

UNIVERSIDAD DE SONORA  
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Memoria de Prácticas Profesionales

**Estudio Geofísico Geohidrológico de Sitio para la  
Retención e Infiltración de Agua en el Poblado de  
Suaqui Grande, Sonora**

Ricardo Morales Ochoa

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

# Índice

Contenido	Página
Índice	2
Índice de tablas y figuras	3
I. Introducción	4
II. Generalidades	5
1. Objetivo	5
2. Localización	5
3. Clima	7
4. Fisiografía e hidrografía	8
III. Geología	9
1. Geología general	9
2. Estratigrafía	10
3. Geología estructural	13
4. Geología del subsuelo	14
IV. Metodología de trabajo	15
1. Marco teórico	15
2. Equipo utilizado	21
3. Trabajo en campo	25
V. Resultados	29
1. Prospección eléctrica	29
2. Prospección gravimétrica	33
VI. Conclusiones	40
1. Trabajo realizado	40
2. Prácticas profesionales	41
VII. Bibliografía y Referencias	42

# Índice de figuras y tablas

Contenido	Página
Figura 1. Colindancia entre las cuencas en Sonora central	5
Figura 2. Localización de la cuenca del Río Tecoripa	6
Figura 3. Características hidrológicas de la cuenca del Río Tecoripa	8
Figura 4. Geología regional	9
Figura 5. Diagrama de distribución de las líneas de campo eléctrico	16
Figura 6. Ejemplo de una curva de resistividad	17
Figura 7. Descripción esquemática del funcionamiento la gravimetría	19
Figura 8. Efectos de anomalías debido a distintas distribuciones de masa	20
Figura 9. Scintrex Saris, equipo utilizado en la prospección geoelectrica	21
Figura 10. Vista de la consola frontal del equipo Scintrex Saris	22
Figura 11. Gravímetro Scintrex-Autograv CG-5	23
Figura 12. Esquema del elemento sensor del gravímetro	24
Figura 13. Distribución espacial de los Sondeos eléctricos verticales	26
Figura 14. Realizando medición gravimétrica	27
Figura 15. Medición gravimétrica a lo largo del cauce del Río Tecoripa	27
Figura 16. Distribución espacial de perfiles gravimétricos	28
Figura 17. Sección geoelectrica <i>La Cortina</i>	30
Figura 18. Sección geoelectrica <i>La Cortina-Suaqui</i>	31
Figura 19. Perfil gravimétrico <i>Cortina</i>	33
Figura 20. Perfil gravimétrico <i>El Bacerán</i>	34
Figura 21. Perfil gravimétrico <i>El Tunal</i>	35
Figura 22. Perfil gravimétrico <i>Pozo Agua Potable</i>	36
Figura 23. Perfil gravimétrico <i>El Callejón</i>	37
Figura 24. Perfil longitudinal <i>La Cortina - Suaqui Grande</i>	38
Figura 25. Perfil integrado Resistividad-Gravimetría <i>Cortina - Suaqui Grande</i>	39
Tabla 1. Localización de Sondeos eléctricos verticales	25

# I. Introducción

Las prácticas profesionales son un conjunto de actividades y quehaceres propios de la formación profesional del estudiante, que le permite relacionarse con el medio laboral donde se desempeñará y le da la oportunidad de aplicar los conocimientos y habilidades adquiridas a través de su formación académica en el programa educativo. Tienen como objetivo consolidar la formación profesional del estudiante a través de la interrelación de conocimientos teóricos y prácticos, con el fin de desarrollar habilidades y competencias profesionales en contextos laborales, vinculados estrechamente con el perfil de egreso de la licenciatura.

