intemperizada a color café oscuro (Gutiérrez-Alejandro, 2008; López-Ramos, 1982; Meiburg, 1987; Padilla y Sánchez, 1982; Ruíz-Martínez y Werner, 1997).

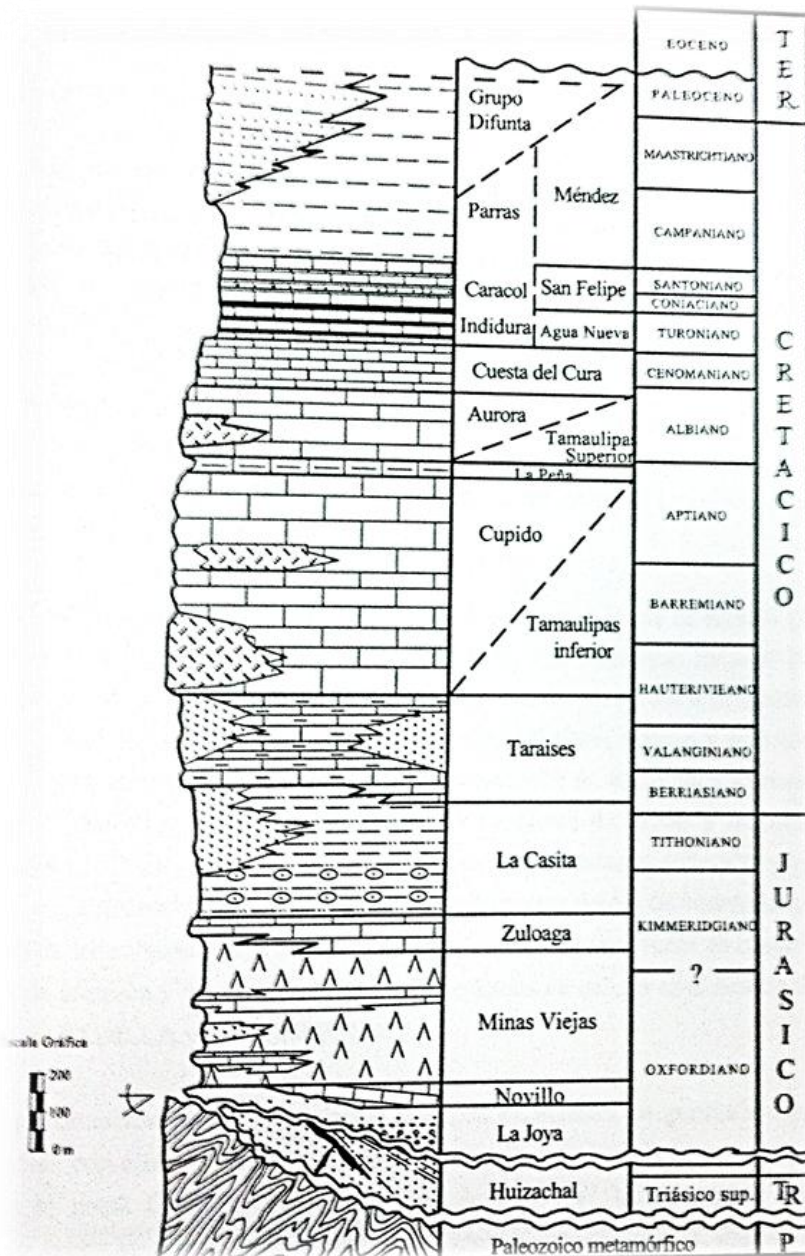


Figura No. 2.4.1- Columna estratigráfica tomada y traducida de Michalzik, 1988. (Tomada de De la Garza-González, 2000).

2.4.2 Estratigrafía de de la Planicie Costera del Golfo de México.

La Planicie Costera del Golfo de México limita al oeste con el frente tectónico de la Sierra Madre Oriental, al norte con el Rio Bravo, al este con el Golfo de México y al Sur con el Cinturón Volcánico Mexicano. Atraviesa los Estados de Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila. Su formación se remonta a la etapa del levantamiento de la Sierra Madre Oriental y la paralela subsidencia de la Planicie Costera del Golfo de México. Época en la que grandes cantidades de sedimentos fueron erosionados y depositados en la cuenca de Burgos por acción de los ríos y arroyos (Terciario Temprano-Eoceno), los que erosionaron las rocas que estaban emergiendo desde el subsuelo debido a los movimientos durante la Orogenia Laramide. Presenta lomeríos con pendiente suaves en la mayoría de su superficie (De la Garza-González, 2000; Meiburg, 1987).

Debido a la regresión marina se produjo la depositación de sedimentos continentales de tipo deltáico y lagunares. Paralelamente, se generó un cambio en el relieve topográfico y de dirección de los flujos, los cuales pudieron provocar cambios en las facies de depositación (Galván-Mancilla, 1996).

Geológicamente, la Planicie Costera del Golfo de México se encuentra conformada por las *Formaciones San Felipe y Méndez* y por conglomerados y sedimentos aluviales. Tanto las *Formaciones San Felipe y Méndez* tienen edades del Cretácico Tardío mientras que los conglomerados y aluviones tienen edades del Paleógeno y Neógeno. Distinta gradación de gravas de distinta composición provenientes de boleas de caliza, pedernal, arenisca y lutita tienen alto grado de redondez evidenciando su origen y transporte desde la Sierra Madre Oriental.

Grandes terrazas aluviales que se originan en las bocas de los cañones de la Sierra Madre Oriental cubren una gran parte de la Planicie Costera del Golfo de México. Ellas se originan por la depositación de materiales erosionados que forman planicies cerca de los ríos, los cuales son deformados por movimientos tectónicos originando niveles diferentes en el proceso de depositación, los que permiten realizar el estudio de antiguos cauces de agua superficial (Ruíz-Martínez, 1990; Ruíz-Martínez y Werner, 1997).

Las rocas más antiguas que afloran en las cotas bajas del perímetro de la Cuenca Hidrológica del Rio Pabillo (dentro de la Planicie Costera del Golfo de México) son del Cretácico tardío y están representadas por las Formaciones San Felipe (Coniaciano-Santoniano) y Méndez (Campaniano-Maastrichtiano). Los depósitos más jóvenes son conglomerados pertenecientes al Terciario y aluviones y conglomerados del Cuaternario, dichos sedimentos se encuentran cubriendo las formaciones arriba mencionadas.

Formación San Felipe identificada por De León-Gómez (1993) en alrededores de la Presa Cerro-Prieto, se compone de secuencias de calizas silificadas con bioturbación (capas blancas), areniscas nodulares, margas, rocas arcillosas sobrepuestas, areniscas verdes de grano fino a medio, limonitas verdosas de grano medio, lutitas arcillosas y capas de bentonita (De León-Gómez, 1993; Martínez-Vallejo, 2007).

La Formación Méndez es la Formación geológica que cubre la mayor área dentro del perímetro de estudio, los mayores afloramientos se localizan en el centro y en el noreste de la superficie de estudio sobre la Planicie Costera del Golfo de México, en las cercanías a los cursos fluviales se encuentra cubierta por conglomerados y aluviones. Se define como una potente unidad arcillosa que está compuesta por estratos laminares delgados y medianos de margas-lutíticas, de colores variables como gris oscuro, gris azulado, gris claro, café claro, marrones y café amarillento. Se puede presentar intercalaciones de margas y arcilla de color verde olivo con bioturbación en zonas puntuales y localizadas (De la Garza-González, 2000).

En el margen sur de la presa Cerro-Prieto, De León-Gómez (1993) realizó la descripción de esta unidad, donde se puede observar la Formación Méndez suprayacida discordantemente por conglomerados cementados y en ella se pueden identificar vetas de fractura rellenas de calcita y material yesífero (De León-Gómez, 1993; Martínez-Vallejo, 2007). Generalmente la Formación Méndez se encuentra muy intemperizada, en algunas ocasiones quedando en forma de agujas, en otras formando suelos. En gran parte del área estudiada se encuentra muy fracturada y presenta vetas de calcita, y en algunas ocasiones, cristales de cuarzo. En su parte superior existe intercalación de lutitas con estratos de arenisca con potentes espesores de color gris claro, que intemperizado tiene un color café amarillento, dichos estratos se encuentran en las partes altas de algunos cerros del área como El Cerrito, Linares (De la Garza-González, 2000). El tipo de fracturamiento de la Formación Méndez es muy característico, es de tipo concoidal, variando desde una estructura de laminillas, que cambian de una coloración gris en la roca sana a café amarillento, hasta suelos. En inmediaciones de la ciudad de Linares, se distribuye principalmente en el lomerío El Tepeyac-San Paulo, El Cerrito y el Cerro La Tortuga. En el Cerrito, se presenta en forma de material suelto o suelo arcilloso semi-consolidado. Presenta un intenso fracturamiento, con extensión intra-fracturas desde pocos milímetros hasta ~2 cm, algunas de ellas con rellenos de calcita, mostrando en algunas zonas una cubierta de caliche en su superficie. Existen intercalaciones con estratos de areniscas masivas, cuyos espesores varían desde 0.4 hasta 1.5 m aproximadamente. Estas rocas presentan un fracturamiento alto y la extensión entre fracturas varía en ocasiones desde 1 hasta 10 cm (Lizárraga-Mendiola et al., 2004; Lizárraga-Mendiola, 2003).

Los Sedimentos del Terciario y Cuaternario forman las terrazas fluviales, que fueron depositadas por los ríos de la Sierra Madre Oriental: Pablillo, Santa Rosa, Hualahuises y Camachito, se constituyen de material heterogéneo dependiendo de la zona de captación de las sub-cuencas. Los depósitos de las terrazas tienen un alto grado de redondez y de tamaños. Las terrazas generalmente muestran superficies planas y con pocas irregularidades, van desde la más antigua T5 a la más joven T1. La Figura 2.4.2 presenta la distribución y cobertura de las terrazas en el área de la Cuenca Hidrológica del Río Pablillo.

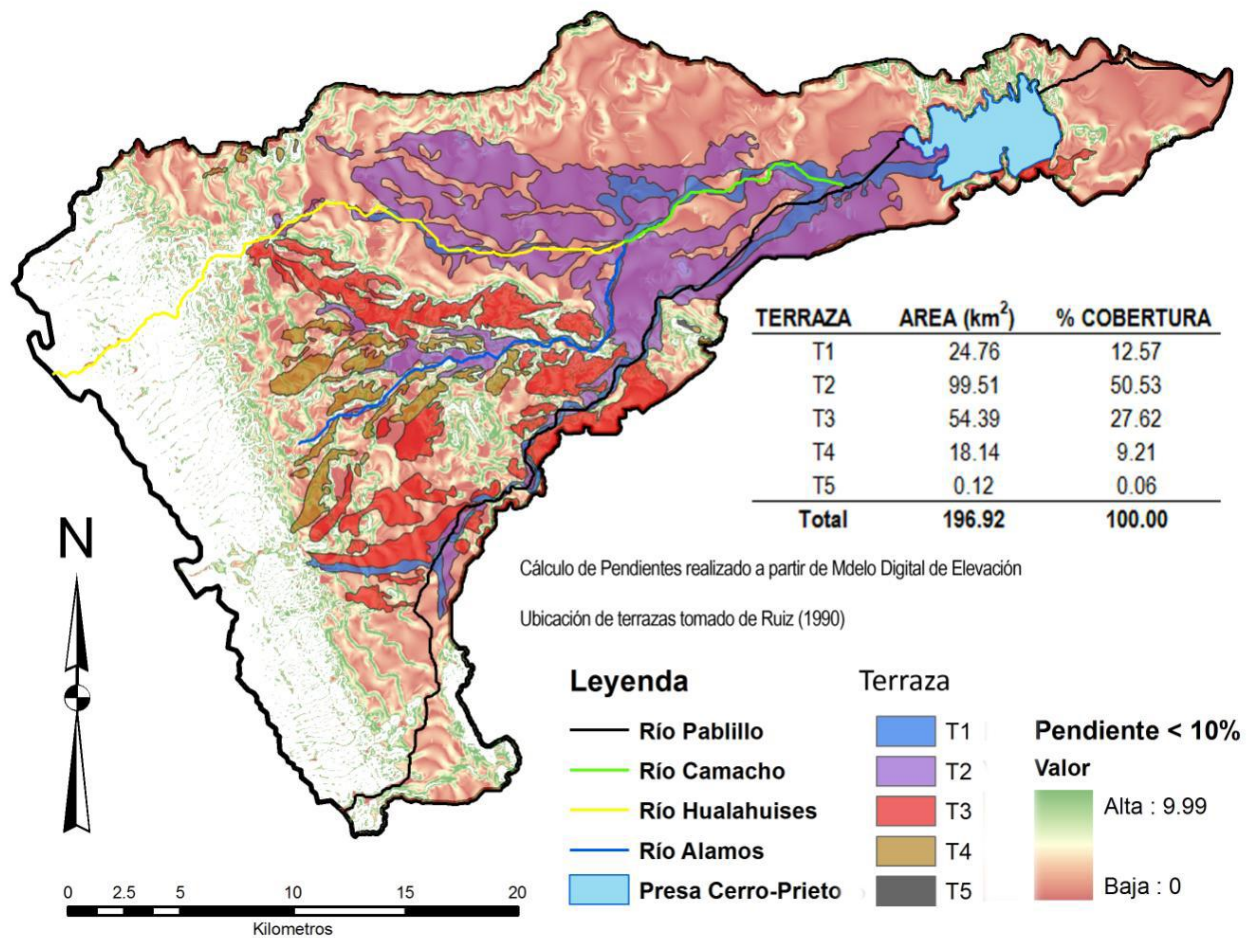


Figura 2.4.2 Relación de pendiente y formación de terrazas aluviales en el área de la Cuenca Hidrológica del Río Pablillo (Tomada de Dávila Porcel, Rene, 2011).

2.4.3 Geología Estructural.

La Sierra Madre Oriental se caracteriza por una cadena montañosa deformada, se extiende al norte desde Parral, Chihuahua hasta su límite sur en Teziutlán, Puebla. Su morfología se originó por la deformación de rocas mesozoicas que fueron comprimidas y levantadas con dirección noreste, creando varias fallas de cabalgadura y normales además de pliegues. Su estructura se caracteriza por la presencia de isoclinales y pliegues ceñidos y volcados. Presenta sinclinales donde la Formación Méndez aflora en los núcleos y la Formación Minas Viejas aflora en los núcleos de los anticlinales, tanto sinclinales como anticlinales son apretados, simétricos y asimétricos, generalmente inclinados y erosionados (Chávez-Cabello et al., 2004; De Cserna, 1956; Eguiluz de Antuñano et al., 2000; Padilla y Sánchez, 1985).

Preponderantemente, a partir del Pleistoceno y hasta la actualidad predominan condiciones de erosión. Los materiales continentales transportados fluvialmente son depositados formando terrazas aluviales con todas las rocas erosionadas de la Sierra Madre Oriental (Chávez-Cabello et al., 2004; Garza-Jiménez, 1993; Meiburg, 1987).

Estructuralmente, dentro de la Cuenca Hidrológica del Rio Pablillo, la Sierra Madre Oriental posee una “Cabalgadura Hualahuises - Linares” en su frente, en contacto con las rocas más jóvenes que están sobre la Planicie Costera del Golfo de México. Tal y como se muestra en las secciones esquemáticas de la Figura 2.4.3, que muestra la zona de cabalgadura entre el área de la Sierra Madre Oriental y la Planicie Costera del Golfo de México pasando por Linares y hasta la zona del Refugio donde se muestra el gran espesor de la Formación Méndez.

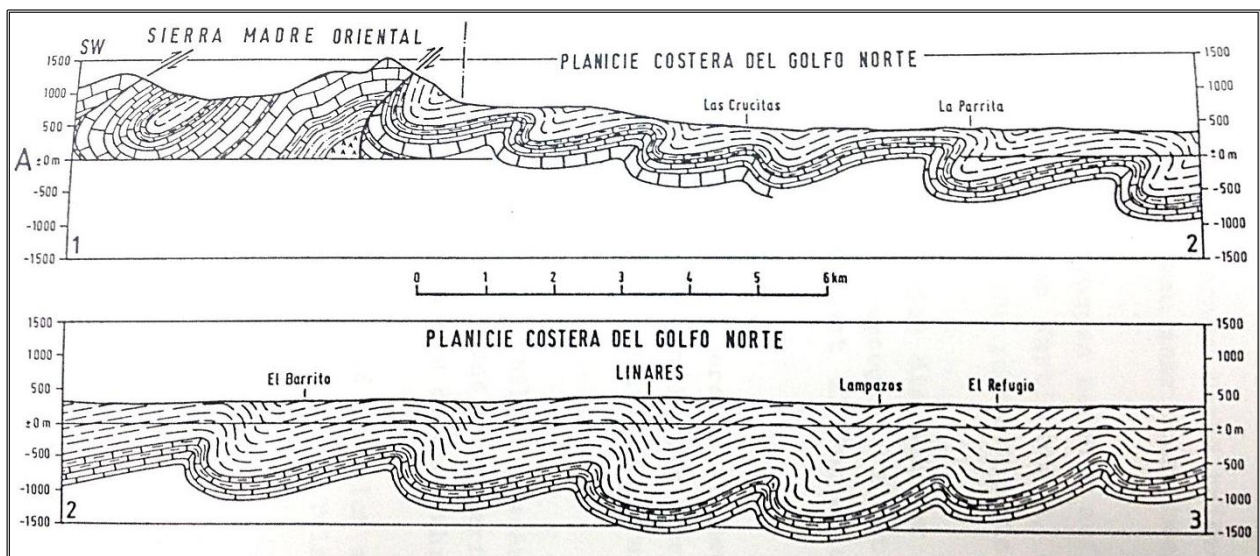


Figura 2.4.3 Perfiles Geológicos-Estructurales que muestran la zona de cabalgadura entre el área de la Sierra Madre Oriental y la Planicie Costera del Golfo de México, pasando por Linares y hasta la zona del Refugio. (Tomada de De León-Gómez, H., 1993).

2.5 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Según el análisis del plano geológico (Figura 2.5), se observa que en la zona de estudio afloran las formaciones siguientes (Tabla 3).

Tabla No. 3.- Estratigrafía de la zona de estudio. (CGSNEGI. Carta Geológica 1:250 000)

Nombre de la Formación	Litología	Clave en el plano	Piso	Época
S/N	aluvión	Q(al)		Holoceno
Conglomerado Reynosa	conglomerado polimíctico	Tpl(cg)		Plioceno
Méndez	lutita-marga	Ks(lu)	Campanense – Maestrichtense	Cretácico superior

A continuación se describen los afloramientos presentes en la zona, iniciando de los más antiguos, representados por de la formación Méndez del Cretácico superior hasta los sedimentos aluviales de edad Cuaternario como se observa en el Perfil Geológico de la Figura 2.6.

Campanense – Maestrichtense.

Formación Méndez. Fue descrita por primera vez por G. Jeffreys en 1910, su localidad tipo se localiza inmediatamente al este de la estación Méndez (Km 629.3 del FFCC Tampico-San Luis Potosí). En la zona de estudio está constituida por lutitas arenosas calcáreas con proporciones de calcita de 15 a 25%. Presenta delgadas intercalaciones de limonitas color amarillo ocre y pirita diseminada; en algunas zonas puede presentar intercalaciones de caliza gris y gris verde; en el mapa geológico de la Figura 2.5, esta unidad se localiza en la parte Norte y está representada por la clave Ks(lu). Generalmente en los primeros 15 m se presentan lutitas alteradas, que son las que le dan la propiedad de semiconfinado al acuífero. De los 15 a los 20 m se encuentran ligeramente alteradas y a partir de los 20 m las lutitas se encuentran compactas y sin alteraciones, pero con porcentajes de calcita que pueden ser del 15 al 25%. El ambiente de depósito de esta formación es de cuenca. Esta formación tiene un espesor 300 a 600 m de profundidad, en algunas porciones del valle aflora de manera libre, principalmente hacia la porción sureste, mientras que en otras áreas se encuentra cubierta otras por aluvión y/o suelos del Cuaternario; se distribuye por todo el valle. Es justamente esta unidad hidrogeológica, la que se encuentra actualmente en explotación y la que propiamente tendría el nombre de acuífero en la zona. La gran mayoría de los pozos se encuentran ubicados dentro del área de estudio cortando y explotando esta formación, de la cual se obtienen caudales bajos siendo los materiales aluviales, en especial los canales de gravas, los que reportan los mayores volúmenes en la zona.

El Plioceno.