Como estudiante de la carrera en Geología nuestro perfil laboral tiende a inclinarse a trabajos en campo, ya sea que se trate de un proyecto de investigación con fines científicos, proyectos de trabajo para instituciones públicas o privadas, o trabajos requeridos por algún particular. En este caso las prácticas profesionales fueron hechas como parte del proyecto intitulado *Estudio de Evaluación Hidrogeológica, Zona Suaqui Grande* realizado para la Dirección General de Infraestructura de la Secretaría de Desarrollo Social del Estado de Sonora (SEDESSON). Esta parte del proyecto consistió en la aplicación de técnicas de exploración geofísica con el fin de conocer y evaluar las propiedades del subsuelo en la zona ya mencionada, y así con la información recopilada se pudieran hacer las recomendaciones pertinentes para la futura planeación de obras hidráulicas en beneficio de la población de Suaqui Grande, Sonora.

## II. Generalidades

### II.1. Objetivo

El objetivo de esta parte del proyecto se enfocó en conocer las condiciones del subsuelo que conforma el Acuífero del Río Tecoripa-Suaqui Grande, tanto en su distribución vertical como horizontal. Se procedió a la aplicación de técnicas indirectas (geofísica) de prospección del mismo.

### II.2. Localización

El acuífero del Río Tecoripa, definido con la clave 2639 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción centro oriental del Estado de Sonora entre los paralelos 28° y 29° de latitud Norte y entre los meridianos 109° 30' y 110° 30' de longitud Oeste, cubriendo una superficie de 2,480 km<sup>2</sup>. Colinda con los acuíferos Río Mátape y Soyopa, al norte; Ónavas, al este; Cumuripa y Agua Caliente, al sur; y al oeste el acuífero Valle de Guaymas, todos ellos pertenecientes al estado de Sonora (figura 1). Geopolíticamente comprende total o parcialmente los siguientes municipios: La Colorada, San Javier, Mazatán, Villa Pesqueira, Suaqui Grande, Cajeme y Guaymas.

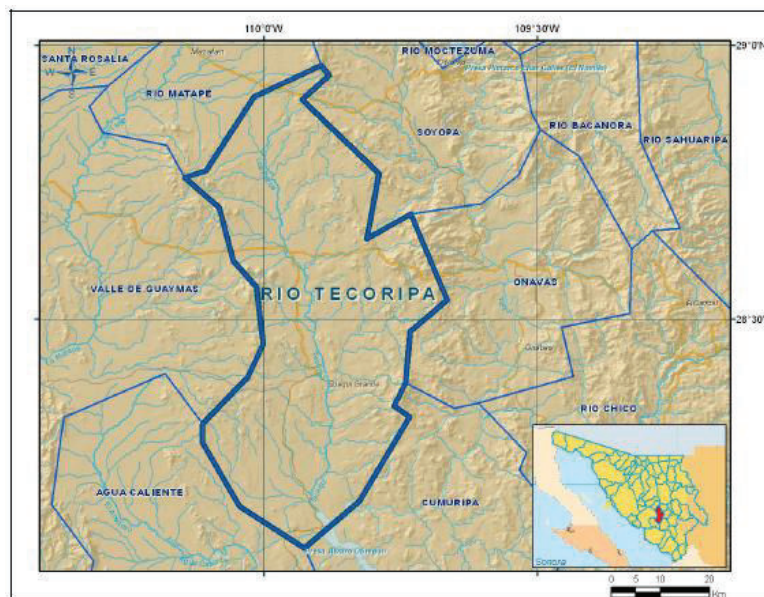


Figura 1. Colindancias entre las cuencas en Sonora central.



El río Tecoripa se origina a 32 km al oeste de la cortina de la presa Plutarco Elías Calles, a una altitud de 750 msnm. Su curso general es hacia el sur y pasa por las inmediaciones de Tecoripa, Suaqui Grande y Cumuripa. Aguas abajo de esta última población descarga por la margen derecha en los orígenes del embalse de la presa Álvaro Obregón (figura 2).

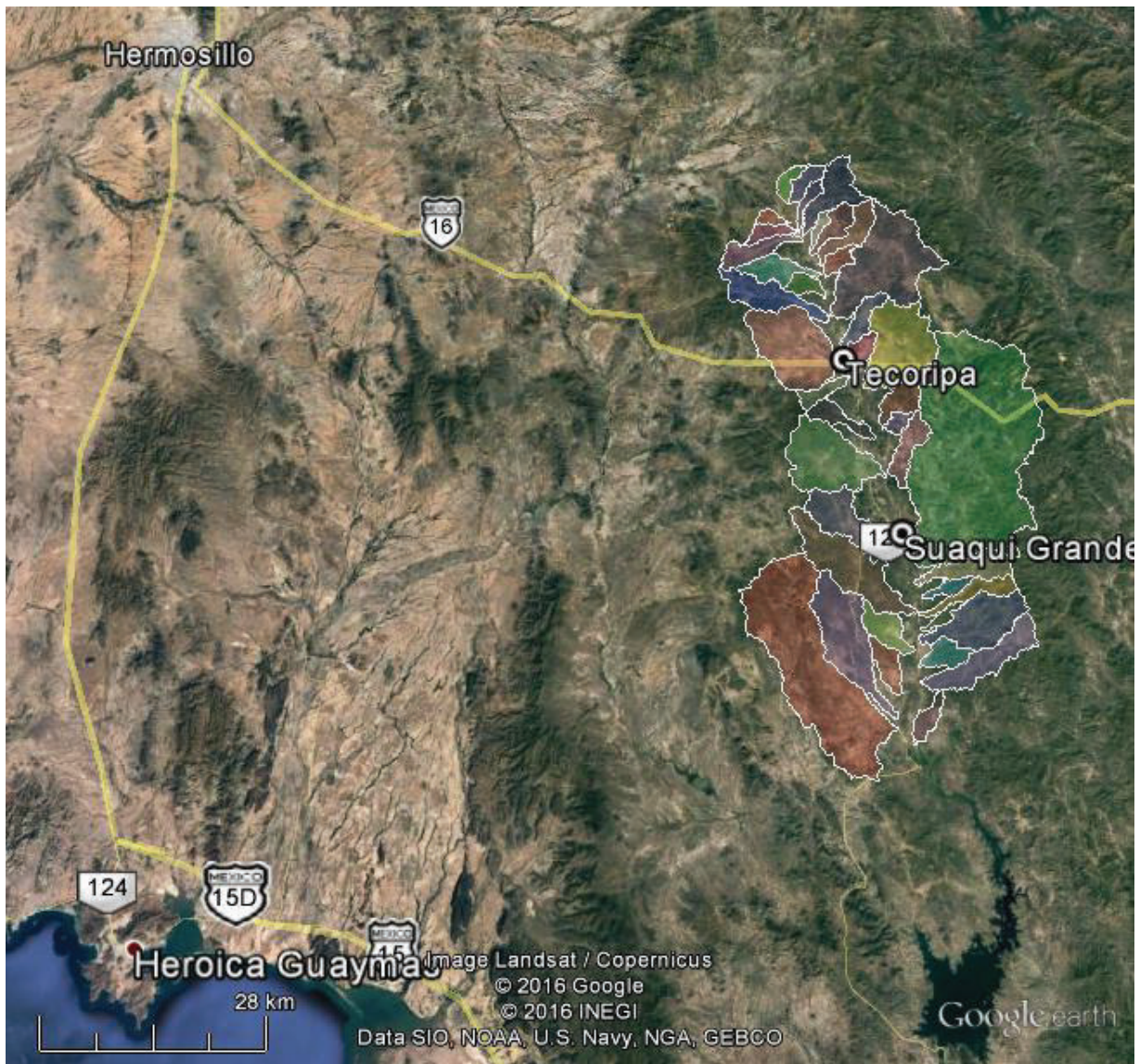


Figura 2. Localización de cuenca del Río Tecoripa

### II.3. Clima

Las condiciones geomorfológicas de la cuenca del río Yaqui, según Thornthwaite y Köppen, dan lugar a la presencia de climas secos, templados y desérticos, con vegetación xerófita, de bosques y praderas. Las lluvias son irregulares y se manifiestan en cualquier estación del año, aun cuando en algunos sitios son periódicas y con invierno seco. Las temperaturas medias anuales registradas varían entre 12.4° C y 25.8° C, en relación directa a las variaciones topográficas.