Conglomerado Reynosa. Como su nombre lo indica, está conformado por un conglomerado polimíctico con clastos de diferentes diámetros y matriz arcillosa. Aflora en la zona Sureste y en la porción oriente de la zona de estudio sobre la margen derecha del río Pablillo (Figura 2.5). Sobreyace discordantemente a la Formación Méndez.

El Holoceno.

Los suelos aluviales. Se encuentran esparcidos por toda la zona de estudio (Figura 2.5); unas veces como canales de gravas calcáreas y en otros casos como suelos arcillosos. Estos canales de gravas son los que interesan geohidrológicamente en la zona, ya que por su transmisividad alta aportan gastos considerables; en general, mayores que los 20 lps, siendo el principal interés la localización de estos canales de gravas, ya que en un solo aprovechamiento se puede obtener lo que en 4 ó 5 pozos que obtienen su agua del acuífero que conforman las Lutitas Méndez.

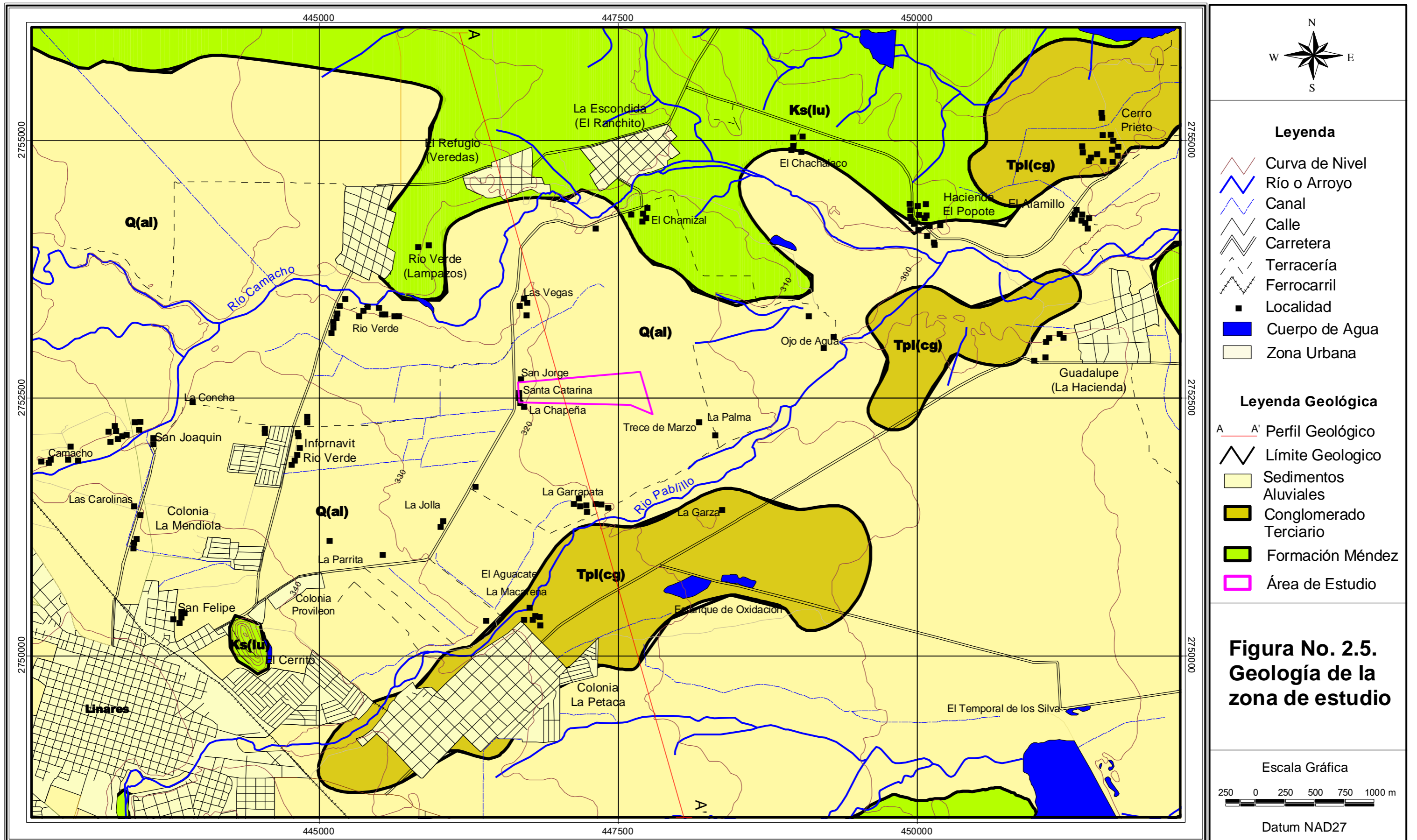


Figura No. 2.5.- Geología de la zona de estudio. FUENTE: CGSNEGI. Carta Geológica 1:250 000.

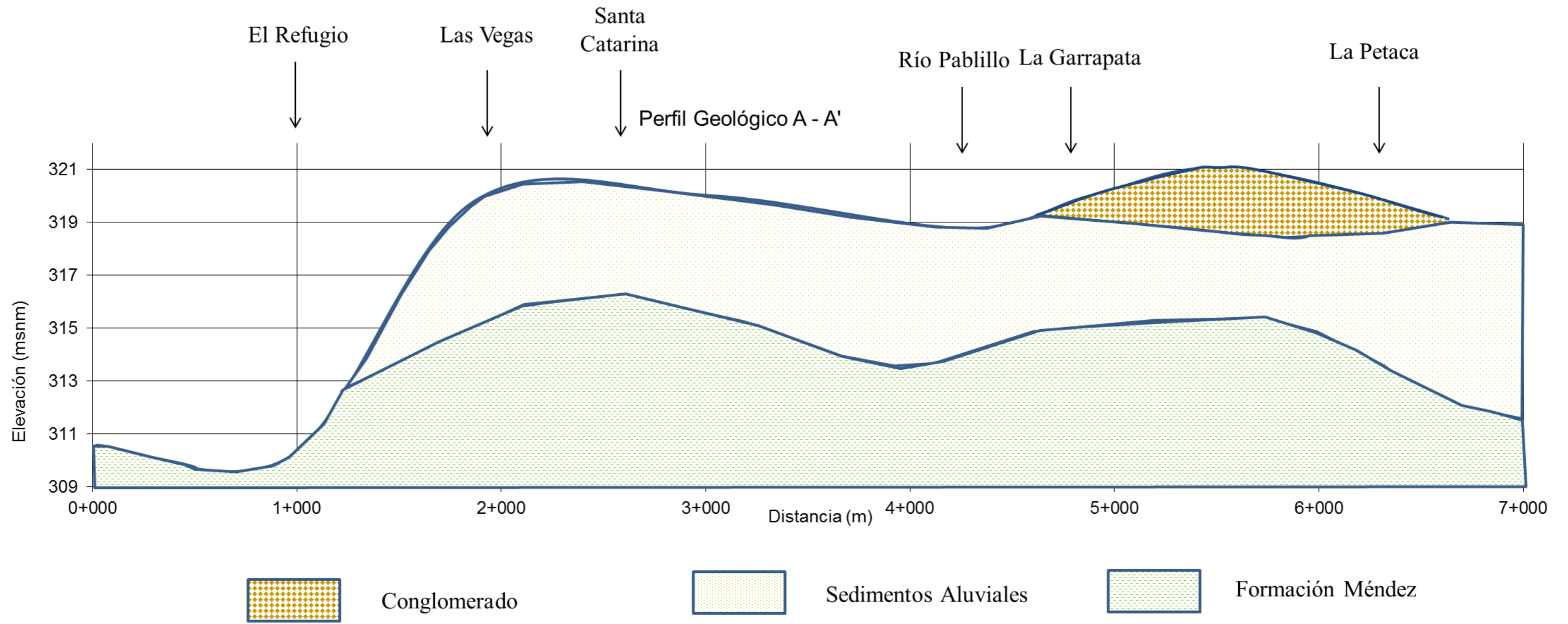


Figura No. 2.6.- Perfil Geológico de la zona de estudio.

CAPÍTULO 3

HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

3.1 CENSO DE APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.

3.1.1 Recopilación de la base de datos de aprovechamientos de agua subterránea que se localizan dentro de la zona de estudio.

Se consultó la base del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) de los pozos que cuentan con título de concesión, a la redonda de la zona de estudio (Huerta Santa Catarina) en la cual se localizaron 14 aprovechamientos (Figura 3.1) de los cuales todos ellos cuentan con una profundidad igual o menor que los 50 metros. De los 14 aprovechamientos, 5 presentan gastos de extracción menores que los 10 lps; 7 entre 10 y 20 lps y 2 de ellos con gastos mayores que los 20 lps. Esta base de datos fue de utilidad para planear el trabajo de campo y localizar, de una manera más fácil, los aprovechamientos en el terreno; además, en los recorridos de campo se visitaron todos los aprovechamientos contenidos en esta bases de datos, y se encontró que algunos de los aprovechamientos registrados no corresponden a la ubicación real en el terreno y otros más que se encontraron en el campo, no aparecen en el registro del REPDA.

La gran mayoría se localiza en la franja aledaña a la carretera entre Linares y el Ejido la Escondida y este fenómeno se presenta porque la infraestructura eléctrica se localiza cercana a esta vía de comunicación, lo que hace que la gran mayoría de los citricultores de la zona perforen sus pozos o hayan construido sus aprovechamientos cercanos a la infraestructura, ya que esto minimiza los gastos de la infraestructura y del equipamiento de los pozos.

3.1.2 Censo de aprovechamientos de agua subterránea.

Las actividades de campo se iniciaron con recorridos preliminares en la zona de estudio, con lo cual se definieron sus límites y las condiciones en las que se encontraban los caminos de acceso; además, se hicieron visitas de reconocimiento a las localidades más importantes.

Con objeto de conocer la distribución, la localización y la extracción de los aprovechamientos de agua subterránea, se efectuó el inventario de pozos existentes en la zona de estudio. La localización de los aprovechamientos se efectuó básicamente de dos formas: la primera, con el GPS (Sistema de posicionamiento global) buscando las coordenadas que aparecen en las bases de datos del REPDA (ver Tabla 3.1) y la segunda directamente en las localidades y dirigiéndose con el encargado de cada una de las huertas aledañas al área de estudio para obtener: Nivel estático, altura del brocal, profundidad de perforación, coordenadas y con ello elaborar el plano Piezométrico. (ver Tabla 3.2).

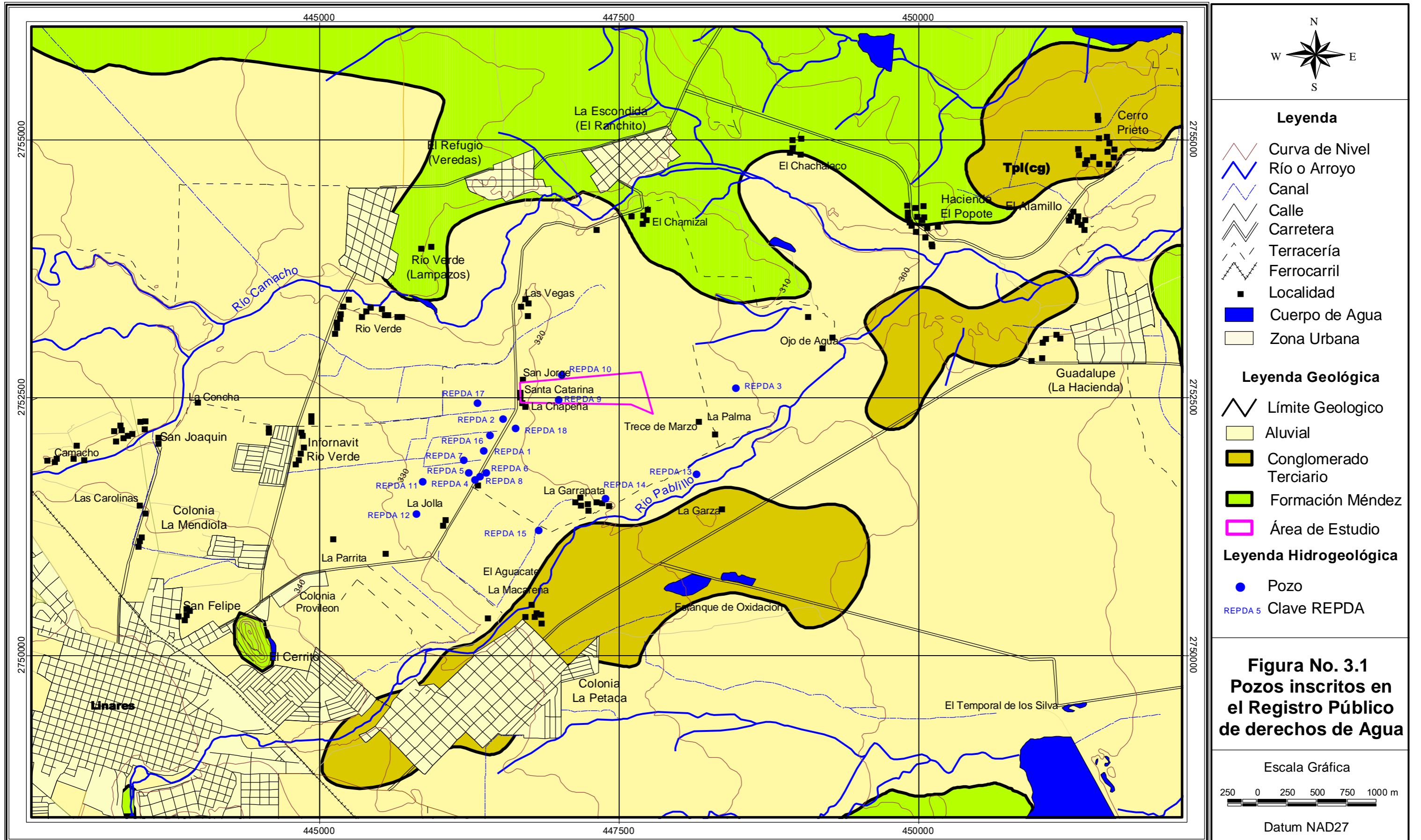


Figura No. 3.1.- Pozos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua. FUENTE: CNA. Gerencia de Aguas Subterráneas (2006).

Una vez encontrados los aprovechamientos, se procedió a geoposicionarlos con un GPS estándar, de tipo navegador, con precisión de 4 a 5 m, con la finalidad de anotar las coordenadas geográficas (latitud, longitud y elevación), en grados, minutos y segundos, así como las coordenadas UTM; utilizando el *datum* norteamericano de 1927 (conocido como NAD27), para el cual emplea como elipsoide de referencia el de Clark de 1866. En esta visita se recabó la información sobre el nivel estático para posteriormente utilizarlo en la configuración de líneas isopiezas (Ver Figura 3.3).

Tabla No. 3.1. Resumen de aprovechamientos del REPDA.

CLAVE	LOCALIDAD DEL APROVECHAMIENTO	LATITUD			LONGITUD			PROFUNDIDAD	GASTO
		GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	(m)	lps
REPDA 1	HUERTA LA CHAPEÑA, CARR. A LA ESCONDIDA KM. 3.5	24	53	0.0	99	31	57.0	40.00	14.0
REPDA 2	HUERTA LA CHAPEÑA, LOCALIDAD CARR. A LA ESCONDIDA KM. 3.5	24	53	10.0	99	31	50.0	30.00	9.0
REPDA 3	HUERTA 13 DE MARZO, LOCALIDAD LA ESCONDIDA	24	53	20.0	99	30	30.0	22.00	15.0
REPDA 4	HUERTA SAN JUAN, LOCALIDAD LA ESCONDIDA	24	52	51.0	99	32	0.0	50.00	2.5
REPDA 5	HUERTA SAN JUAN, LOCALIDAD LA ESCONDIDA	24	52	52.0	99	31	58.0	50.00	2.8
REPDA 6	HUERTA SAN JUAN, LOCALIDAD LA ESCONDIDA	24	52	53.0	99	31	56.0	50.00	12.5
REPDA 7	HUERTA LA CORONA	24	52	57.0	99	32	4.0	50.00	21.1
REPDA 8	HUERTA LA CORONA	24	52	53.0	99	32	2.0	50.00	19.3
REPDA 9	HUERTA SAN JORGE	24	53	16.0	99	31	31.0	32.91	16.0
REPDA 10	HUERTA SAN JORGE	24	53	24.0	99	31	30.0	50.00	3.0
REPDA 11	HUERTA LA PARRITA	24	52	50.0	99	32	18.0	65.00	9.0
REPDA 12	HUERTA LA PARRITA	24	52	40.0	99	32	20.0	75.00	25.0
REPDA 13	TRECE DE MARZO	24	52	50.0	99	30	42.0	50.00	35.0
REPDA 14	LA GARRAPATA	24	52	45.0	99	31	15.0	30.00	12.0
REPDA 15	LA GARRAPATA	24	52	35.0	99	31	38.0	30.00	15.0
REPDA 16	LINARES	24	53	5.0	99	31	55.0	50.00	16.5
REPDA 17	LINARES	24	53	15.0	99	31	59.0	50.00	9.6
REPDA 18	SANTA CATARINA	24	53	7.0	99	31	46.0	47.77	32.9

3.2 PIEZOMETRÍA

3.2.1 Observaciones piezométricas.

De los 14 aprovechamientos registrados en el REPDA, sólo 5 se lograron verificar, por cuestiones de seguridad, ya que en la mayoría de las huertas aledañas a la zona de estudio no hay personal o no quieren dar información al respecto. Los 5 pozos censados se utilizan para uso agrícola, siendo 2 de ellos norias y 3 pozos. Los niveles estáticos oscilan entre los 5 a los 12 metros de profundidad. Los datos se presentan en la Tabla 3.2 y se pueden visualizar en la Figura 3.2 del Censo de aprovechamientos.

Tabla No. 3.2. Resumen de aprovechamientos Censados.

CLAVE	POZO	COORDENADAS		ALTURA	NIVEL ESTÁTICO	LÍNEA PIEZOMÉTRICA
		X	Y	msnm	m	msnm
SC-1	SANTA CATARINA	446565	2752461	325	12.17	312.83
LG-2	LA GRULLA	448212	2752121	317	6.89	310.11
LG-3	LA GARZA	448442	2752217	315	5.91	309.09
LCH1-4	LA CHAPEÑA 1	446504	2752348	326	11.00	315.00
LCH2-5	LA CHAPEÑA 2	446416	2752149	327	11.00	316.00

3.2.2 Carta Hidrogeológica (Isopiezas)

La configuración espacial del nivel piezométrico de un acuífero se presenta por cartas piezométricas, las cuales proporcionan la siguiente información valiosa sobre el agua subterránea:

- Las direcciones de su flujo, que son de importancia para la colocación de pozos y para el reconocimiento de caminos de contaminación
- Los gradientes de su flujo (gradiente piezométrico), se necesita para el cálculo del caudal y de la velocidad del agua subterránea en base a la Ley de Darcy.

- El nivel piezométrico es un plano más o menos corvado, que se representa en la carta por curvas del mismo nivel (isopiezas).

La base de la construcción exacta de una carta piezométrica es la interpolación lineal en el triángulo hidrológico. La dirección del flujo está marcada por flechas o líneas de flujo perpendiculares a las isopiezas (J. Werner, 1966).

Los planos de curvas de igual profundidad en el nivel estático se utilizan básicamente en la prospección hidrogeológica, para determinar zonas factibles para perforación de pozos a bajo costo y dentro del balance para calcular las áreas con profundidades menores que 10 m, susceptibles de evapotranspirar por acción de las plantas nativas. También se utilizan para detectar zonas con problemas de abatimiento del nivel estático, que para el caso de este estudio se pudiera apreciar en la zona de la carretera, en los pozos denominados Chapeña 1 y 2 y Santa Catarina, en donde las curvas piezométricas se juntan indicando esto un incipiente cono de abatimiento que presenta una forma alargada en dirección N – S similar al trazo de la carretera.

La configuración de las curvas de igual profundidad en el nivel estático, que se presentan en la figura 3.3, fue generada a partir de las mediciones de profundidad en el nivel estático que se realizaron en el campo, en 5 aprovechamientos de agua subterránea, en el año 2011. Posteriormente, los datos de profundidad del nivel estático fueron incorporados a un sistema de información geográfica, donde se generaron las curvas de igual profundidad en el nivel estático, utilizando el módulo Kriging Interpolator de Arc View. Con las curvas de igual profundidad se generó, a su vez, un plano de profundidad del nivel estático. En el plano se puede observar una dirección del flujo del agua subterránea hacia el Noreste similar al del Río Pablillo en ese tramo del área de estudio, tal y como se observa en la Figura 3.3 Curvas de igual elevación del nivel estático y el bloque tridimensional que muestra el flujo subterráneo de la Figura 3.4.