Para la cuenca del río Tecoripa se manifiestan dos tipos de climas: el clima semiseco, con régimen de lluvias de verano y porcentaje de lluvias invernales mayor a 10.2; y el clima seco con régimen de lluvias en verano, cálido, con temperatura media anual mayor de 22° C.

A partir de los datos de las estaciones climatológicas, mediante el método de los Polígonos de Thiessen, se obtuvo una temperatura media anual de 22.9° C, para el periodo 1989-2005 en la cuenca del río Tecoripa. La temperatura media más baja se registra en la estación climatológica Tecoripa con 22.0° C, mientras que la más cálida se presenta en la presa Álvaro Obregón, al sur de la cuenca analizada, con 26.2° C anuales. De la misma manera, se determinó que el valor de la precipitación media anual en la cuenca del río Tecoripa es de 554.4 mm.



## II.4. Fisiografía e hidrografía

El acuífero Río Tecoripa, se encuentra ubicado en la región hidrológica RH-9 “Sonora Sur”, dentro de la cuenca Río Yaqui, y la subcuenca llamada Río Tecoripa.

El río Tecoripa, afluente del río Yaqui, tiene una cuenca de forma alargada en dirección al norte, cuya extensión superficial es de 2,840 km<sup>2</sup> hasta su descarga en la presa Álvaro Obregón, conocida como “El Oviachic”. Su topografía es ligeramente accidentada con algunos valles intermontanos en las porciones central y occidental.

La única zona con bosques se localiza en una franja ubicada a lo largo del parteaguas oriental. Colinda al este con una serie de pequeñas corrientes que descargan directamente al colector general; al oeste y norte con la cuenca del río Mátape y al suroeste con la cuenca del arroyo Agua Caliente o Sahuaral.

En la figura 3 se muestran algunos datos hidrológicos de la cuenca del Río Tecoripa, los cuales corresponden a precipitación, evapotranspiración, escurrimiento e infiltración promedio.