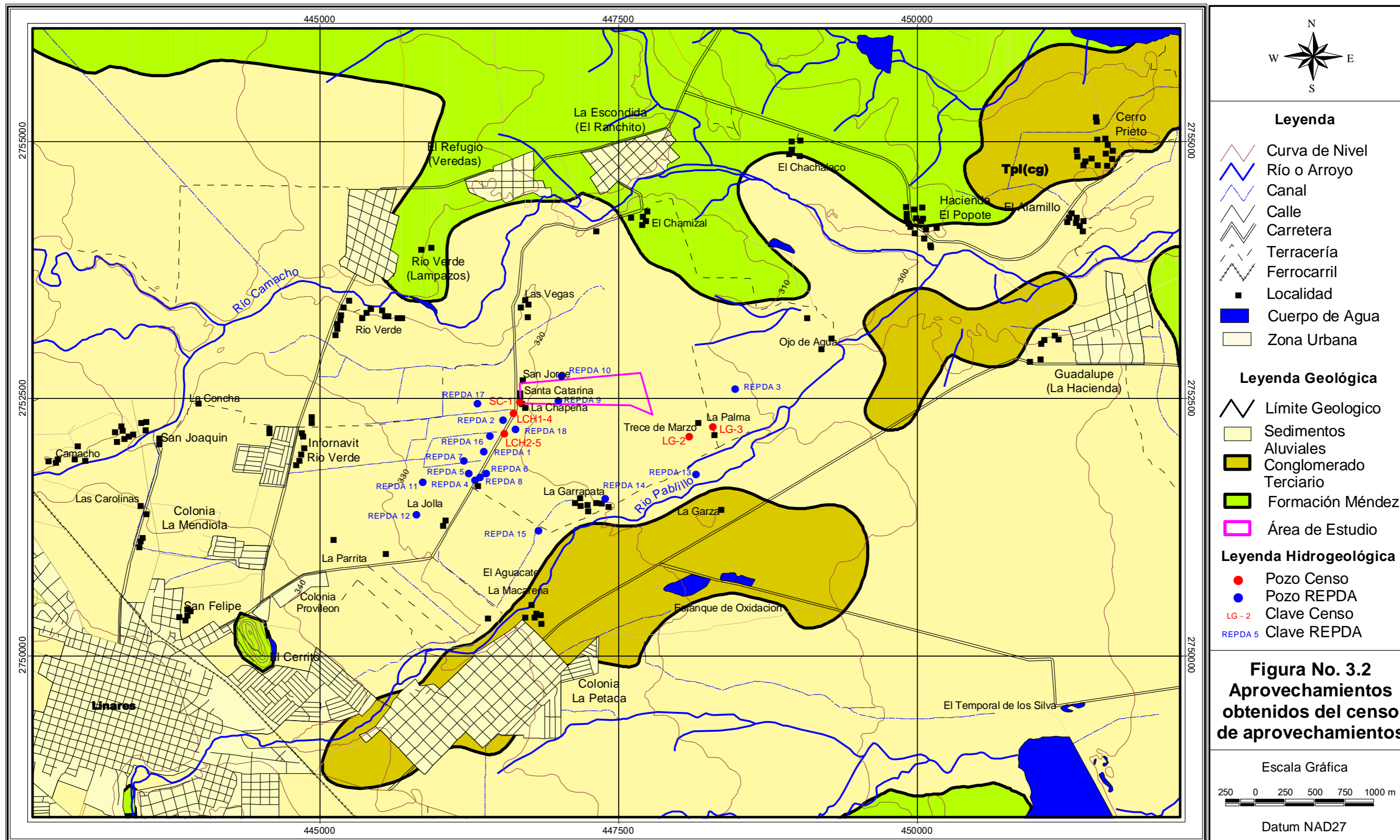


Figura No. 3.2.- Aprovechamientos obtenidos del censo de aprovechamientos.

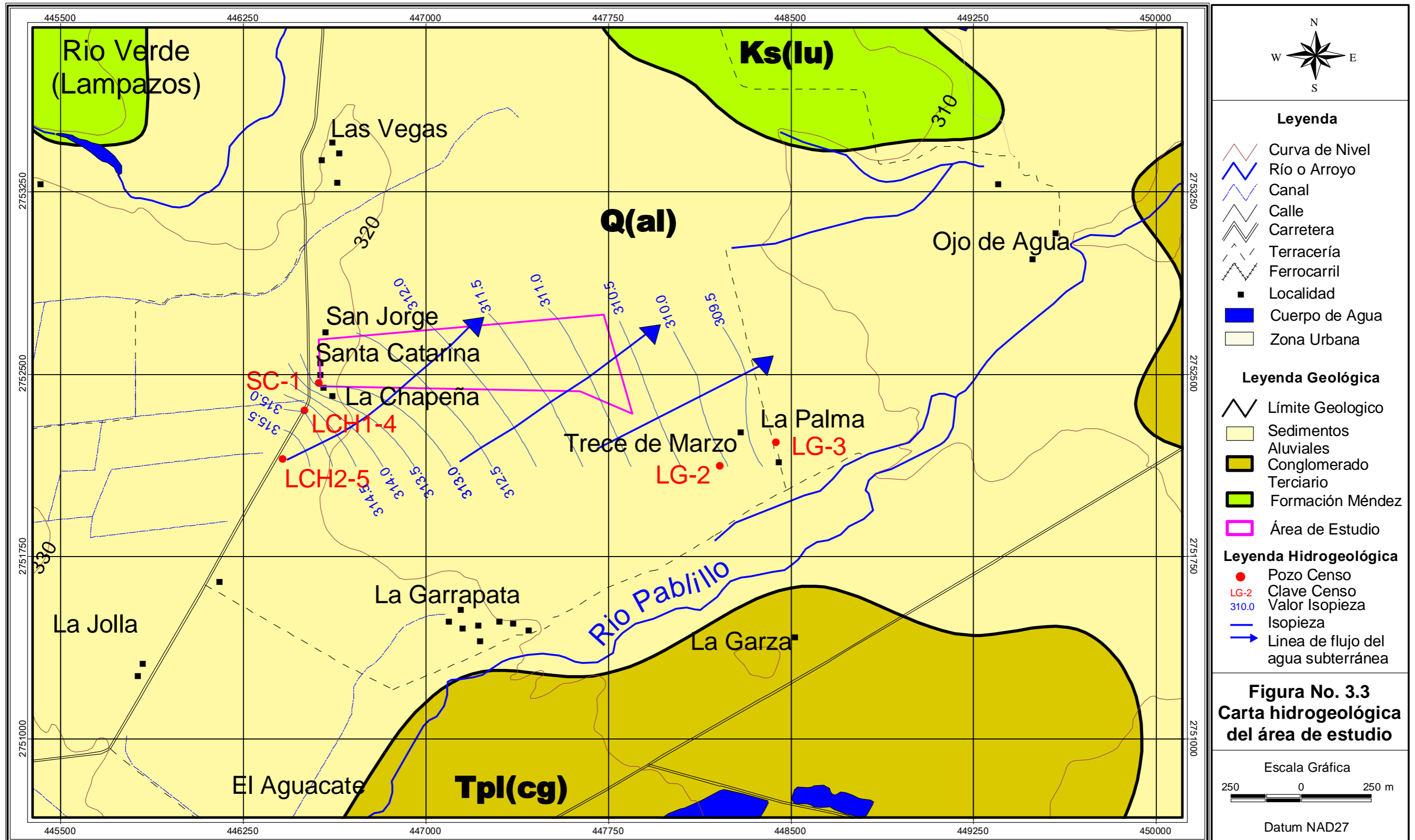


Figura No. 3.3.- Carta hidrogeológica del área de estudio.

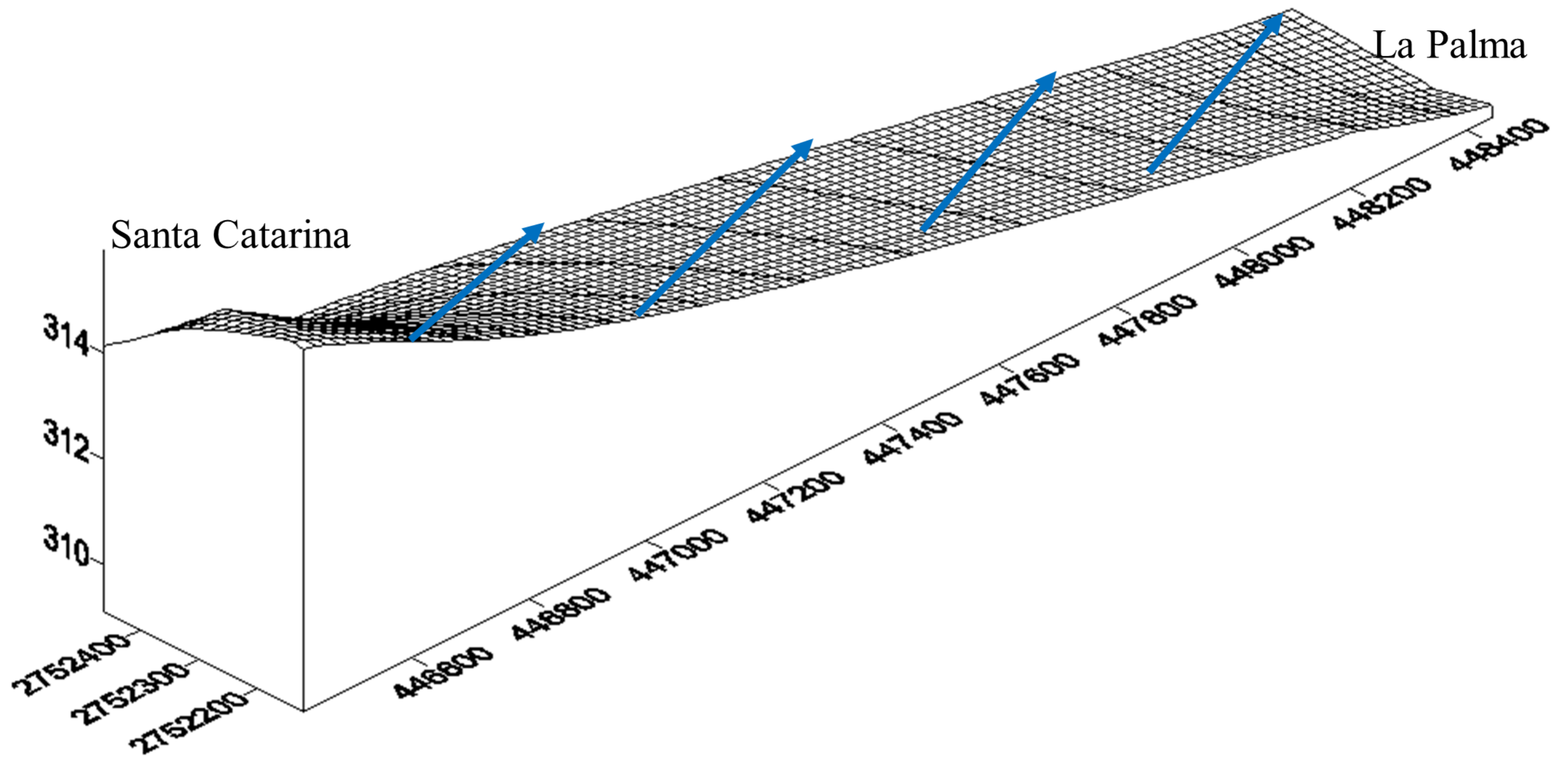


Figura No. 3.4 Bloque tridimensional diagramático que muestra la dirección del flujo subterráneo.

Cabe mencionar que en la Tesis de Salvador Israel de la Garza González en el año de 2000, se menciona un recorrido Piezométrico en el año de 1998 en el cual en la Huerta La Garza se tuvo en un pozo la medida del nivel estático de 12 m, mientras que en el recorrido efectuado en este trabajo para la misma huerta en el 2011 se registró un nivel estático de 5.91, teniendo una recuperación de 6.11 metros en 13 años. En este año de 1998, en el mes de septiembre se registró el nivel de almacenamiento más bajo en la Presa Cerro Prieto (Figura 3.5), reflejo de la sequia que atravesaba la región noreste del país. No se tenía escurrimiento en los ríos Pablillo y Camacho por lo que no había aporte hacia el acuífero de gravas, que por el nivel estático que presentaba en el año de 1998 probablemente estaba completamente drenado.

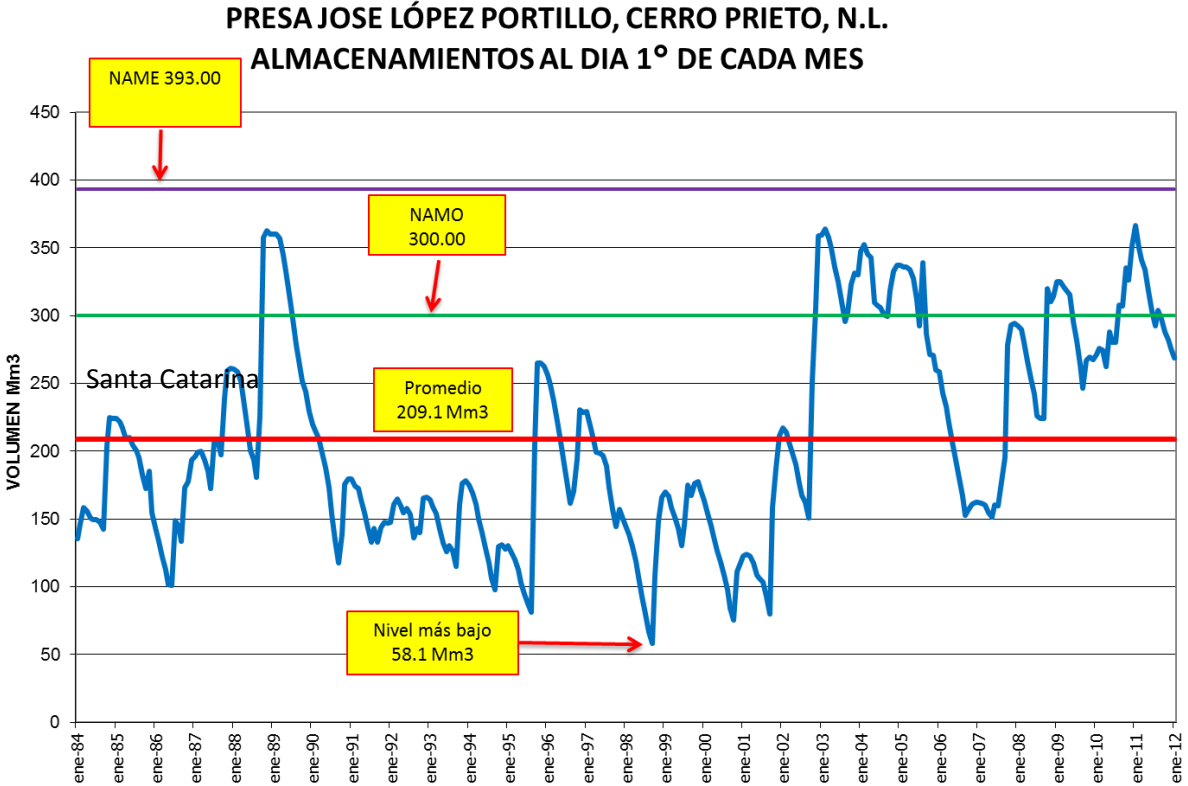


Figura No. 3.5 Niveles históricos de almacenamiento de la Presa Cerro Prieto. (Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2012).

CAPÍTULO 4

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

4.1.- INTRODUCCIÓN.

La conductividad eléctrica de las rocas del subsuelo depende de la cantidad de fluidos, de la salinidad y del grado de interconexión de los espacios porosos, por este motivo los métodos geofísicos más utilizados para estudios de prospección de agua subterránea, son aquellos sensibles a la conductividad eléctrica del subsuelo. Las observaciones se interpretan suponiendo que el subsuelo está compuesto por capas horizontales (Orellana, 1982). En este estudio se propone investigar la conductividad del subsuelo utilizando el método geofísico de resistividad; más específicamente, Perfilaje Geoeléctrico (Tomografía) con el arreglo electródico Schlumberger dipolo dipolo, cuyo parámetro que mide la resistividad es el inverso proporcional a la conductividad.

Los métodos de prospección geoeléctrica detectan los efectos superficiales producidos por el flujo eléctrico en la tierra. Usando métodos eléctricos, es posible medir potenciales, corrientes y los campos electromagnéticos que ocurren naturalmente o que se introducen artificialmente en la tierra. Además, las mediciones se pueden hacer de distintas maneras, para determinar una variedad de resultados. Hay muchas técnicas geoeléctricas y electromagnéticas disponibles que en otros métodos de prospección, donde se utiliza solamente un solo campo de fuerza o de la característica anómala. Básicamente, es la gran variación en la resistividad eléctrica encontrada en diversas rocas y minerales que hace posible estas técnicas (Orellana, 1982).

4.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LAS ROCAS

Todos los materiales, incluyendo el suelo y la roca, tienen una característica intrínseca, la resistividad, que gobierna la relación entre la densidad de la corriente y el gradiente del potencial eléctrico. Las variaciones en la resistividad de los materiales de la tierra, verticalmente o lateralmente, las variaciones del producto en las relaciones entre la distribución actual y potencial aplicada según lo medido en la superficie, de tal modo que revelan algo sobre la composición, el grado y las características físicas de los materiales subsuperficiales. Las diferentes técnicas geofísicas geoeléctricas distinguen los materiales por cualquier contraste que existe en sus características eléctricas; las características que afectan la resistividad de un suelo o de una roca incluyen la porosidad, el contenido en agua, la composición (contenido de arcilla), la salinidad del agua en los poros y la distribución de tamaño del grano (Orellana, 1982).

En la mayoría de los materiales de la tierra, la conducción de la corriente eléctrica ocurre virtualmente completamente en el agua que ocupa los espacios de poro o las fracturas, puesto que la mayoría de los minerales del suelo y constituyentes de rocas son esencialmente no conductivos. Las arcillas y algunos otros minerales, como la magnetita, la hematita, el carbón, la pirita, y otros sulfuros metálicos se pueden encontrar en una concentración suficiente para contribuir de forma considerable a la conductividad del suelo o de la roca (Orellana, 1982).

La tabla 4.1 muestra algunos valores típicos de resistividad para los minerales y las rocas. Las condiciones particulares de un sitio pueden cambiar las relaciones de la resistividad. Por ejemplo, la arena o la grava gruesa, si es seca, puede tener una resistividad como las rocas ígneas, mientras que una capa de roca puede ser más conductora que el suelo que la cubre. En cualquier tentativa de interpretar resistividades, en términos de los tipos de litología del suelo, se deben considerar los factores que afectan la resistividad.

Tabla 4.1.- Valores de resistividades de las rocas más comunes, según Coduto (1999).

Litotipo	Resistividad (Ωm)
Rocas ígneas y metamórficas	1000
Rocas ígneas y metamórficas meteorizadas alteradas o fuertemente diaclasadas	100 – 1000
Calizas y areniscas	100 – >1000
Arcillas	1 – 100
Limos	10 – 100
Arenas	100 – 1000
Gravas	200 – >1000

4.3.- CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS ELÉCTRICOS

Hay una gran variedad de métodos eléctricos, como potencial natural, magnetoteléuticos, de resistividad, equipotenciales, “mise a la masse”, electromagnéticos y de polarización inducida. Debido al gran número de métodos que existen, éstos se pueden clasificar según el tipo de energía que se aplica; es decir, natural o artificial. De los métodos mencionados al principio, los primeros dos son naturales y el resto artificiales (Orellana, 1982).

Otra clasificación, que se utiliza, es el dominio en que se miden, ya sea en el dominio de la frecuencia o del tiempo.

4.3.1.- Teoría de Resistividad

Los datos de resistividad se presentan y se interpretan normalmente en la forma de valores de la resistividad aparente (ρ_a). La resistividad aparente es la variable experimental que expresa los resultados de las mediciones en la mayoría de los métodos geoelectrónicos y la que se toma

como base para la interpretación. Las dimensiones para la resistividad aparente son las mismas que para la resistividad, y su unidad será también el ohmio-metro (Ωm) (Orellana, 1982). Una ecuación que da la resistividad aparente en términos de la corriente aplicada, la distribución del potencial y el arreglo de electrodos se puede llegar a través de un estudio de la distribución potencial debido a un solo electrodo actual. El efecto de un par del electrodo (o de cualquier otra combinación) se puede encontrar por la superposición (Orellana, 1982).

Considere un solo electrodo del punto, situado en el límite de un medio semi-infinito, eléctricamente homogéneo, que representa una tierra homogénea ficticia. Si el electrodo lleva una corriente I , medida en amperes (a), el potencial en cualquier punto en el medio será (Orellana, 1982):

$$U = \rho \frac{I}{2\pi r},$$

Donde:

- U = potencial, en V,
- ρ = resistividad del medio.
- r = distancia del electrodo.

Para un par del electrodo con la corriente I en el electrodo A, y $-I$ en el electrodo B (a 2), el potencial en un punto es dado por la suma algebraica de las contribuciones individuales:

$$U = \frac{\rho I}{2\pi r_A} - \frac{\rho I}{2\pi r_B} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right],$$

r_A y r_B = distancias del punto a los electrodos A y B

La figura 4.1 ilustra el campo eléctrico alrededor de los dos electrodos en términos de equipotenciales y de líneas de corrientes. Los equipotenciales representan capas imaginarias, rodeando los electrodos de corriente y en el cual el potencial eléctrico sea por todas partes igual. Las líneas de corriente representan un muestreo de las muchas trayectorias infinitas seguidas por la corriente, las trayectorias que son definidas por la condición que deben ser por cualquier parte normales a las superficies equipotenciales.

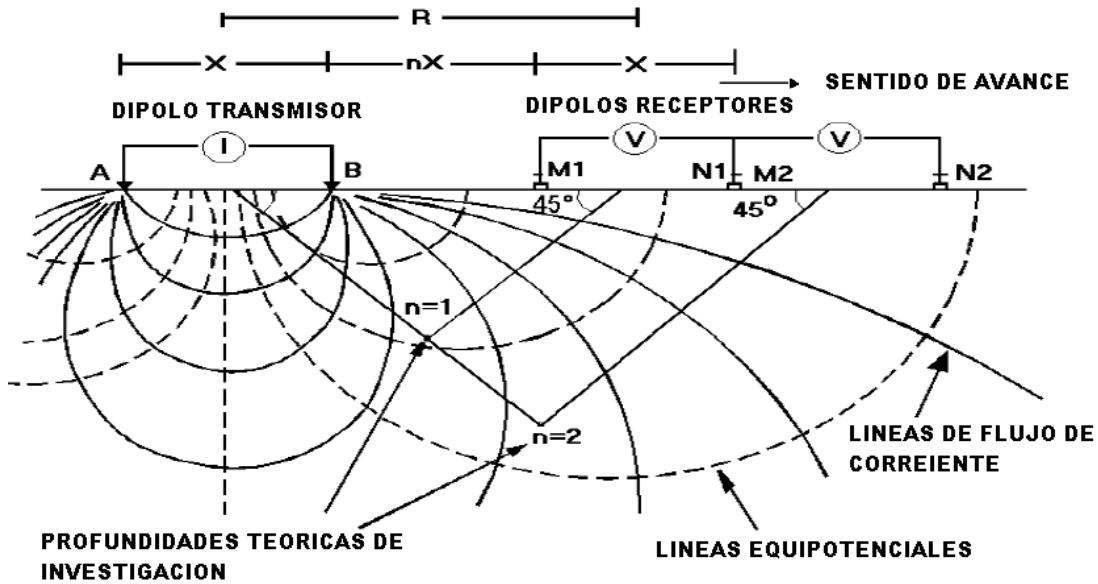


Figura 4.1.- Líneas equipotenciales y de corriente para un par de electrodos A y B en un semiespacio homogéneo (Orellana, 1982).

La figura 4.2 muestra los electrodos de corriente A y B y un par de electrodos de M y N, que no llevan ninguna corriente, pero entre los cuales puede ser medida la diferencia de potencial V . La diferencia de potencial V puede ser descrita:

$$V = U_M - U_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{AN} \right],$$

Donde:

U_M y U_N = potenciales en M y N,

AM = distancia entre los electrodos A y M, etc.

Estas distancias son siempre las distancias reales entre los electrodos respectivos. La cantidad dentro de los paréntesis es una función solamente de los espaciamentos de electrodos. La cantidad se denota $1/K$, que permite describir la ecuación como:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{K},$$

Donde:

K = Factor geométrico del arreglo

La ecuación se puede solucionar para ρ para obtener:

$$\rho = 2\pi K \frac{V}{I},$$

La resistividad del medio se puede encontrar por los valores medidos de V, de I, y de K, el factor geométrico. K es una función solamente de la geometría del arreglo del electrodo.

Un arreglo del electrodo con el espaciamiento constante se utiliza para investigar cambios laterales en la resistividad aparente que refleja variabilidad geológica lateral o características anómalas localizadas. Para investigar cambios en resistividad con profundidad, el tamaño del arreglo de electrodos se varía. La resistividad aparente se ve afectada por el material a profundidades cada vez mayores, según se aumenta el espaciamiento del electrodo. Debido a este efecto, un diagrama de la resistividad aparente contra el espaciamiento del electrodo se puede utilizar para indicar variaciones verticales en resistividad (Orellana, 1982).

Los tipos de arreglos del electrodo que se utilizan más comúnmente Schlumberger, Wenner, y Dipolo-Dipolo se ilustran en la figura 4.2.

4.3.2.- Arreglo Schlumberger

La resistividad aparente es:

$$\rho_a = \pi \left[\frac{s^2}{a} - \frac{a}{4} \right] \frac{V}{I} = \pi a \left[\left(\frac{s}{a} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \frac{V}{I},$$

En operaciones de campo, generalmente los electrodos potenciales internos están fijos, mientras que los electrodos de corriente externos se ajustan para variar la distancia.

4.3.3.- Arreglo Wenner

Este arreglo consiste en cuatro electrodos en línea, separada por intervalos iguales, denotado a. así que la resistividad aparente está dada por:

$$\rho_a = \pi \left[\frac{s^2}{a} - \frac{a}{4} \right] \frac{V}{I} = \pi a \left[\left(\frac{s}{a} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \frac{V}{I},$$

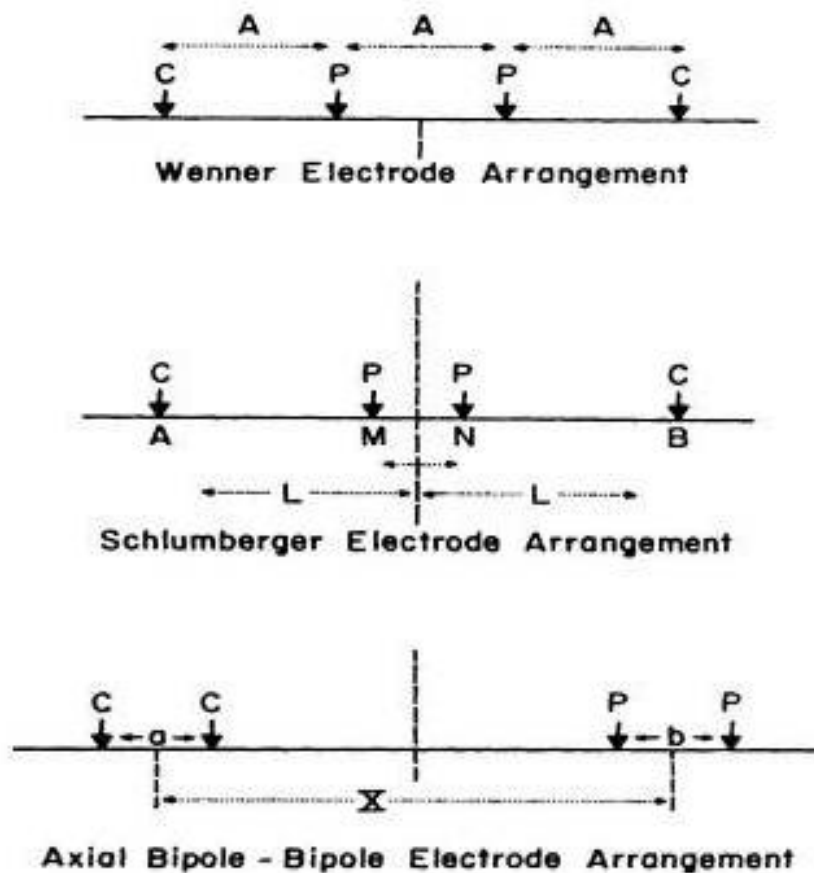


Figura 4.2.- Configuraciones del arreglo del electrodo para las medidas de la resistividad, tomado de Benson (1994).

4.4 LA ADQUISICIÓN DE DATOS.

Los levantamientos de resistividad se hacen para satisfacer las necesidades de dos diversas clases de problemas de la interpretación: (1) la variación de la resistividad con profundidad, reflejando más o menos la estratificación horizontal de los materiales de la tierra y (2) variaciones del lateral en la resistividad, que puede indicar las lentes del suelo, los cuerpos de mineral aislados, fallas, o cavidades. Para la primera clase de problema, las medidas de la resistividad aparente se hacen en una sola posición, con espaciamentos del electrodo que varían sistemáticamente (Orellana, 1982).

Este procedimiento se llama Sondeo Eléctrico Vertical (SEV). Los estudios de variaciones laterales se pueden hacer en puntos o en mallas o a lo largo de líneas de la travesía, llamados perfiles horizontales (Tomografía).

4.5.- PERFILEAJE ELÉCTRICO

Los estudios de variaciones laterales en resistividad pueden ser útiles para la investigación de cualquier característica geológica que se pueda esperar, para ofrecer contrastes de la resistividad con sus alrededores. Los depósitos de grava, particularmente si son no saturados, tienen alta resistividad. Se pueden localizar fallas en escalón por las travesías de la resistividad que cruzan la línea de la falla, si hay suficiente contraste de la resistividad entre las rocas en los dos lados de la falla. Las cavidades por disolución en rocas carbonatadas (cavernas) o las fracturas comunes se pueden detectar como una alta anomalía de la resistividad, si están abiertas, o anomalía baja de la resistividad, si se llenan de tierra o de agua (Orellana, 1982).

4.6.- INTERPRETACIÓN DE DATOS DE PERFILES HORIZONTALES

Los datos obtenidos de perfiles horizontales para los usos de la ingeniería se interpretan normalmente de forma cualitativa. Los valores aparentes de resistividad se trazan y se hacen mapas de contornos, o se trazan como perfiles y se identifican las áreas que exhiben valores anómalos altos o bajos o patrones anómalos. La interpretación de los datos, tanto como la planeación del estudio, se debe dirigir por el conocimiento disponible de la geología local.

La construcción de perfiles teóricos es factible para ciertas clases de modelos idealizados y el estudio de tales perfiles es muy provechoso para entender el significado de los perfiles del campo (Orellana, 1982).

4.7.- ESTUDIO GEOFÍSICO DE RESISTIVIDAD

Dadas las características del terreno y debido al objetivo del presente trabajo, se planeó el levantamiento de tres perfiles geoelectricos (ver el plano de localización), con los cuales se estudió el comportamiento de las resistividades del subsuelo en sus variaciones laterales. En este trabajo se realizó esto con el método de tomografía geoelectrica, arreglo tipo dipolo dipolo Schlumberger, con una disposición de electrodos $AB = MN = 15$ metros y $n = 6$.

4.8.- METODOLOGÍA

Se utilizó para este trabajo un equipo de resistividad de la marca Scintrex, denominada SARIS (Scintrex Automated Resistivity Imaging System) que es transmisor y receptor a la vez. Éste viene programado para hacer tanto sondeos como perfiles, con los diferentes arreglos electródicos (Fotografía 1).

Dentro del campo de la geofísica, el método geoelectrico es uno de los más utilizados en los estudios de prospección de aguas subterráneas; esto debido a lo resolutivo y práctico del equipo en el terreno.

Las mediciones de resistividad se realizan inyectando corriente eléctrica al suelo mediante dos electrodos A, B y midiendo la diferencia de voltaje resultante en dos electrodos de potencial M y N.

En el campo se marcan estaciones, puntos fijos donde se toman las lecturas, a cada 15 metros y separación entre los electrodos de corriente (A, B) y los de potencial (M, N) a cada 15 metros, con $n = 6$.



Fotografía 1.- Equipo SARIS Scintrex.

Durante la toma de datos en el campo cada lectura de diferencia de potencial se repite de 3 a 4 veces, para asegurar la repetibilidad (error menor que el 10%). De ser necesario, se aplica a cada electrodo de corriente un poco de agua con sal, para bajar la resistencia de contacto en los electrodos AB, o se agrupan de 2 a tres varillas por electrodo de corriente. (Se anexan los datos crudos en el campo).

La inversión de los datos de campo se realizó mediante el paquete de cómputo RES2DINV (Loke, 2002b).

El proceso de inversión trata de obtener, a partir de la sección de resistividades aparentes, un modelo de subsuelo que pueda considerarse una solución válida compatible con los datos experimentales, de forma que la respuesta teórica de ésta sea razonablemente parecida a las observaciones. El inconveniente principal del problema inverso es que, si bien el problema directo proporciona una única solución válida, a partir del proceso de inversión pueden aparecer múltiples modelos. Por este motivo, a la hora de buscar un modelo que se ajuste a los datos experimentales, es conveniente tratar de establecer restricciones previas, ya sean de carácter geológico, núcleos de perforación o información derivada de otros métodos geofísicos.

El programa RES2DINV determina de forma automática un modelo bidimensional de resistividades reales del subsuelo, a partir de un conjunto de datos que constituyen una pseudosección de resistividades aparentes. El modelo bidimensional utilizado por el programa consiste en un conjunto de bloques rectangulares cuya situación corresponde con la distribución de los puntos de medida en la pseudosección. Para realizar el cálculo de los valores de resistividad se utiliza una subrutina de modelización directa, así como una técnica de optimización no lineal de mínimos cuadrados para la rutina de inversión (Loke y Barker 1996). Durante el proceso de inversión se adopta como criterio de convergencia el valor del error cuadrático medio (RMS) entre los datos experimentales y la respuesta del modelo actualizado en cada iteración. Si el valor del RMS o su disminución relativa se sitúan por debajo de un valor predefinido, se dice que la inversión ha convergido y el proceso se considera terminado.

4.9.- DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS PERFILES GEOELÉCTRICOS EN EL AREA DE ESTUDIO

PERFIL 1

El perfil 1 se levantó con una dirección WNW-ESE, en la parte sur centro del lote en estudio, con una longitud total de 450 metros, con coordenadas métricas con Datum WGS84 en la estación 30 con $X = 446948$ y $Y = 2752375$ y en la estación 360 con $X = 447273$ y $Y = 2752348$ (Ver Figura 4.8, Plano de Perfiles).

Perfil realizado con lecturas en estaciones espaciadas a cada 15 metros (Fotografía 2, Ver Figura 4.3), con dirección de avance del noroeste al sureste. Presentó valores de resistividad que van de los 15 a los 150 ohm-m.



Fotografía 2.- Ubicación del Perfil 1.

RESULTADOS DE LA INVERSIÓN DE LOS DATOS DEL PERFIL 1

Se obtuvo un modelo de capas (figura 4.3) semi horizontales con algunas inhomogeneidades en los estratos someros, esto debido a la presencia de un material no consolidado, que por sus valores de resistividad, de 15 a 30 ohm-m, se interpreta como un conglomerado compuesto de gravas y arenas, los cuales se distribuyen de la estación 105 a la estación 255 y de la estación 265 hasta el final del perfil, y profundizan hasta los 13 m.

De la estación 0 a la estación 105 de manera superficial se presentan valores de resistividad que van de los 30 a los 70 ohm-m, que profundizan hasta los 5 m. Estos valores se interpretan como arenas y limos secos. Como base de este modelo se presentan valores de resistividad que van de los 50 a los 200 ohm-m, los que se interpretan como lutitas alteradas en el contacto del suelo y los conglomerados, esto se da a una profundidad entre los 5 m en la parte oeste, y de los 10 a los 13 m en la parte centro y este del perfil.

En este perfil los valores de resistividad presentes entre las estaciones 105 y 255, se interpretan como un paleocanal, que presenta valores de 20 a 30 ohm-m hacia sus costados, los que se interpretan como gravas y hacia el centro de este bajo la estación 210, los valores bajan hasta los 15 ohm-m, que se interpretan como un cambio a la granulometría de arenas y limos con humedad.

PERFIL 2

El perfil 2 se levantó con una dirección WSW-ENE, en la parte centro sur del lote en estudio, con una longitud total de 465 metros, con coordenadas métricas con Datum WGS84 en la estación 30 con $X = 446967$ y $Y = 2752539$ y en la estación 375 con $X = 447300$ y $Y = 2752582$ (Ver Figura 4.8 Plano de Perfiles).

Se levantó este perfil (Fotografía 3, Ver Figura 4.4) con una longitud total de 465 metros y un sentido de avance del SW al NE. Este presenta valores de resistividad que van de 10 a 500 ohm-m.



Fotografía 3.- Ubicación del Perfil 2.

RESULTADOS DE LA INVERSIÓN DE LOS DATOS DEL PERFIL 2

Se obtuvo un modelo al igual que la sección anterior. Se presentó una inhomogeneidad con los valores de resistividad superficiales, de la estación 0 a la estación 120. Se presentan valores de resistividad que van de los 30 a los 60 ohm-m, los que se interpretan como gravas y arenas secas. De la estación 120 a la estación 195 se presenta un cambio en el nivel de valores de resistividad, que van de los 15 a los 30 ohm-m. Estos se presentan desde la superficie hasta una profundidad de 27 m; estos valores se interpretan como un paquete de gravas y arenas con humedad.

De la estación 330 hasta el final de la línea se presenta un paquete igual al anterior, con valores de resistividad que van de los 14 a los 30 ohm-m. A diferencia del anterior, en este paquete se presentan los valores más homogéneos y con la forma de un paleocanal.

Hacia la profundidad, a lo largo de toda la línea, se presentan valores altos de resistividad que van de los 60 a los 250 ohm-m, los cuales se interpretan como lutitas. Entre estas lutitas y el paquete de gravas se presentan valores bajos de resistividad, que van de 10 a 15 ohm; esto se interpreta como lutitas arcillosas de la Formación Méndez, que se encuentran a una profundidad entre 15 y 17 m.

PERFIL 3

El perfil 3 se levantó con una dirección WSW-ENE, en la parte central del lote en estudio, con una longitud total de 375 metros, con coordenadas métricas Datum WGS84 en la estación 30 con $X = 446985$ y $Y = 2752439$ y en la estación 285 con $X = 447236$ y $Y = 2752469$ (Ver Figura 4.8 Plano de Perfiles). Perfil realizado con lecturas en estaciones espaciadas a cada 15 m (Fotografía 4, Ver Figura 4.5), con dirección de avance del Suroeste al Noreste, Este perfil presenta valores de resistividad que van de 10 a 180 ohm-m de resistividad.



Fotografía 4.- Ubicación del Perfil 3.

RESULTADOS DE LA INVERSIÓN DE LOS DATOS DEL PERFIL 3

Para este modelo se tiene que de la estación 45 a la estación 180 hay valores de resistividad que van de 30 a 60 ohm-m, los que se interpretan como arenas y limos secos. De la estación 180 a la estación 240 se tiene un cambio en los valores de resistividad, que van de los 15 a los 30 ohm-m, y profundizan hasta los 11 m. Esos valores se interpretan como arenas y limos con humedad. De la estación 255 hasta el final de la línea se presentan valores de resistividad que van de los 20 a los 30 ohm-m y se interpretan como arenas y limos.

A profundidad se presentan valores altos de resistividad que van de los 50 a los 200 ohm-m. Estos valores se interpretan como lutitas; en este intervalo de valores, los valores bajos corresponden a lutitas alteradas, las que se presentan a una profundidad entre 5 y 10 m entre las estaciones 0 a la 150, y de 12 a los 17 m entre las estaciones 240 y 360.

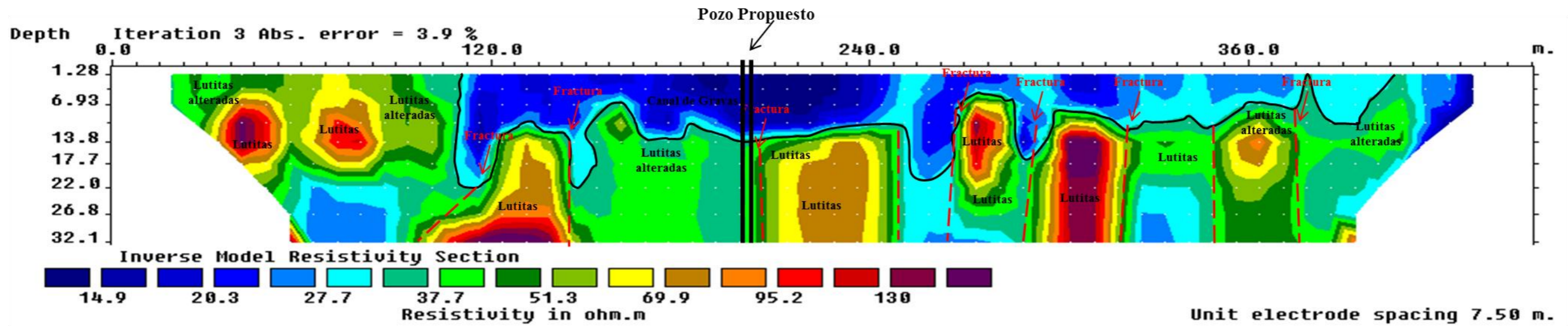


Figura 4.3.- Inversión de Datos Perfil 1.