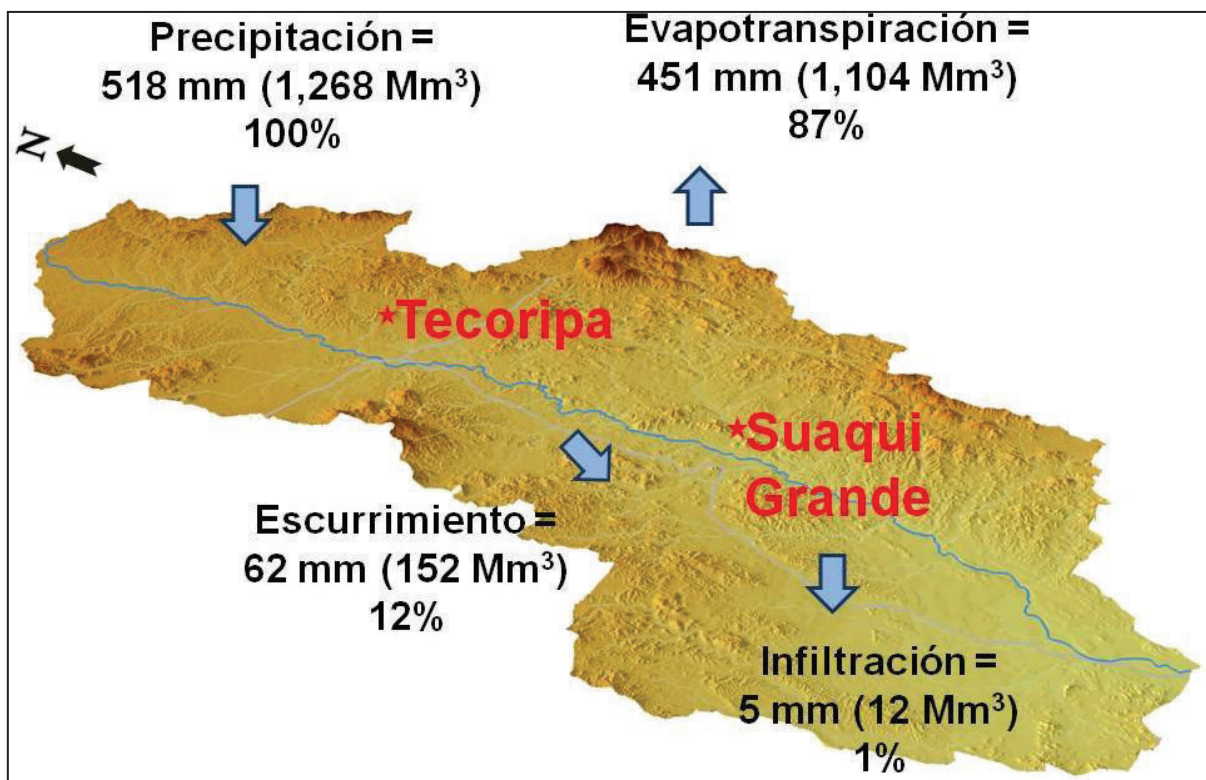


Figura 3. Características hidrológicas de la cuenca del Río

### III. Geología

#### III.1. Geología general

La geología general (figura 4), está representada por un conjunto de rocas de origen sedimentario e ígneo de complejas relaciones estructurales debido a los eventos de deformación que dieron lugar a extensos plegamientos de dirección E-W (este-oeste) NW-SE (noroeste-sureste).