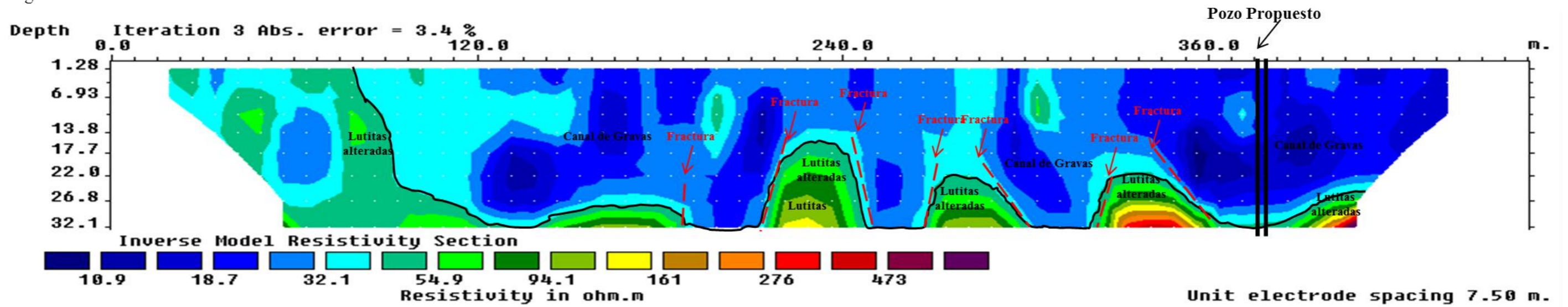


Figura 4.4.- Inversión de Datos Perfil 2

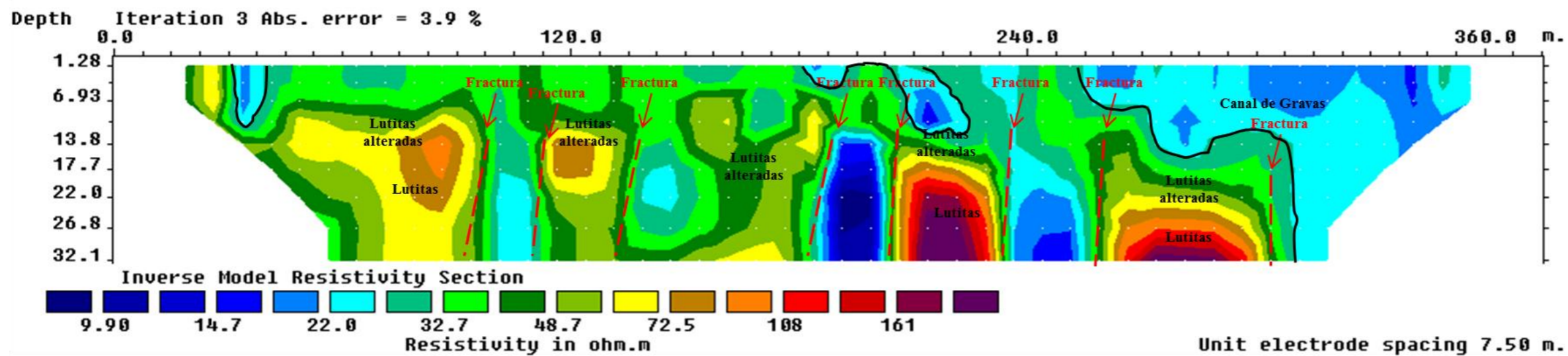
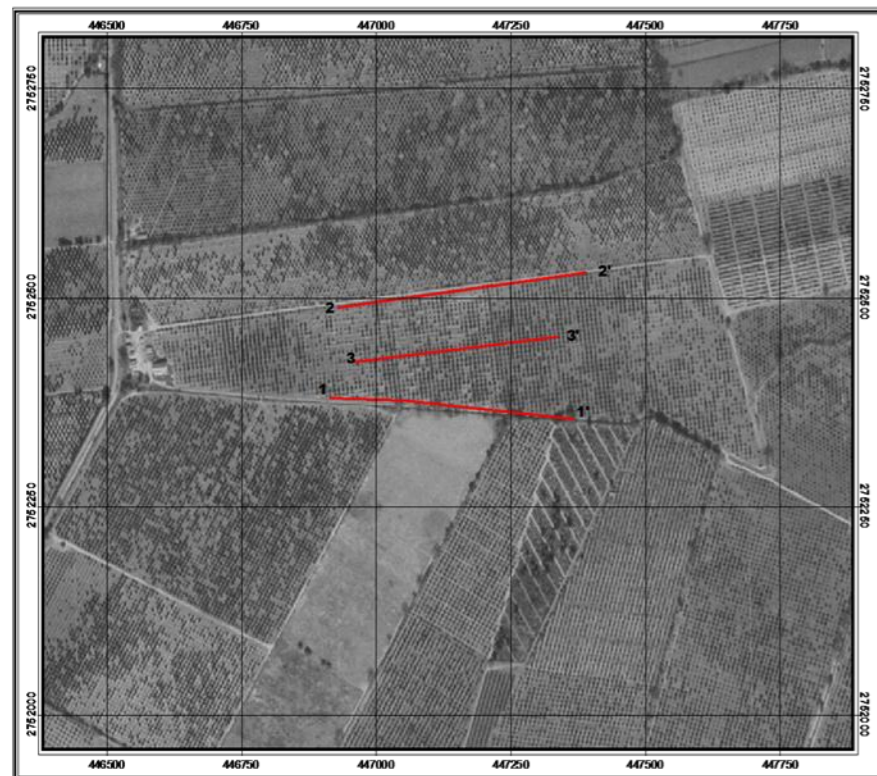


Figura 4.5.- Inversión de Datos Perfil 3.



Simbología
 Perfil
 3 Numero de Perfil

PLANO DE PERFILES

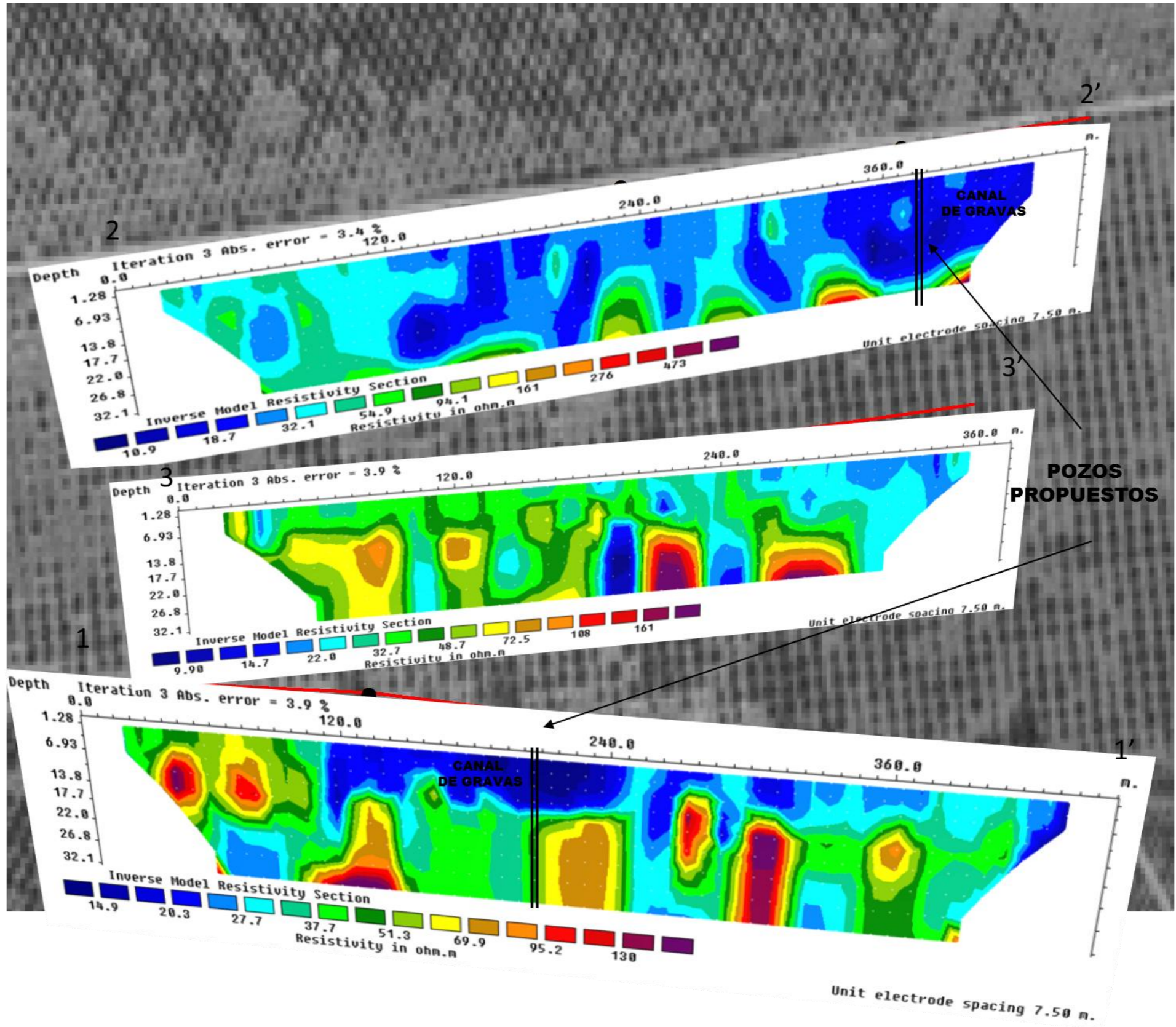


Figura 4.8.- Plano de Perfiles

4.10.- INTERPRETACIÓN GEOLÓGICO-GEOFÍSICA.

En el área de estudio se encuentran afloramientos de un suelo compuesto por limos y arcillas y algunos puntos donde se observan gravas y arenas. Se presentan estructuras que asemejan paleocanales, conformados por gravas, arenas y limos, con presencia de humedad, que presentan un espesor de 5 a 14 m. Estos paquetes de gravas, arenas y limos se encuentran sobreyaciendo a lutitas alteradas de la Formación Méndez, tal y como se observa en la figura 4.10, localización del perfil 1. Ahí en la capa base, se observan estructuras semiverticales que cortan la secuencia litológica; esto corresponde a un sistema de fracturamiento presente en las lutitas. Con base en lo interpretado en este perfil se tiene un canal de gravas en la parte central que tiene una amplitud de 150 m, con un canal bien establecido hasta los 90 metros el cual es interceptado por otro de menor dimensión que en total suman los 150 m de longitud y presenta una profundidad de 14 m. Con base en esta interpretación se propone realizar perforación exploratoria en el sitio, con las coordenadas X = 447124; Y= 2752363 que representa la zona con mayores posibilidades de éxito para obtener agua del subsuelo de la zona del canal de gravas, para con ello obtener un caudal mayor que los 20 lps. (Ver Figura 4.11). Esto se demuestra en estudios realizados en la zona entre Hualahuises y Linares (Galván-Mancilla, 1996), en donde se tienen condiciones similares y donde se determinó que el acuífero de gravas tiene un mayor rendimiento que el acuífero de grietas de la Formación Méndez. En dicho estudio se determinó la Transmisividad del acuífero de gravas obteniendo valores de $1.4 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ y para el acuífero de grietas se obtuvieron valores de $8.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, al realizar el cálculo del caudal se obtiene un gasto de 32 lps para el acuífero de gravas y 11 lps para el acuífero de grietas, determinándose una relación de 3:1 entre los dos sistemas de acuíferos con un mejor potencial para el acuífero en gravas.

Es importante mencionar que en el perfil 2 en la estación 375 localizada en las coordenadas X = 447300; Y = 2752582 se presenta la zona con mayores posibilidades de éxito para la obtención del agua del subsuelo de la zona de canal de gravas, ya que las dimensiones del canal de gravas en ese perfil son de 150 metros de longitud y con una profundidad de 28 metros (el doble del perfil 1), lo que representa una mayor zona de aportación, que pudiera significar la obtención de un mayor gasto al esperado en perfil 1. Este sitio será perforado en una segunda etapa, ya que el dueño de la huerta de estudio en base a su presupuesto, optó por iniciar con el sitio propuesto en el perfil 1, esto derivado por la infraestructura que debería de construir para el equipamiento y la electrificación del pozo, ya que significaba una menor inversión que la del perfil 2.

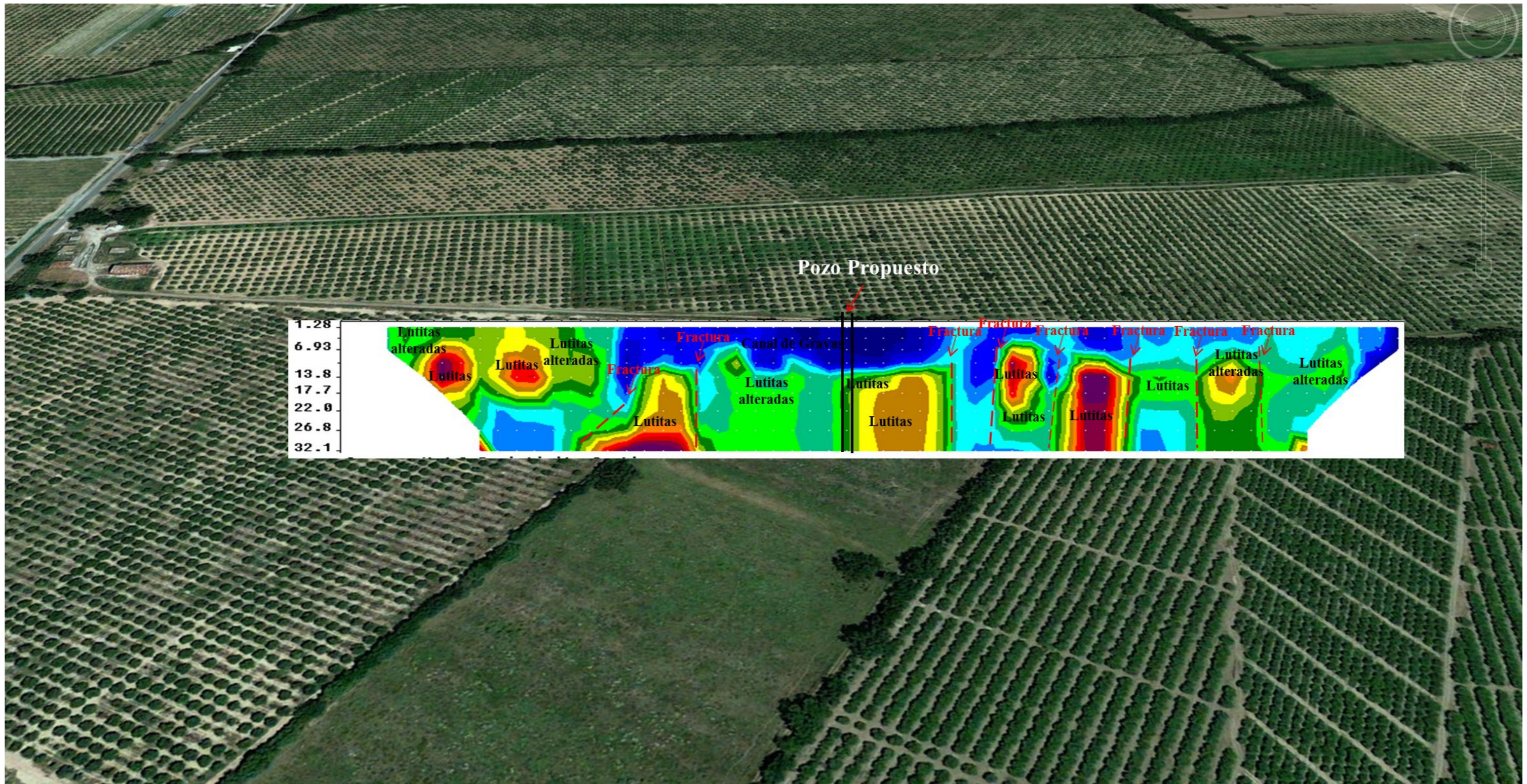


Figura 4.10.- Localización de Perfil 1.

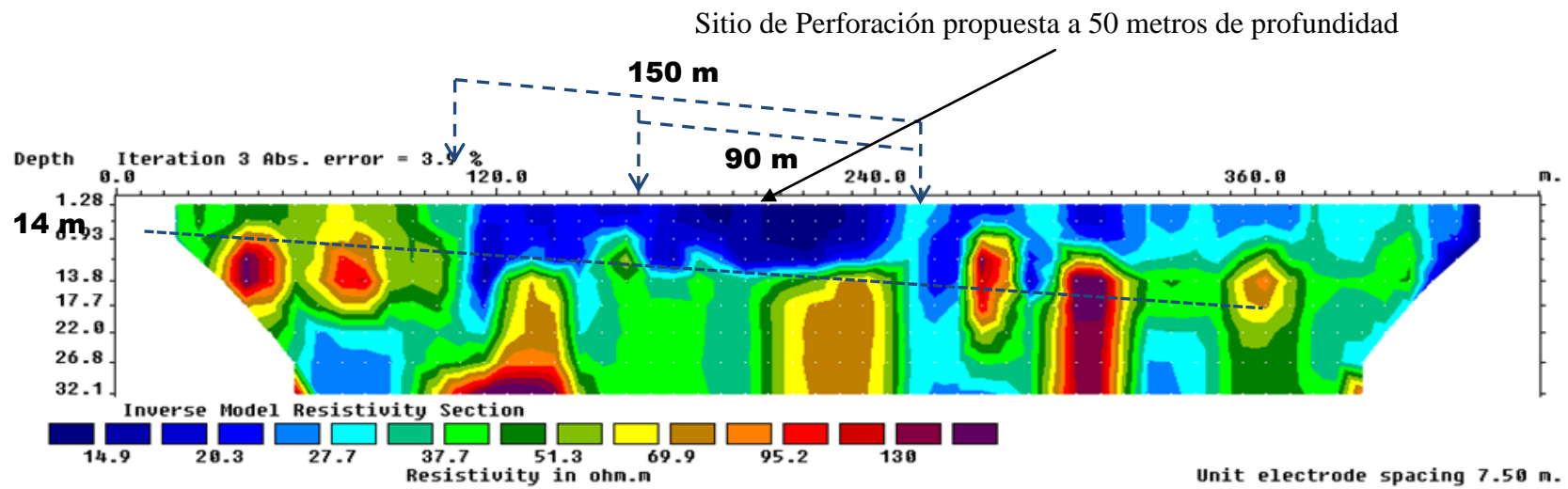


Figura 4.11.- Dimensión de canal de gravas, en el Perfil 1.

CAPÍTULO 5

HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

5.1 INTRODUCCIÓN

La zona de estudio corresponde un Valle situado al Norte de la cabecera de Linares, Nuevo León, entre los ríos Pabillo y Camacho, que está conformado por sedimentos aluviales del Cuaternario (material arcilloso y canales de gravas), por conglomerados del Plioceno (Conglomerado Reynosa) y por rocas sedimentarias de finales del Cretácico (lutitas carbonatadas y/o margas), pertenecientes a la Formación Méndez. En la Fotografía 5.1 se presenta una vista panorámica de la zona de estudio, así como en la Figura 2.5 se puede visualizar la ubicación y la extensión de las unidades hidrogeológicas que a continuación se describen.



Fotografía 5.1.- Panorámica de la zona de estudio, mostrando como límite Oriente la sinuosidad del río Pabillo.

Unidad hidrogeológica 1: Los sedimentos del Cuaternario forman el acuífero principal dentro de la zona de estudio, ya que está constituida por arcillas arenosas y, en algunos sitios, por

canales de gravas conformadas por fragmentos subredondeados de calizas con matriz arenarcillosa. Estos materiales en la zona son los más aptos para el emplazamiento de captaciones; además permiten la recarga vertical al acuífero semiconfinado que se localiza por debajo de estos materiales (ver Fotografía 5.2).