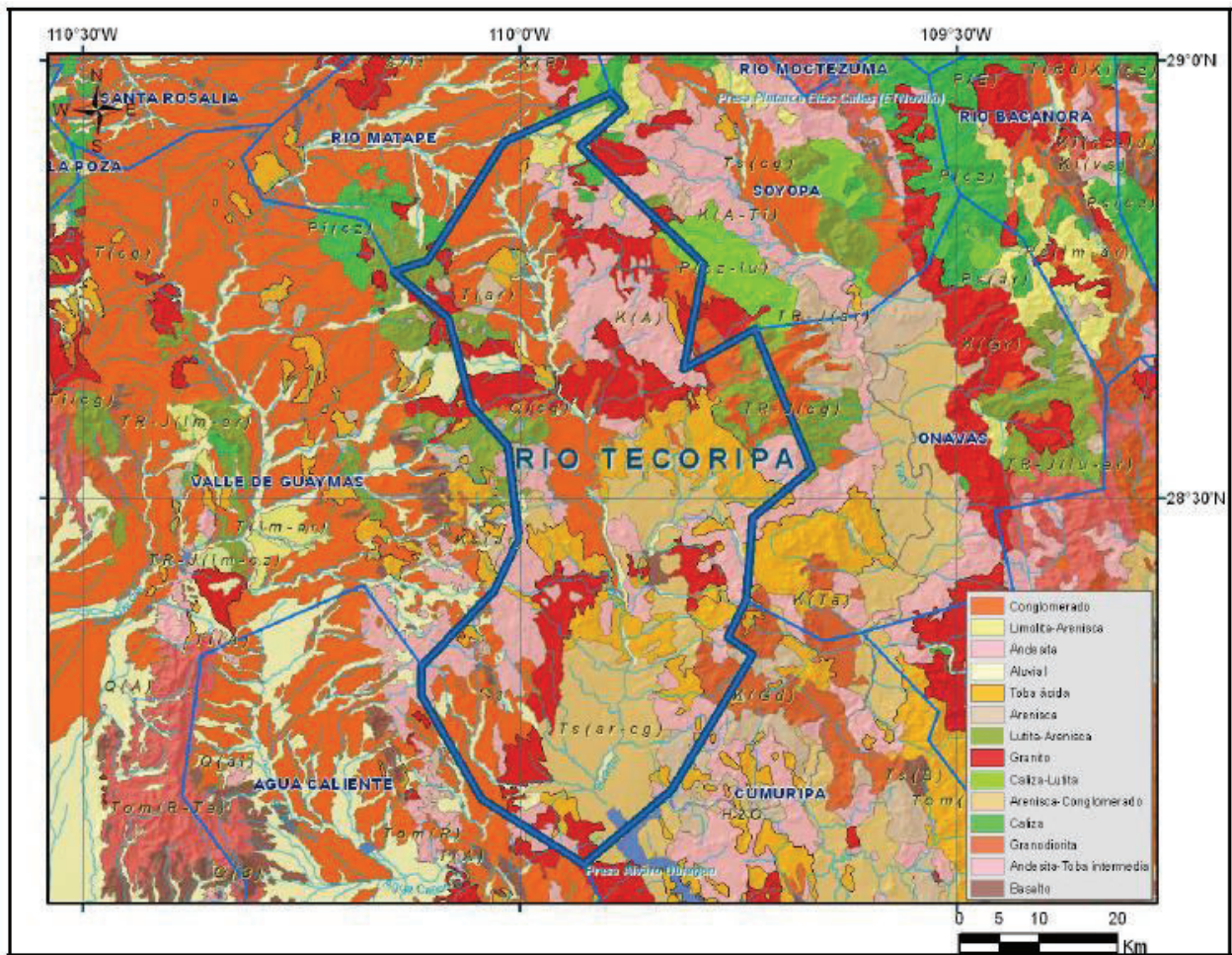


Figura 4. Geología regional

## III.2. Estratigrafía

El registro cronoestratigráfico que cubre las rocas que afloran en la región comprende del Triásico al Reciente. Se describen las diferentes unidades litoestratigráficas, de la más antigua a la más reciente.

### **Triásico – Jurásico**

El Triásico aflora en toda la porción centro-oriental del estado de Sonora; está representado por un conjunto de rocas sedimentarias, a las cuales Dumble (1900) designó con el nombre de División Barranca, dividiéndola en tres miembros: Inferior, Medio y Superior. Posteriormente, King (1934) le otorga el nombre de Formación Barranca, y finalmente Alencaster en 1961 lo eleva al rango de Grupo y lo divide en las Formaciones: Arrayanes, Santa Clara y Coyotes, según las divisiones de Dumble.

#### ➤ Formación Arrayanes

Está constituida por una alternancia de conglomerados, areniscas de cuarzo y lutitas. Los conglomerados están constituidos por fragmentos de cuarcitas y pedernal, las areniscas se encuentran intercaladas con los conglomerados y las lutitas presentan estratificación delgada.

#### ➤ Formación Santa Clara

Conforma la parte media del Grupo, es la única en la que se han identificado fósiles, mediante los cuales fue posible asignarle una edad correspondiente al Cárnico, de acuerdo a la datación realizada por Alencaster (1961) con base en varias especies de pelecípodos como *Myophoria mexicana sp.*

Está constituida por una secuencia de lutitas de coloración clara y oscura, intercaladas con horizontes de areniscas de cuarzo. Las lutitas se presentan en capas laminares delgadas y ocasionales horizontes areno-arcillosos que contienen impresiones de plantas. Presencia de horizontes intercalados de lutitas carbonosas con gran contenido de materia orgánica y restos fósiles de plantas. Esta formación cubre concordantemente a la Formación Arrayanes en contacto transicional.

➤ Formación Coyotes

Está constituida principalmente por conglomerados intercalados con horizontes de areniscas y pequeñas capas de lutitas. El conglomerado contiene fragmentos de cuarcitas, calizas con fusulínidos, pedernal y esporádicas rocas volcánicas. El depósito de esta formación marca un cambio drástico en la sedimentación del Grupo Barranca, como consecuencia de la reactivación de la distensión que produjo levantamientos relativos y el depósito de esta secuencia conglomerática. Cubre en discordancia a la Formación Santa Clara. Debido a la litología y disposición de las rocas que integran el Grupo Barranca, se considera que su ambiente de depósito fue en una zona de transición palustre–deltaica, próxima al margen continental o a una zona emergida, dada la abundancia de materia orgánica y la presencia de sedimentos clásticos.