A través de los cortes de las tomografías eléctricas que se tienen, se sabe que el espesor de estos canales de gravas varía de 6 m hasta 30 m, y la amplitud de los mismos va de algunos metros hasta los 150 metros y se encuentran distribuidos ampliamente por todo el valle de estudio, tal como se observa en el capítulo 4 en la Figura 4.7, dimensiones de canal de gravas.



Fotografía 5.2.- Talud del río Pablillo, en cuya parte superior se puede observar en la parte superior material arcillo arenoso y subyaciendo a estos materiales gravas calcáreas semiredondeadas de tamaño variado, con una matriz areno arcillosa con alta permeabilidad, que funcionan como zona de aportación para los canales de gravas.

Unidad hidrogeológica 2: El conglomerado Reynosa está formado por fragmentos de calizas y lutitas, cementado por arcilla calcárea. Dentro del área de estudio se forma un acuitardo que permite la recarga vertical al acuífero semiconfinado que se localiza por debajo de estos materiales y aparece como una franja sobre la parte oriente del río Pablillo (ver Fotografía 5.3). El espesor de este conglomerado es variable, pudiendo ser de 6 a 9 m.



Fotografía 5.3.- Talud del río Pablillo en donde se puede observar, aflorando sobre la margen derecha, el conglomerado en forma de manchones.

Unidad hidrogeológica 3: Las lutitas calcáreas y/o margas de la Formación Méndez forman un acuífero semiconfinado, que está constituido principalmente por lutitas calcáreas y presenta delgadas intercalaciones de limonitas de color amarillo ocre y pirita diseminada; sobre la cúspide de esta formación afloran capas de arenisca (ver Fotografía 5.4). En el mapa geológico de la Figura 2.5 están representadas por la clave Ks(lu). Generalmente, en los primeros 10 m se presentan lutitas alteradas, que son las que le dan la propiedad de semiconfinado al acuífero; de los 10 a los 20 m se encuentran ligeramente alteradas y a partir de los 20 m las lutitas se encuentran compactas y sin alteraciones, pero con un alto fracturamiento. En algunas porciones del valle afloran de manera libre, principalmente hacia la porción Noroeste, mientras que en otras áreas se encuentran cubiertas por el Conglomerado Reynosa (porción Oriente), y en otras se encuentra cubierta por aluvión y/o suelos del Cuaternario. Es justamente esta unidad hidrogeológica, la que se encuentra actualmente en explotación; pero, al estar conformada por lutitas calcáreas, la producción de este acuífero es muy baja, ya que los gastos instantáneos de los pozos que trabajan mediante motores eléctricos son, en promedio, de 3.0 a 5.0 l/s. Los niveles piezométricos se encuentran entre 11 y 12 m. En dicha zona, el agua se utiliza para riego de árboles frutales, en especial, de cítricos.



Fotografía 5.4.- Afloramiento de la lutitas calcáreas y areniscas pertenecientes a la Formación Méndez, en la zona del Cerrito en la localidad de Linares, Nuevo León.

5.2 GEOMETRÍA DEL SISTEMA.

En la Fotografía 5.5 se aprecian las zonas de recarga del sistema acuífero del Valle al Norte de la cabecera de Linares, Nuevo León, entre los ríos Pablillo y Camacho. En esta zona la aportación principal son los ríos Camacho y Pablillo, que aportan agua al acuífero de gravas de manera lateral, es decir existe el fenómeno de influencia, así como al acuífero semiconfinado que se encuentra en lutitas arenosas calcáreas de la Formación Méndez. Hay que indicar que la mayoría de los pozos en la zona se localizan en el acuífero semiconfinado que está explotando la misma unidad hidroestratigráfica (Formación Méndez), a similar profundidad y con rendimientos similares. Este factor se da porque la mayoría de los propietarios de la huertas se aproximan a la infraestructura principal que son las principales vialidades y las líneas de corriente eléctrica, para que al momento de realizar un pozo éste quede accesible para el personal y que además no se tenga que realizar infraestructura de tipo eléctrico, aparte de la ya instalada y la causa más importante es la falta de estudios como el que generó esta tesis, que con base científica se determinen las zonas con mayor potencial para que se puedan realizar aprovechamientos que satisfagan las necesidades de las huertas citrícolas.



Fotografía 5.5.- Las flechas en rojo sobre la margen izquierda del río Pablillo indican las posibles zonas de aporte de las entradas del agua al acuífero conformado por los canales de gravas así como al de grietas conformado por la Formación Méndez.

CAPÍTULO 6

EXPLORACIÓN HIDROGEOLOGICA DEL SITIO DE PERFORACION.

6.1 PERFORACIÓN DE POZO.

Con base en los resultados de las tomografías eléctricas y según los datos obtenidos se deducen las mejores condiciones, de acuerdo con la amplitud de los canales de gravas encontrados, asegurando con ello un mayor volumen de extracción en el sitio propuesto para realizar la perforación exploratoria, que sigue siendo insustituible como fuente directa de información acerca del subsuelo. Éste es el único método que puede proporcionar datos precisos acerca de la secuencia estratigráfica y las características hidrogeológicas de las rocas, así como de los niveles, calidad y cantidad del agua subterránea, además de aportar la información necesaria para traducir los resultados del método geofísico empleado en este estudio, a términos hidrogeológicos.

Este pozo se localiza en las siguientes coordenadas:

Perfil	Estación	X	Y
1	210	447124	2752363

Se recomendó realizar la perforación exploratoria hasta una profundidad de 50 metros, dado que dicha profundidad interceptaría la zona central del canal de gravas, así como a profundidad la zona de alteración de las lutitas correspondiente a la de mayor indicio de fracturamiento en los resultados obtenidos.

Para realizar la perforación exploratoria se empleó una máquina perforadora de percusión o de golpe (Fotografía 6.1)



Fotografía 6.1.- Máquina de percusión utilizada para la perforación del pozo.

La perforación se llevó a cabo de acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-003 CNA-1996, “Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos”. Cuyo objetivo establece los requisitos mínimos de construcción a cumplir durante la perforación de pozos para la extracción de aguas nacionales y los trabajos asociados, con objeto de evitar la contaminación de los acuíferos.

6.2 PERFORACIÓN POR PERCUSIÓN.

Ésta técnica de perforación consiste en realizar un movimiento alternativo de bajada-subida de una masa pesada que en su caída va fracturando o disgregando la roca, desprendiendo de la misma, trozos de variado tamaño, que después se extraen por medio de una válvula o cuchara de limpieza.

Las partes típicas de un equipo motorizado de perforación por percusión son:



El mástil o Torre: Generalmente es de tipo telescópico y viene en dos tramos de 36 pies, cuando esta extendida y de 22 pies cuando está recogida; con sus respectivos dispositivos de extensión. El largo de la torre está en función de la sarta de perforación, que esta compuesta por 4 elementos: barrena, barra de peso, tijera o percutores de perforación y el portacable giratorio.

El bastidor: Es una caja de ángulos de acero y brazos articulados, donde se ubican las piezas vitales de la perforadora y soporta, además, la torre.

El motor: Para poder accionar todo el equipo de perforación se necesita un motor, ya sea de combustión interna o con energía eléctrica, como es el caso de algunos equipos.

El tiro de remolque: Es el mecanismo que va unido al tren de rodaje de la perforadora.

El tren de rodaje: Estos equipos vienen generalmente montados sobre un chasis de acero, sobre cuatro ruedas con neumáticos; pero también las hay montadas sobre un camión.

6.3 CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS.

La secuencia estratigráfica en el sitio, se representa por medio del corte litológico del pozo, que se forma mediante la clasificación de las muestras obtenidas a cada metro, durante la perforación (Fotografía 6.2). Se colectaron 50 muestras, una por cada metro perforado, obteniéndose: de 0 a 4 metros, arcillas de color café claro; de 4.0 a 19 metros se cortaron arcillas de color café claro con franjas de gravas de forma semiredondeada, de granulometría variable. En esta zona se cortó el nivel freático a una profundidad de 8.15 metros; de 19 a 26 metros se cortaron lutitas alteradas con algunas vetas de calcita y de los 26 hasta los 50 metros se cortaron lutitas de color gris oscuro, muy competentes. La columna estratigráfica de los recortes obtenidos a cada metro y el diseño final del pozo se ilustran en la Figura 6.1. denominada croquis definitivo de pozo de 14” de diámetro y de 50 metros de profundidad. En la Fotografía 6.3 se muestra el pozo terminado y sin equipar, listo para llevar a cabo la prueba de aforo, para conocer las características y equiparlo.



Fotografía 6.2.- Litología obtenida de los recortes a cada metro perforado.



Fotografía 6.3.- Pozo recién perforado, listo para efectuar la prueba de aforo, para después culminar con el diseño final, conforme a la Norma NOM-003 CNA-1996.

CROQUIS DEFINITIVO DE POZO DE 14" DE DIAMETRO DE 50 MTS. DE PROFUNDIDAD

HUERTA SANTA CATARINA, LINARES, N. L.

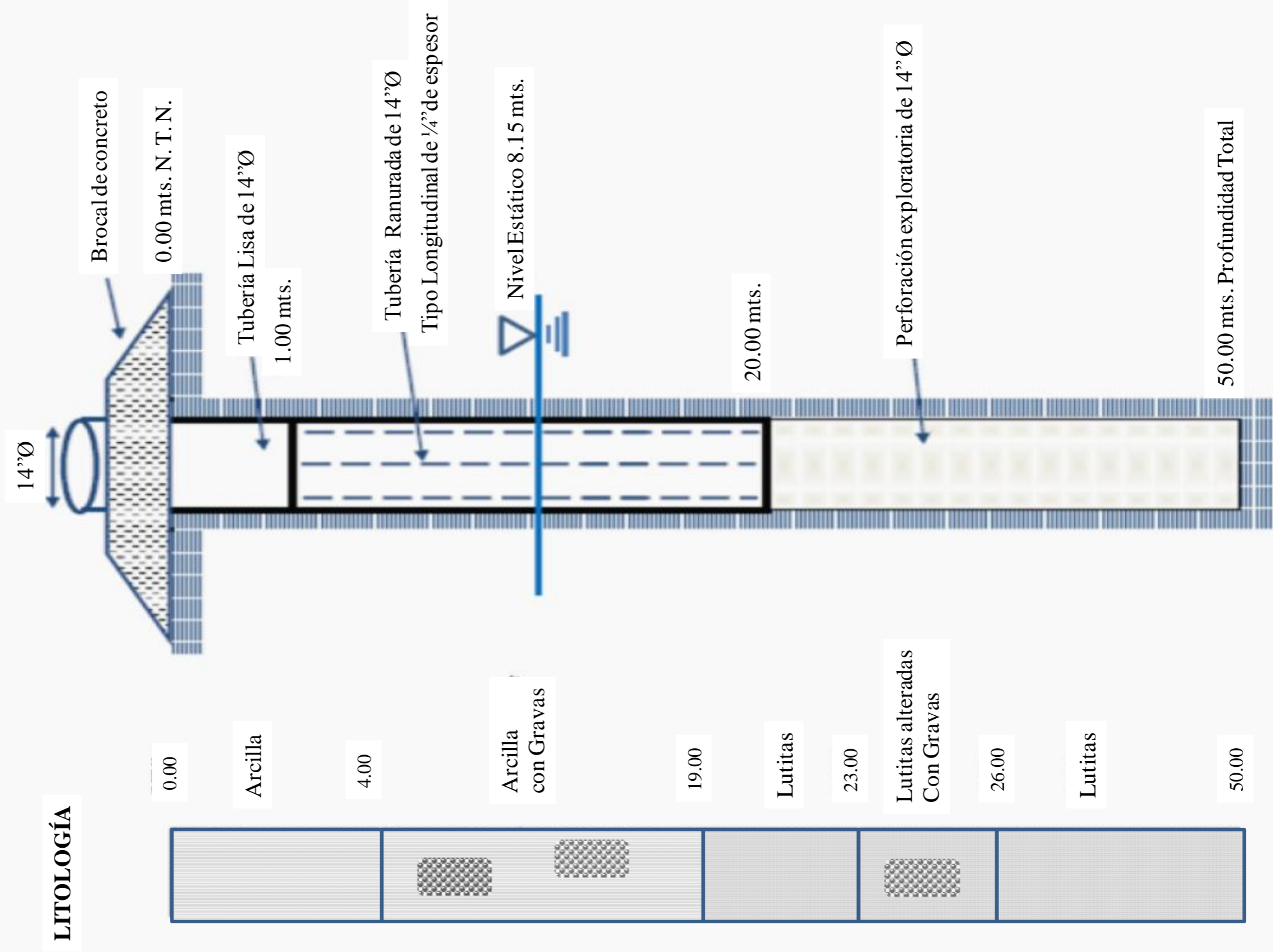


Figura 6.1.- Croquis definitivo de pozo de 14" de diámetro y de 50 metros de profundidad.

6.4 PRUEBA DE AFORO

La prueba de aforo es la principal herramienta disponible para el estudio del comportamiento del pozo, así como para la estimación del caudal, tanto crítico como recomendable. De esta manera es posible conocer las características del pozo y parcialmente el comportamiento hidráulico del acuífero, en la zona inmediata al pozo.

El objetivo esencial consiste en construir experimentalmente, mediante métodos gráficos, la curva característica del aprovechamiento.

Para llevar a cabo la prueba de aforo se requirió una bomba de tipo turbina, accionada por un motor de combustión interna, capaz de variar las revoluciones (rpm), una columna de longitud tal, que la bomba no succione aire al abatirse el nivel de agua, un dispositivo de medición de caudal y una sonda, preferentemente eléctrica, para la medición del nivel dinámico, tal como se muestra en la Fotografía 6.4.



Fotografía 6.4.- Prueba de aforo del pozo perforado.

Para llevar a cabo la prueba de aforo se requirió que el pozo fuera probado durante 24 horas (ver datos en Figura 6.2), que el equipo para realizar la prueba afuera el adecuado, que se pudiera medir el caudal extraído y el nivel dinámico del pozo, que se pudiera desalojar el agua extraída para evitar recarga al acuífero, que no existiesen bombeos cercanos y que el nivel freático fuera lo suficientemente profundo como para no tener efectos de evaporación. La fecha de realización fue el día 9 de junio de 2011, en un año extremadamente seco. Se anexa la tabla 6.1, que contiene los valores de la prueba de aforo obtenidos.

Tabla 6.1 Valores de la prueba de aforo obtenidos.

DIA	HORA	R.P.M. DE LA BOMBA	SONDA ELECTRICA PROFUNDIDAD (m)	ALTURA PIEZOMETRICA (cm)	GASTO EN LA DESCARGA (lps)	OBSERVACIONES
9-Jun-11	14:00		SE	INICIO	AFORO	CON DESCARGA DE 3" ø
9-Jun-11	14:10	1300	13.00	42	31.7	SE AUMENTO RPM
9-Jun-11	14:20	1400	13.50	50	34.6	SE AUMENTO RPM
9-Jun-11	14:25	1500	16.72	60	37.9	AGUA SUCIA
9-Jun-11	14:28	1500		PIEZOMETRO	VARIANDO	SE BAJARON RPM
9-Jun-11	14:35	1400	14.20	48	33.9	AGUA TURBIA
9-Jun-11	14:37	1400		PIEZOMETRO	VARIANDO	AGUA TURBIA
9-Jun-11	14:50	1200	13.40	34	28.5	AGUA TURBIA
9-Jun-11	15:00	1200	13.57	34	28.5	AGUA CLARA
9-Jun-11	15:30	1200	13.64	34	28.5	AGUA CLARA
9-Jun-11	16:00	1200	13.75	32	27.7	AGUA CLARA
9-Jun-11	16:30	1200	13.80	32	27.7	AGUA CLARA
9-Jun-11	17:00	1200	13.89	32	27.7	AGUA CLARA
9-Jun-11	18:00	1200	13.94	31	27.2	AGUA CLARA
9-Jun-11	19:00	1200	13.99	31	27.2	AGUA CLARA
9-Jun-11	20:00	1200	14.05	31	27.2	AGUA CLARA
9-Jun-11	21:00	1200	14.10	31	27.2	AGUA CLARA
9-Jun-11	22:00	1200	14.15	31	27.2	AGUA CLARA
9-Jun-11	23:00	1200	14.18	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	0:00	1200	14.13	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	1:00	1200	14.10	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	2:00	1200	14.06	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	3:00	1200	14.09	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	4:00	1200	14.12	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	5:00	1200	14.16	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	6:00	1200	14.19	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	7:00	1200	14.22	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	8:00	1200	14.20	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	9:00	1200	14.15	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	10:00	1200	14.20	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	11:00	1200	14.17	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	12:00	100	14.22	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	13:00	1200	14.17	30	26.8	AGUA CLARA
10-Jun-11	14:00	1200	14.20	30	26.8	TERMINO AFORO

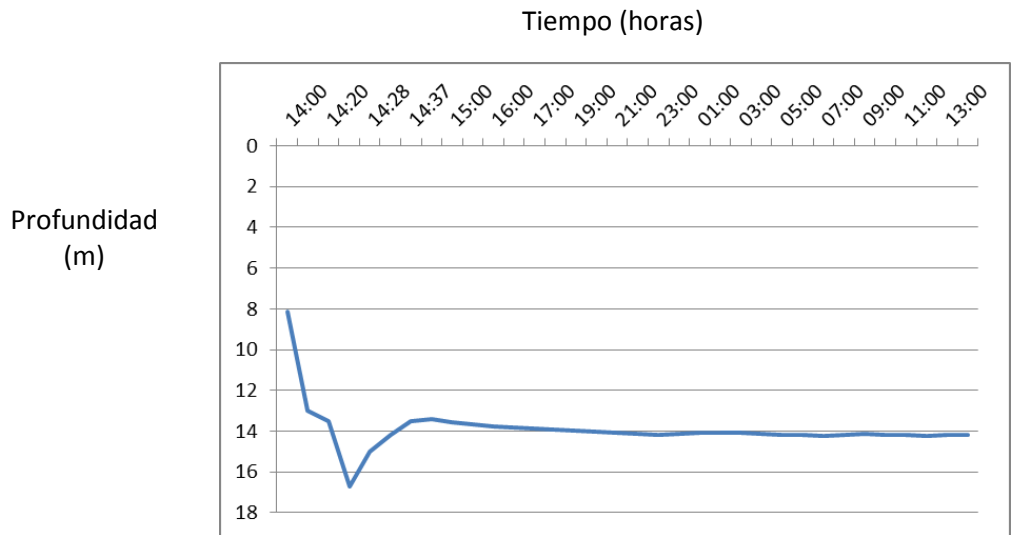


Figura 6.2.- Profundidad del Nivel dinámico durante la prueba de aforo, en 24 horas.

CAPITULO 7

DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS DEL ACUÍFERO

7.1 EL MÉTODO

Se realizó una prueba de bombeo de larga duración (24 horas), en el aprovechamiento perforado (Fotografía 7.1). Cabe señalar que no se pudo contar con pozos de observación para la prueba, ya que el pozo más próximo se encontraba a 500 metros y a esta distancia muy probablemente no se apreciara ningún cambio de nivel por efecto de la prueba de bombeo.

El método para realizar una prueba de bombeo consiste en bombear un pozo que esté perforado en el acuífero que se desea estudiar, durante un cierto tiempo, a un determinado caudal y medir la evolución del nivel del agua debida al bombeo, tanto en el mismo pozo de bombeo, como en pozos cercanos (pozos piloto o de observación). El comportamiento de los abatimientos de los niveles, la distancia entre los pozos de observación y el pozo bombeado y el caudal de bombeo, permiten obtener información sobre las características hidrodinámicas del acuífero; cómo son: su transmisividad, su coeficiente de almacenamiento, la existencia de barreras o bordes impermeables cercanos, así como las zonas de recarga lateral, como pueden ser un río o un lago.



Fotografía 7.1.- Prueba de bombeo al pozo perforado, etapa de abatimiento (Pozo de bombeo).

7.2 EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE BOMBEO DEL POZO PERFORADO.

El método utilizado para el ensayo de bombeo está basado en la ecuación de Theis (1935), que se expresa de la siguiente manera:

$$s(f) (T, S, Q \text{ y } t)$$

Donde:

T = Transmisividad (m^2/seg)

S = Coeficiente de almacenamiento

Q = Caudal (m^3/seg)

t = Tiempo (minutos)

s(f) = Abatimiento

Esta ecuación se denomina “función de pozo” $W(u)$, y de acuerdo con Cooper & Jacob, se utiliza el método de la línea recta, que es un método de aproximación que utiliza los 2 primeros miembros de la función de pozo.

De acuerdo con lo anterior, existen 3 diferentes tipos de evaluaciones:

1.- Evaluación de tiempo (t)

- 2.- Evaluación de espacio (r), donde r es la distancia entre el pozo de explotación y el o los pozos de observación.
- 3.- Evaluación de tiempo y espacio combinado (t/r^2).

Como ya se comentó no hubo pozos de observación; por lo que sólo se podrá determinar T y K , no pudiéndose determinar el valor de S (coeficiente de almacenamiento), pues este se realiza en base a una evaluación de espacio.

7.3.- CORRECCIÓN DE TIEMPO PARA LA EVALUACIÓN.

Se realiza la corrección de “ s ” para acuíferos no confinados, mediante la siguiente ecuación: $s_{corr} = s - (s^2/2H)$; siendo H la distancia entre el sustrato o límite inferior del acuífero y el nivel estático. Con esto se obtendrá una tabla de “ s ” corregida en relación con el tiempo transcurrido desde el momento del encendido de la bomba. En la tabla 7.1 se expresa la relación de s_{corr} con el tiempo de bombeo.

Estos valores de s_{corr} se grafican contra los valores de tiempo de la tabla 7.1, en papel semilogaritmico, para obtener el descenso del pozo (ver grafica 7.1).

Una vez graficados, se traza la línea recta por unión de los puntos consecutivos del gráfico.

7.4.- OBTENCIÓN DE TRANSMISIVIDAD Y CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

Una vez obtenida la gráfica de descenso y graficados sus puntos, se selecciona una década en la escala logarítmica y se obtiene su cambio en el valor de s , y se sustituye este valor en la ecuación $T = 2.3 * Q (\Delta lgt) / 2\pi\Delta s$. Como (Δlgt) es igual a la unidad, éste se excluye de la ecuación, quedando:

$$T = 2.3 * Q / 2\pi\Delta s$$

Este valor de T obtenido se sustituye en la ecuación de: $T = k * H$ para obtener el valor de k (transmisividad o conductividad hidráulica).

El pozo tiene una profundidad de 50 metros, tomándose este valor y restándole el valor del nivel estático que es de 8.15 metros quedando el valor de 41.85 metros, considerado como el espesor del acuífero (H).

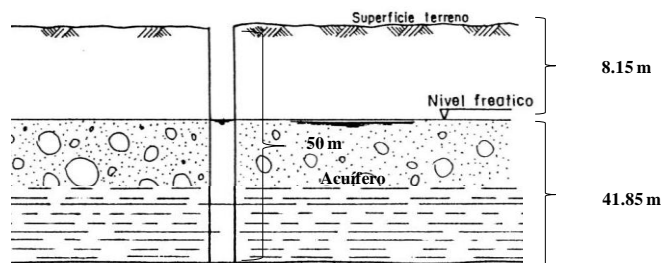


Tabla 7.1 Relación de s_{corr} con el tiempo de bombeo.

DIA	HORA	t (min)	SONDA ELECTRICA PROFUNDIDAD (m)	s (m)	S corr	GASTO EN LA DESCARGA (lps)
09-jun-11	14:00		8.15			
09-jun-11	14:10	10	13	4.85	4.615	31.7
09-jun-11	14:20	20	13.5	5.35	5.063	34.6
09-jun-11	14:25	25	16.72	8.57	7.835	37.9
09-jun-11	14:35	35	14.2	6.05	5.683	33.9
09-jun-11	14:50	50	13.4	5.25	4.974	28.5
09-jun-11	15:00	60	13.57	5.42	5.126	28.5
09-jun-11	15:30	90	13.64	5.49	5.188	28.5
09-jun-11	16:00	120	13.75	5.60	5.286	27.7
09-jun-11	16:30	150	13.8	5.65	5.330	27.7
09-jun-11	17:00	180	13.89	5.74	5.410	27.7
09-jun-11	18:00	240	13.94	5.79	5.454	27.2
09-jun-11	19:00	300	13.99	5.84	5.498	27.2
09-jun-11	20:00	360	14.05	5.90	5.551	27.2
09-jun-11	21:00	420	14.1	5.95	5.595	27.2
09-jun-11	22:00	480	14.15	6.00	5.640	27.2
09-jun-11	23:00	540	14.18	6.03	5.666	26.8
10-jun-11	00:00	600	14.13	5.98	5.643	26.8
10-jun-11	01:00	660	14.1	5.95	5.595	26.8
10-jun-11	02:00	720	14.06	5.91	5.560	26.8
10-jun-11	03:00	780	14.09	5.94	5.587	26.8
10-jun-11	04:00	840	14.12	5.97	5.613	26.8
10-jun-11	05:00	900	14.16	6.01	5.648	26.8
10-jun-11	06:00	960	14.19	6.04	5.675	26.8
10-jun-11	07:00	1020	14.22	6.07	5.701	26.8
10-jun-11	08:00	1080	14.2	6.05	5.683	26.8
10-jun-11	09:00	1140	14.15	6.00	5.640	26.8
10-jun-11	10:00	1200	14.2	6.05	5.683	26.8
10-jun-11	11:00	1260	14.17	6.02	5.657	26.8
10-jun-11	12:00	1320	14.22	6.07	5.701	26.8
10-jun-11	13:00	1380	14.17	6.02	5.657	26.8
10-jun-11	14:00	1440	14.2	6.05	5.683	26.8

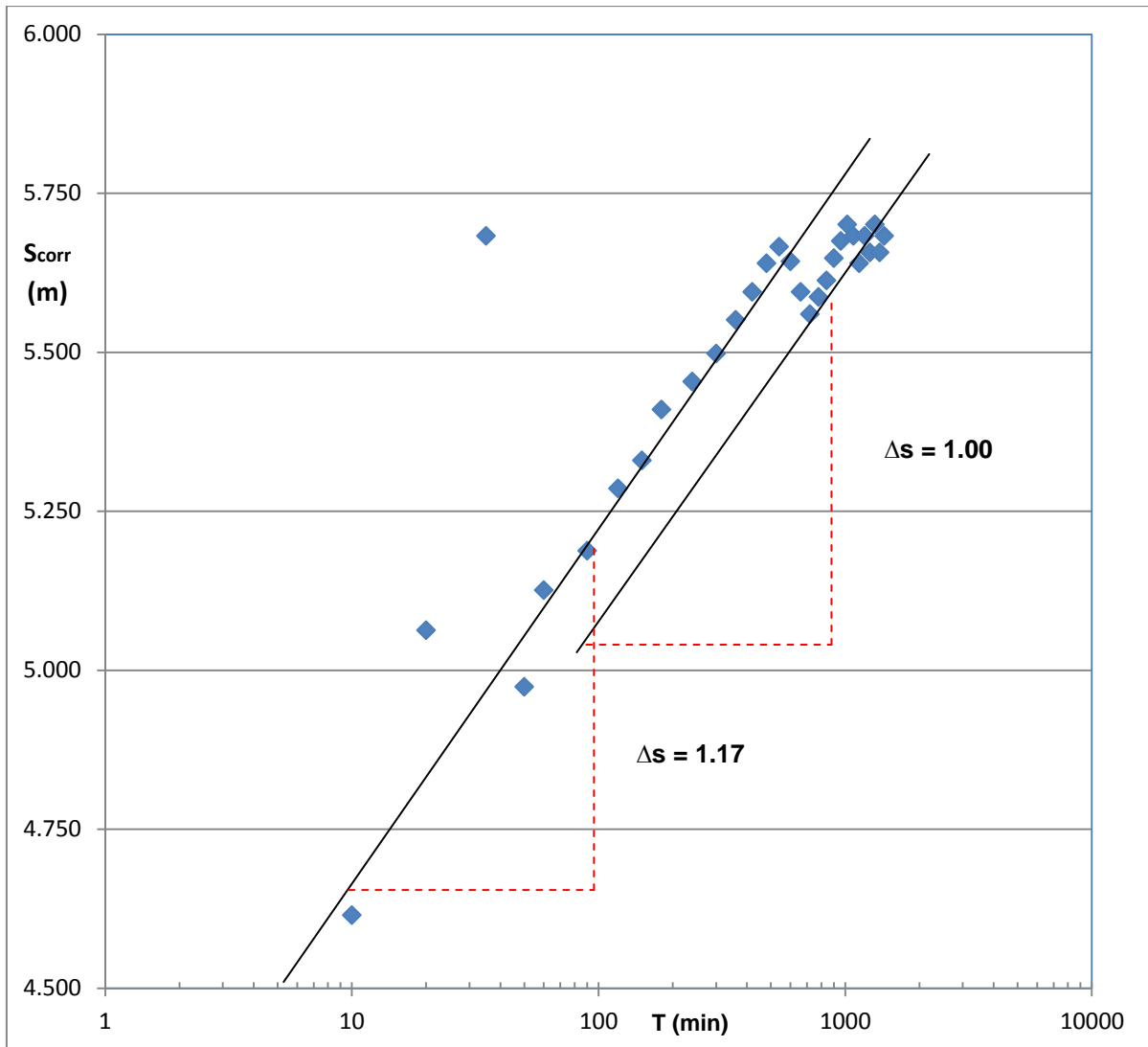


Figura 7.1.- Descenso del pozo.

En la figura 7.1 se muestra el descenso del nivel dinámico durante la prueba. Se observan claramente 2 líneas rectas con gradientes diferentes, dando esto dos resultados de T1 y T2 diferentes, así como K1 y K2 también diferentes, como se presenta a continuación:

$$Q = 26.8 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\Delta s = 1.17$$

$$NE = 8.15 \text{ m}$$

$$T1 = 2.3 (Q/2\pi * \Delta s)$$

Caso 1: $T1 = 2.3 (26.8 * 10^{-3} \text{ m/s} / 2 (3.1416) * (1.17\text{m}))$

$$T1 = 0.06164 \text{ m/s} / 7.351344 \text{ m}$$

$$T1 = 8.38 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K1 = T1 * H$$

$$K1 = (8.38 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}) / (41.85)$$

$$K1 = 2.002 * 10^{-4} \text{ m/s}$$

Caso 2: $T2 = 2.3 (26.8 * 10^{-3} \text{ m/s} / 2 (3.1416) * (1.00\text{m}))$

$$T2 = 0.06164 \text{ m/s} / 6.2832 \text{ m}$$

$$T2 = 9.81 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K2 = T2 * H$$

$$K2 = (9.81 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}) / (10)$$

$$K2 = 9.81 * 10^{-4} \text{ m/s}$$

Los valores de Transmisividad T2 y Conductividad Hidráulica K2 son mayores debido a que durante el bombeo se ha alcanzado el acuífero adyacente, correspondiente al acuífero de canal de gravas del Río Pablillo. Para los cálculos de H se tomo el valor de 10 metros, ya que el corte litológico obtenido del pozo tiene un espesor de 20 metros; pero se tomó la frontera húmeda de este canal en el corte del río Pablillo, con un espesor de aproximadamente 10 metros.

Los valores determinados de Transmisividad corresponden al acuífero de gravas confirmando que la mayor recarga del acuífero proveniente del río Pablillo en periodos perennes y del flujo subterráneo proveniente de la Sierra Madre Oriental; aunado a esto los datos, los obtenidos de la calidad del agua que se verán en el apartado de calidad del agua subterránea.

7.5.- ESTIMACIÓN DEL ESCURRIMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Para la estimación del escurrimiento del agua subterránea se utilizó la fórmula de la Ley de Darcy ($Q = T \times B \times i$), obteniéndose una media de la transmisividad de $9.095 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$, con una anchura de 750 metros, de la terraza 2 a la zona del río y con un gradiente hidráulico de 0.005, obteniendo un gasto de 34.10 lps., comparado con el aforo promedio de 27lps.

El parámetro de gradiente es el más incierto, ya que se obtiene muy diverso en la zona de estudio, eligiendo el valor mínimo del área.

Estos cálculos indican una cuantía del tamaño del escurrimiento natural del agua subterránea durante las temporadas de sequía, ya que T fue determinada en un tiempo de sequía prolongada.

Con base en el dato de los caudales estimados y que la gran mayoría de los pozos se encuentra en el acuífero de grietas, no se tiene un peligro en cuanto a una sobreexplotación del acuífero. Favorablemente, los pozos en la región extraen agua en periodos relativamente cortos según la demanda de riego en la zona.

7.6.- ESTIMACIÓN DEL RADIO DEL CONO DE ABATIMIENTO.

Se utiliza la fórmula de Sichardt para la obtención del radio del cono de abatimiento, utilizando la conductividad hidráulica y el descenso del nivel producido por el bombeo, que es la siguiente:

$$R = 3000 * s * \sqrt{k}$$

Donde: $s = 6.05 \text{ m}$

$$k = 5.906 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$R = 3000 * 6.05 \text{ m} * \sqrt{5.906 \times 10^{-6} \text{ m/s}}$$

$$R = 441.045 \text{ m}$$

De acuerdo con el valor del radio de influencia obtenido de 441.045 m (Figura 7.2) y el tipo de material de la zona de estudio, se reafirma que el acuífero es de tipo libre de material granular, como se observa en la tabla 7.2, valores del radio de influencia, donde se observa que los valores obtenidos se encuentran dentro de los niveles establecidos de los valores posibles del radio de influencia, según el material que lo conforma y el tipo de acuífero.

Tabla 7.2 Valores del Radio de Influencia (Pozos y Acuíferos. M. Villanueva y A. Iglesias).

Tipo de material permeable	Forma de funcionamiento del acuífero	Valores posibles del radio de influencia R
Kárstico	Libre	700 m – 1000 m
	Semiconfinado	1000 m - 1500 m
	Cautivo	1500 m - 2000 m
Poroso intergranular	Libre	400 m - 700m
	Semiconfinado	700 m - 900m
	Cautivo	900 m - 1200 m
Kárstico y poroso	Libre	500 m - 1000 m

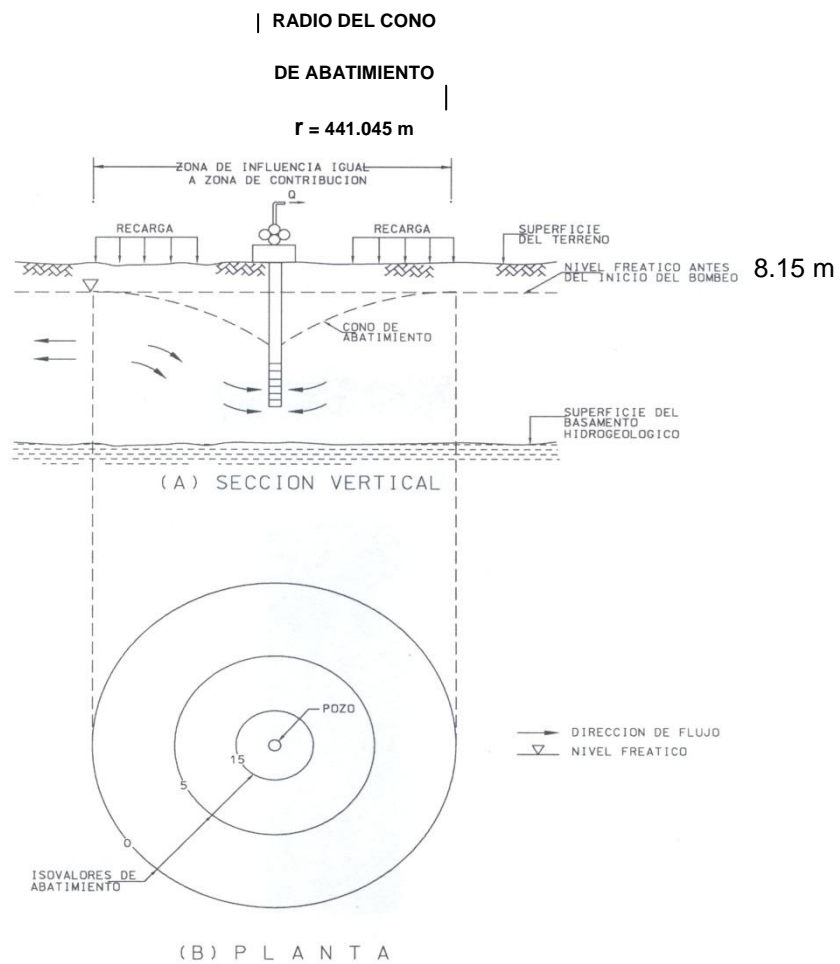



Figura 7.2.- Radio de influencia.

7.7.- PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

La calidad del agua subterránea se encuentra relacionada íntimamente con los materiales por donde circula desde su área de recarga, hasta su descarga. Se realizó el análisis de una muestra de agua subterránea tomada del pozo perforado, y se obtuvo un total de sólidos disueltos de 557 mg/l, siendo las concentraciones de Calcio y Sulfatos los principales componentes (Figura 7.3).



CONSULTORIO TECNICO INDUSTRIAL, S.A.

ARAMBERRI PTE. 1531, CENTRO C.P. 64000
MONTERREY, N.L., MEXICO

TELS. (81) 8342-6740 Y (81) 8340-5865 FAX (81) 8345-7763
http://www.ctindustrial.com lab@ctindustrial.com

ANALISIS FISICO QUIMICO DEL AGUA

Nombre: SR. CESAR JOSE VILLEGAS GARCIA

Dirección: Río Rosas #400 Sur Desp. 13-M Col. del Valle

Ciudad: San Pedro Garza García, N. L.

O.T. No. _____

Muestra Tomada: ---

Muestra Recibida: Jun. 10 de 2011

Muestra Reportada: Jun. 13 de 2011

		NOM (w)	
Temperatura del agua en °C		21	
Turbiedad	unidades	0.0	5.0 máx.
Olor		desagradable (*)	Inodora
Color (Standard de Pt-Co.)	unidades	0.0	20.0 máx.
Sabor		---	Inspida
Nitrógeno Amoniacal (N)	mg/l	0.120	0.5 máx.
Nitrógeno de los Nitritos (N)	mg/l	0.000	1.0 máx.
Nitrógeno de los Nitratos (N)	mg/l	0.000	10.0 máx.
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	557.0	1000.0 máx.
Alcalinidad total (como CaCO3)	mg/l	180.0	
Dureza Total (como CaCO3)	mg/l	480.0	500.0 máx.
Dureza de Calcio (como CaCO3)	mg/l	410.0	
Dureza de Magnesio (como CaCO3)	mg/l	70.0	
Sodio (Na)	mg/l	45.0	200.0 máx.
Cloro residual libre	mg/l	---	0.2 - 1.5
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/l	60.0	250.0 máx.
Hierro (Fe)	mg/l	0.05	0.3 máx.
Sulfatos (como SO4 ⁼)	mg/l	290.0	400.0 máx.
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH		7.2	6.5 - 8.5
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/l	0.00	0.5 máx.
Cianuros (como CN ⁻)	mg/l	0.002	0.07 máx.
Fluoruros (como F ⁻)	mg/l	0.38	1.5 máx.

Muestra tomada en: el Pozo Santa Catarina Sur de Linares, N. L., por ustedes mismos.

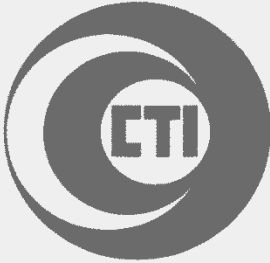
OBSERVACIONES De acuerdo con los parámetros analizados su agua NO CUMPLE, desde el punto de vista del análisis Físico-Químico, con los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 en el señalado con asterisco (*).

(*) Según Norma Oficial Mexicana

CONSULTORIO TECNICO INDUSTRIAL, S.A.
Verónica Alvarado M.

Figura 7.3.- Resultados de análisis Físico-Químicos.

En cuanto a los parámetros bacteriológicos el agua es de calidad potable según la NOM-127-SSA1-1994. (Figura 7.4).



CONSULTORIO TECNICO INDUSTRIAL, S.A.

ARAMBERRI PTE. 1531, CENTRO C.P. 64000
 MONTERREY, N.L., MEXICO
 TELS. 83 42 67 40, 83 40 58 65 FAX 83 45 77 63
 http://www.ctindustrial.com lab@ctindustrial.com

ANALISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

O.T. No.

Nombre SR. CESAR JOSE VILLEGAS GARCIA Muestra tomada
 Dirección Río Rosas #400 Desp. 13-M, Col. del Valle Muestra recibida Jun. 10 de 2011
 Ciudad San Pedro Garza García, N. L. Muestra reportada Jun. 13 de 2011
 Hora
 Temperatura °C.
 Cloro residual
 Identificación de la muestra Muestra tomada en el Pozo
Santa Catarina Sur de Linares, N. L., por ustedes
mismos.