### **Cretácico Inferior**

➤ Formación Tarahumara

Esta secuencia forma relieves topográficos en forma de lomeríos suaves, está constituida por un paquete de andesitas, areniscas y traquitas con algunos horizontes de areniscas, lutitas, calizas y tobas andesíticas.

### **Cretácico Superior**

La presencia de cuerpos intrusivos de composición granítica- granodiorítica, cuyas edades de emplazamiento varían desde el Maestrichtiano Superior al Paleoceno Inferior es notoria en las inmediaciones del poblado de Suaqui.

Estas rocas se generaron a partir de la subducción de la placa Farallón bajo la placa Norteamericana a fines del Cretácico y corresponde al evento tectónico conocido como Orogenia Laramide.

## **Paleógeno-Neógeno**

### ➤ Formación Báucarit

Originalmente Dumble (1900) la llamó División Báucarit. Posteriormente King (1937) la redefinió y la elevó al rango de Formación, como se le conoce actualmente. Está compuesta por conglomerados polimícticos constituidos por fragmentos angulosos a subangulosos de todas las rocas preexistentes: intrusivas, volcánicas, areniscas y pedernal. Tiende a formar mesetas alargadas con una orientación NNW.

El rumbo general de esta secuencia es de 30° hacia el NW con echados de 15 a 30° hacia el NE. Cubre discordantemente a rocas del Grupo Barranca, Formación Tarahumara y rocas volcánicas. En las inmediaciones del sitio de la cortina la actitud de las capas constituyentes es prácticamente horizontal. El medio ambiente de depósito está asociado a cuencas continentales, formadas a partir del evento distensivo de sierras y valles paralelos (Basin and Range).

## **Cuaternario**

Correspondientes al Pleistoceno existen depósitos no consolidados de conglomerados, gravas, arenas y limos, con clastos subangulosos de tamaños y composición heterogénea. Descansan discordantemente sobre toda la columna precuaternaria. Hidrogeológicamente, es la unidad más importante ya que de ella se extrae la mayor cantidad del agua utilizada en la región.



### III.3. Geología estructural

A principios del Triásico, ocurre un evento distensivo que ocasionó la formación de cuencas y el posterior depósito del Grupo Barranca. Después de un evento tectónico del Jurásico Superior (orogenia Nevadiana) que deforma al Grupo Barranca y su sustrato, se depositaron en discordancia rocas volcánicas de la Formación Tarahumara, asignadas al Cretácico inferior.

Las rocas intrusivas se asignan al evento del Cretácico Superior- Paleógeno. Varían en composición de granito a diorita. Asociados a esta roca intermedia se presentan derrames volcánicos contemporáneos o posteriores que consisten en derrames andesíticos y riolíticos. Este episodio magmático es asignado a la Orogenia Laramide.

El Terciario Superior discordante (Oligoceno-Mioceno), está representado por una secuencia de rocas volcánicas de carácter explosivo constituida de andesitas, riolitas e ignimbritas. Este episodio volcánico es el más representado en el área y constituye el último evento de este tipo asociado a la subducción de la placa Farallón bajo la placa Norteamericana, ya que el magmatismo asociado a subducción había migrado hacia el oeste para el Plioceno, produciendo distensión hacia el oriente.

Con el fin de la subducción durante el Plioceno Superior, sucede un fenómeno particular en el noroeste de Norteamérica, cambiando la interacción de las placas a un límite transformante. Este cambio ocasiona un relajamiento en la placa Norteamericana con la consiguiente distensión, activa desde el Mioceno, provocando el depósito de la Formación Báucarit, constituida básicamente de conglomerado con esporádicas intercalaciones de rocas volcánicas de fisura.