<u>COLONIAS BACTERIANAS : (Mesofilicos aerobios)</u>	COLONIAS BACTERIANAS POR ML. DE MUESTRA	Límites Permisibles
Placa de agar incubada a 37°C. por 24 horas.	1	200/ ml.

<u>ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES :</u>	NUMERO DE ORGANISMOS COLIFORMES DE 100 ML.	
EXAMEN PRESUNTIVO		
Tubos de fermentación con caldo lactosado incubados a 37°C. por 48 horas.	0	NMP/100 ml. 2 NMP/100 ml.

<u>ORGANISMOS COLIFORMES FECALES :</u>	NUMERO DE ORGANISMOS COLIFORMES DE 100 ML.	
EXAMEN PRESUNTIVO		
Tubos de fermentación con caldo Brillis Verde Brillante incubados a 44°C. por 24 horas.	0	NMP/100 ml. No detectable

OBSERVACIONES: De acuerdo con los límites permisibles por la Norma Oficial Me-
 xicana para Agua Potable NOM-127-SSA1-1994 su agua **ES POTABLE desde el pun-
 to de vista del análisis Bacteriológico.**

CONSULTORIO TECNICO INDUSTRIAL, S.A.

Vedatza Alvarado m.

Figura 7.4.- Resultados de análisis Bacteriológicos.

Los resultados de los aniones y cationes de la muestra analizada determinan una familia de agua Cálcida-Magnésica-Clorurada –Sulfatada de acuerdo al Diagrama triangular de Piper. (Figura 7.5). Se determinó que el agua tiene su procedencia de infiltrar rocas carbonatadas y sulfatadas de la Sierra Madre Oriental, hasta llegar a la zona de Linares, mediante el escurrimiento del río Pabillo.

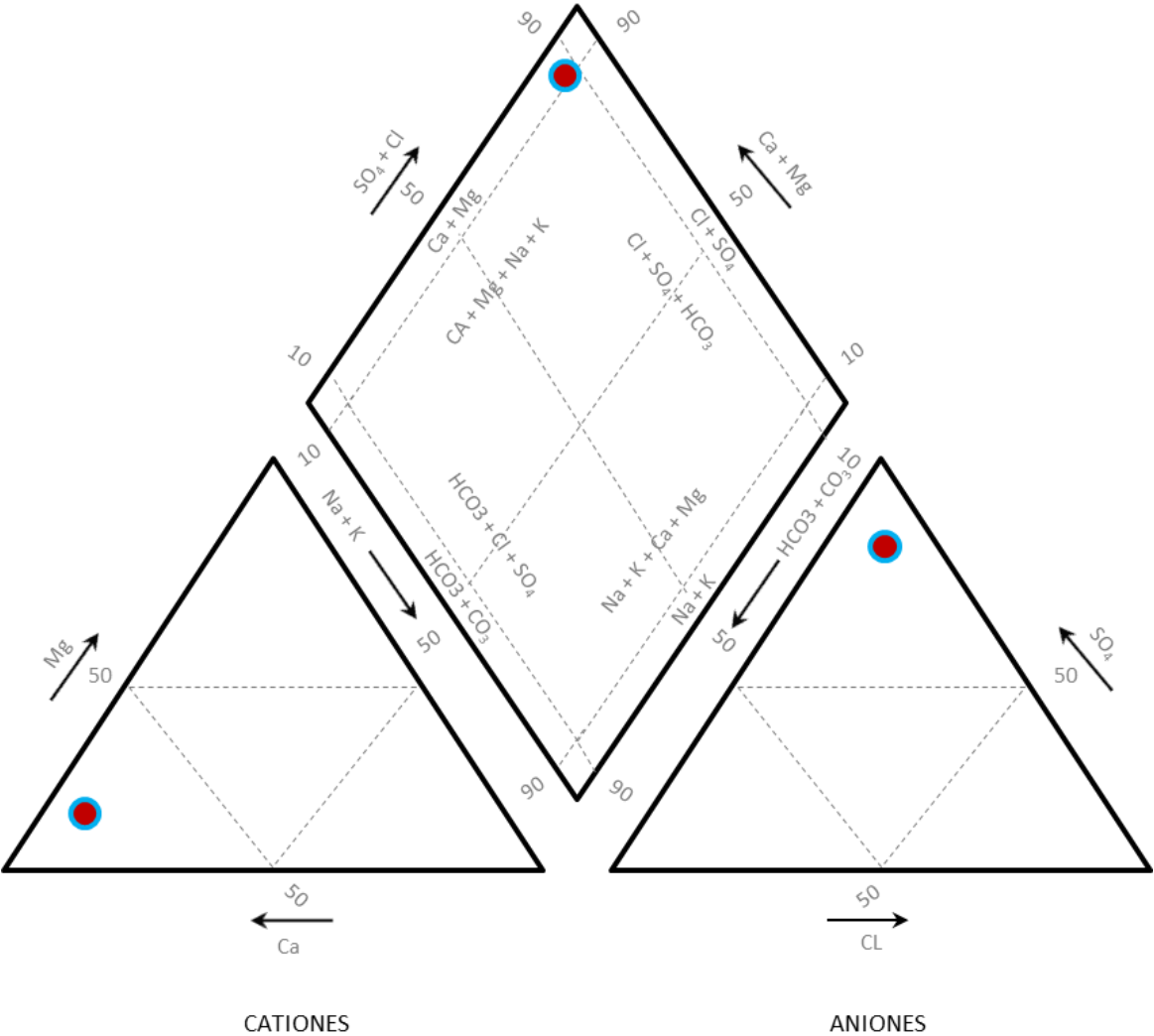


Figura 7.5.- Resultados de familia química en el Diagrama triangular de Piper.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Mediante los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

El estudio geológico - geofísico se enfocó en la determinación de los diferentes materiales del subsuelo, especialmente en las zonas saturadas correspondientes a canales de gravas.

Se realizó un censo de aprovechamientos y medición de niveles estáticos, para obtener la dirección del flujo del agua subterránea, la cual presenta una dirección Noreste, al igual que la dirección del flujo superficial de los ríos Pablillo y Camacho.

El nivel freático en el área de estudio oscila entre los 7 y los 10 metros.

El método Geofísico empleado para lograr el objetivo del presente trabajo fue el método de tomografía geoelectrica, arreglo tipo dipolo dipolo Schlumberger, con una disposición de electrodos $AB = MN = 15$ metros y $n = 6$.

Se realizaron tres perfiles geoelectricos en el sitio de estudio, dando una longitud total de los tres perfiles de 1290 metros.

La profundidad de investigación de los perfiles geoelectricos fue de 33 metros.

En el área de estudio se identificaron dos sitios sobre los perfiles 1 y 2, como los más viables para obtener agua subterránea económicamente explotable.

Geológicamente, los resultados de resistividad obtenidos durante el presente trabajo presentan, en la parte superior, una secuencia de materiales correlacionables con depósitos aluviales Cuaternarios, no consolidados en la mayor parte del área de estudio; ya que se encuentran: gravas, arenas, limos y arcillas, algunos paleocanales de origen fluvial y hacia la parte más profunda subyacente a estos depósitos, los resultados de resistividad se correlacionan con rocas lutíticas de edad Cretácico Superior, pertenecientes a la Formación Méndez.

Estos materiales descritos presentan, además, una saturación de agua que conforma un acuífero de tipo libre, en depósitos no consolidados y en rocas fracturadas.

Con base en los resultados de los estudios, se realizó una perforación mediante máquina de percusión, en las coordenadas UTM X= 447124 y Y= 2752363, hasta una profundidad de 50 metros. Dicha profundidad interceptó la zona central del canal de gravas, así como, a

profundidad, la zona de alteración de las lutitas correspondiente a la de mayor indicio de fracturamiento como lo demuestran los resultados obtenidos de los perfiles geoelectricos.

El pozo se perforó con un diámetro suficiente para obtener las características hidráulicas del acuífero.

Se obtuvo el perfil litológico del pozo perforado, que presenta: de 0 a 4 metros arcillas de color café claro; de 4.0 a 19 metros, se cortaron sedimentos arcillosos - gravosos de color café claro de granulometría variable. En esta zona se cortó el nivel freático, a una profundidad de 8.15 metros. De 19 a 26 metros se cortaron lutitas alteradas con algunas vetas de calcita y de los 26 hasta los 50 metros se cortaron lutitas de color gris oscuro, muy competentes.

Se realizó una prueba de aforo, con duración de 24 horas, mediante la cual se calculó un gasto de 26.8 lps.

Se obtuvieron los valores de transmisividad para $T1 = 8.38 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ y conductividad hidráulica $K1 = 2.002 * 10^{-4} \text{ m/s}$ así como para $T2 = 9.81 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ y $K2 = 9.81 * 10^{-4} \text{ m/s}$, siendo $T2$ y $K2$ mayores.

Los valores determinados de transmisividad corresponden al acuífero de gravas, confirmando que la mayor recarga del acuífero proviene del río Pablillo.

El radio de influencia determinado fue de 441.045 m, encontrándose entre los niveles establecidos para los acuíferos granulares.

La calidad del agua subterránea se encuentra relacionada íntimamente con los materiales por donde atraviesa, desde su área de recarga, hasta su descarga.

Se realizó el análisis de una muestra de agua subterránea, en el que se obtuvo un total de sólidos disueltos de 557 mg/l, siendo las concentraciones de Calcio y Sulfatos los principales componentes.

Los resultados de los aniones y cationes de la muestra analizada determinan una familia de agua Cálcica-Magnésica-Clorurada –Sulfatada de acuerdo al Diagrama triangular de Piper.

En base a la familia de agua determinada se infiere que el agua tiene su procedencia de infiltrar rocas carbonatadas y sulfatadas de la Sierra Madre Oriental hasta llegar a la zona de Linares, mediante el escurrimiento del río Pablillo.

RECOMENDACIONES

Los tres perfiles geoelectrónicos presentan una secuencia lítica con probabilidades de almacenar un acuífero, pero por sus valores de resistividad es más recomendable perforar en algunos sitios específicos de los perfiles 1 y 2, que presentan menor contenido de arcillas y donde según los datos obtenidos, se observan las mejores condiciones, de acuerdo con la amplitud de los canales de gravas encontrados, asegurando con ello un mayor volumen de extracción, en los sitios propuestos para realizar perforación exploratoria.

Se recomienda realizar estudios de Geofísica en su modalidad de Dipolo-Dipolo para obtener los diferentes materiales a profundidad y determinar la zona de saturación de los canales de gravas para obtener los sitios más favorables para perforar.

Se recomienda realizar las perforaciones hasta 5 metros después de haber atravesado la zona del límite entre el canal de gravas y la zona alterada de las lutitas.

Se recomienda iniciar la observación sistemática de los niveles del agua subterránea, como mínimo 2 veces al año: una en periodo de estiaje y otra en el periodo de lluvia, así como su volumen de extracción mediante la instalación de medidores.

Se recomienda realizar un balance hidrológico en esta zona, para determinar el nivel de explotación y para poder implementar una zona de veda, reserva o reglamentada para la protección de agua del subsuelo.

Se recomienda realizar el registro de los aprovechamientos de la zona ante la Comisión Nacional del Agua.

En base al ACUERDO en el Diario Oficial de la Federación por el que se dan a conocer los límites de 188 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, los resultados de los estudios realizados para determinar su disponibilidad media anual de agua y sus planos de localización de fecha Viernes 31 de enero de 2003 la zona de estudio se localiza dentro del Acuífero Citrícola Sur y no cuenta con Disponibilidad Media Anual de Aguas Subterráneas, y en zona de libre alumbramiento, por lo que se recomienda dar aviso para la perforación exploratoria ante la autoridad competente (CONAGUA), de acuerdo con el Artículo 182-A fracción III de la Ley Federal de Derechos en Materia de Aguas Nacionales.

Se recomienda que los pozos sean perforados con apego a la NORMA Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996, "Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos".

Se recomienda, para la aprobación del pozo, que al registrar los aprovechamientos se proporcione ante la CONAGUA la información del numeral 6.8 de la NOM-003-CNA-1996.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adatte, T., Stinnesbeck, W., Hubberten, H., y Remane, J., 1992, The Jurassic-Cretaceous boundary in Northeastern and central Mexico: A multistratigraphical approach., VIII Congreso Latinoamericano de Geología., Volume IV: Salamanca, p. 23-29.

Aracil, E., Maruri, U., Vallés, J., Martínez Pagán, J., Porres, J.A. (2003) "Evaluación de problemas medioambientales mediante tomografía eléctrica" Ingeopres 122. 34-39.

Barboza-Gudiño, R., Zavala-Monsiváis, A., Venegas-Rodríguez, G., y Barajas-Nigoche, L.D., 2010, Late Triassic stratigraphy and facies from northeastern Mexico: Tectonic Setting and provenance: Geosphere, v. 6, p. 621-640.

Benson, R. et al. (1994). Geophysical Techniques for Sensing Buried Wastes and Waste Migration. Editorial National Ground Water Association. Nevada, USA. pp 236.

Beresnev, I.A., Hruby, C., Davis, C. (2002) "Exploration Geophysics". Journal of Applied Geophysics, 49. 245-254.

Caputo, R., Piscitelli, S., Oliveto, A., Rizzo, E., Lapenna, V. (2003) "The use of electrical resistivity tomographies in active tectonics: examples from the Tyrnavos Basin, Greece" Journal of Geodynamics 37. 19-35.

CNA, Comisión Nacional del Agua, 2012, Base de datos hidrometeorológicos, estación climatológica e hidrométrica Camacho ubicada al interior de la Cuenca del Río Pablillo: Monterrey, Nuevo León, México.

CNA, Comisión Nacional del Agua, 2012. Niveles históricos de almacenamiento de la Presa Cerro Prieto.

CNA. 1994. Pruebas de Bombeo. Comisión Nacional del Agua. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Libro V. 112 p.

Coduto, D.P. (1999). Geotechnical Engineering. Principles and Practices. New Jersey, Upper Saddle River, Prentice Hall, 142 p.

Dávila Porcel, R. A., 2011, Desarrollo Sostenible de usos de suelo en ciudades en crecimiento, aplicando hidrogeología urbana como parámetro de planificación territorial: Caso de estudio Linares, Nuevo León, México. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León.

De la Garza-González, S.I., 2000, Estudio geológico/hidrogeológico de la región citrícola Linares-Hualahuises, Nuevo León, NE-México.: Tesis de Licenciatura. Linares, Nuevo León, México., Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León.

De León-Gómez, H., 1993, Die Unterläufigkeit der Talsperre José López Portillo / Cerro Prieto auf einer Kalkstein - Mergelstein - Wechselfolge bei Linares, Nuevo León / México.: PhD Dissertation. Aachen, RWTH – Aachen.

Demant, D., Pirard, E., Renardy, F., Jongmans, D. (2001) “Application and processing of geophysical images for mapping faults” *Computers & Geosciences* 27. 1031-1037.

Galván-Mancilla, S.M., 1996, Cartografía Hidrogeológica de la terraza baja entre Hualahuises y Linares, N.L.: Tesis de Licenciatura. Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Goldhammer, R.K., 1999, Mesozoic sequence stratigraphy and paleogeographic evolution of northeast Mexico: Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico.: *Geological Society of America Special Paper.*, v. 340, p. 1-58.

Götte, M., 1988, Estudio geológico-estructural de Galeana/NL y sus alrededores.: *Actas Facultad Ciencias de la Tierra*, v. 3, p. 61-87.

Gutiérrez-Alejandro, G.A., 2008, Análisis de microfacies de la transición formacional La Casita-Taraises y determinación del límite bioestratigráfico Jurásico-Cretácico en el cañón de Santa Rosa, Iturbide, Nuevo León.: Tesis de Licenciatura. Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Humphrey, W.E., 1956, Tectonic framework of Northeast Mexico: *Gulf Coast Association Geological Society Transaction*, v. 6, p. 25-35.

Humphrey, W.E., y Diaz, T., 1954, Reconnaissance geology and road log of the Monterrey-Salttillo-Monclova highway., *Volume Field trip guidebook.*, South Texas Geological Society., p. 21.

Imlay, R.W., 1938, Studies of the Mexican Geosyncline.: *Geological Society of America Bulletin.*, v. 49, p. 1651-1694.

INEGI, 2001. (Hoja) Linares (G14C58), Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Carta Topográfica, escala 1:50,000. Segunda Edición.

INEGI, 2001. (Hoja) Linares (G1411), Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Carta Geológica, escala 1:250,000.

INEGI, 2003. Anuario estadístico del estado de Nuevo León, 2006.

INEGI. Síntesis de información geográfica del estado de Nuevo León.

Lizárraga-Mendiola, L.G., 2003, Análisis y evaluación del agua subterránea del área del tiradero municipal y La Petaca, Linares, N.L. México.: Tesis de Maestría. Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Lizárraga-Mendiola, Liliana, De-León Gómez, Héctor, Medina-Barrera, Francisco, y Návar, Jesús, 2004, Evaluation of the impacted aquifer by the landfill of Linares, Mexico: Zbl. Geol. Paläont. Teil I, v. 236, p. 225-244.

Loke, M.H. 2002b. RES2DINV ver. 3.50. Rapid 2-D resistivity and IP inversion using the least square method.

Loke M.H. y Barker R.D. 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. Geophysical Prospecting, 44: 131-152 pp.

López-Oliva, J.G., 1989, Bioestratigraphie des Ober-Jura der Unter-kreide in der Sierra del Fraile, Nuevo León, Mexiko: Diplomarbeit. Hamburg, Universität Hamburg. López-Ramos, E., 1980, Geología de México tomo II: Provincia VI Noreste.

López-Ramos, E., 1982, Geología de México; Provincia VI Noreste de México: México, D. F., Edición Escolar.

Martínez-Limas, N.A., y Gómez-Alejandro, A.G., 2008, Formación San Felipe: Caracterización Mineralógica y Geoquímica de Rocas Clásticas en la Parte Norte de la Sierra Madre Oriental, NE de México: Tesis de Licenciatura. Linares, N.L., México, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Martínez-Vallejo, F.S., 2007, Análisis de las Filtraciones Laterales de la Presa José López Portillo/Cerro Prieto; Linares, Nuevo León, México: Tesis de Licenciatura. Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Meiburg, P., 1987, Paleogeografía y desarrollo estructural del Cretácico de la Sierra Madre Oriental Septentrional, México.: Actas Facultad Ciencias de la Tierra, v. 2, p. 197-199.

Michalzik, D., 1986b, Stratigraphy and Paleogeography of the Northeastern Sierra Madre Oriental, Mexico (Triassic - Lowermost Cretaceous): *Zbl. Geo. Paläont*, v. 1, p. 1161-1169.

Michalzik, D., 1987, Sedimentación y sucesión de facies en un margen continental pasivo del Triásico al Cretácico Temprano del Noreste de la Sierra Madre Oriental, México.: *Actas Facultad Ciencias de la Tierra*, v. 2, p. 27-31.

Michalzik, D., 1988, Trias bis tiefste Unter-Kreide der nordöstlichen Sierra Madre Oriental, Mexiko. Fazielle Entwicklung eines passiven kontinentalrandes.: Alemania., Technische Hochschule Darmstadt.

Muir, J.M., 1936, *Geology of The Tampico Region, Mexico*: Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists, p. 280.

M. Villanueva y A. Iglesias. Pozos y Acuíferos, Instituto Geológico y Minero de España, pp. 47.

Orellana, E. (1982). *Prospección Geoelectrica en corriente continua*. Segunda Edición. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 578p.

Padilla y Sánchez, R.J., 1982, Geologic Evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo and Monterrey, México: Ph.D. Thesis, University of Texas at Austin.

Padilla y Sánchez, R.J., 1986, Post-Paleozoic Tectonic of Northeast Mexico and its Role Evolution of the Gulf of Mexico.: *Geofísica Internacional*, v. 25, p. 157-207.

Porres, J.A. (2003) "Caracterización de cavidades en el subsuelo mediante la interpretación de perfiles de Tomografía Eléctrica". Tesis Doctoral. Biblioteca central de la Universidad de Burgos, Burgos.

Porrás-Vázquez, N.D., 2008, Análisis estructural del frente tectónico de la Sierra Madre Oriental en el área cañón Santa Rosa, Linares, N.L.: Tesis de Licenciatura. Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Ruíz-Martínez, M.A., y Werner, J., 1997, Research into the quaternary sediments and climatic variations in NE Mexico.: *Quaternary International*, v. 43/44, p. 145-151.

Santana-Salas, A.L., 2008, Bioestratigrafía de la transición formacional La Casita-Taraises (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) en el cañón El Novillo, Iturbide, N.L.: Tesis de Licenciatura. Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Werner, Jörg, 1996, Introducción a la Hidrogeología: Monterrey, NL, México, Universidad Autónoma de Nuevo León, 174 p.