### III.4. Geología del subsuelo

Es posible identificar tres unidades hidrogeológicas principales: (1) relleno aluvial, que delimita el cauce principal del río Tecoripa y de sus tributarios, y forman la unidad de alta permeabilidad; (2) los diferentes tipos de conglomerados y tobas, que representan una unidad de mediana permeabilidad; y (3) la unidad de baja permeabilidad, que es la roca cristalina de menor fracturamiento y alteración.

Por lo tanto, el acuífero se encuentra constituido en su parte superior por los depósitos aluviales y en su parte inferior por la secuencia de conglomerados y rocas volcánicas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. El basamento y barreras al flujo subterráneo están conformados por las rocas ígneas intrusivas de composición granítica.

Dentro de la unidad con alta permeabilidad se incluyen los materiales no consolidados como el aluvión de edad reciente, que sólo se ubica en los angostos cauces y tributarios del río Tecoripa. Esta unidad se ubica en la zona central del acuífero y se extiende según su ramificación de los patrones tributarios hacia el este y oeste, en ella se encuentran la mayoría de las captaciones de aguas subterráneas.

La unidad con permeabilidad media está representada en su mayor parte por rocas sedimentarias y vulcano-sedimentarias. Sus espesores pueden variar y llegar a constituir grandes grosores, comportándose como acuíferos libres o semiconfinados. El conglomerado de la Formación Báucarit puede representar acuíferos muy productivos, debido a la regolita derivada de la unidad sedimentaria de esta formación y su fracturamiento paralelo.

La tercera unidad hidrogeológica presenta baja permeabilidad presenta alteración causada por el intemperismo, además de deformaciones generadas por fracturamiento y fallamiento.

## IV. Metodología de trabajo

### IV.1. Marco teórico

La exploración geofísica se define como el arte de aplicar las ciencias físicas en el estudio de la estructura y composición de las capas de la Tierra que se encuentran lo suficientemente someras para ser explotadas por el hombre. Esto se hace mediante observaciones y mediciones realizadas sobre la superficie del terreno, en donde se mide alguna propiedad física de los materiales que conforman el subsuelo, tal como lo es la densidad, elasticidad, resistividad y conductividad eléctrica, susceptibilidad magnética, campo magnético, etc.

Dada esta definición se entiende que, para poder aplicar un método determinado, es necesario que exista un contraste de la propiedad física que se desea medir con respecto a su medio circundante. Dadas las características del valle mencionado fueron dos las técnicas de exploración geofísica que se aplicaron: Prospección eléctrica y Prospección gravimétrica. En los sitios de la posible cortina y El Bacerán, se aplicaron de manera adicional Magnetometría y V.L.F. (Very Low Frequency Electromagnetic method).

**Prospección eléctrica (Resistividad).** El método de Resistividad, el cual está fundamentado en la Ley de Ohm, consiste básicamente en la inyección de corriente eléctrica continua al subsuelo a través de dos electrodos (A y B) denominados "electrodos de corriente". El campo eléctrico generado por la propagación de la corriente en el subsuelo se mide en un par de electrodos (M y N) denominados "electrodos de potencial" conectados a un voltímetro.

Las leyes del fenómeno considerado se derivan de la teoría electromagnética, fundamentalmente en las ecuaciones de Maxwell. El método de Resistividad presenta tres modalidades:

- *Sondeo eléctrico vertical (SEV)*
- *Perfil geoeléctrico o Calicata*
- *Tomografía o Imagen eléctrica*

En el presente estudio, se aplicó la modalidad de sondeo eléctrico vertical con el objeto de determinar la distribución vertical de las resistividades del subsuelo y obtener el corte geoelectrico de cada punto sondeado. La propiedad física determinada durante la ejecución de un SEV se conoce como *resistividad aparente*, depende de la configuración electródica y el campo eléctrico aplicado (figura 5), se expresa por la relación:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Donde:

$\rho_a$  = resistividad aparente ( $\Omega \cdot m$ )

K= factor geométrico (depende de la configuración electródica)

$\Delta V$ = diferencia de potencial (mVolts)

I = intensidad de corriente inyectada al terreno (mAmps)

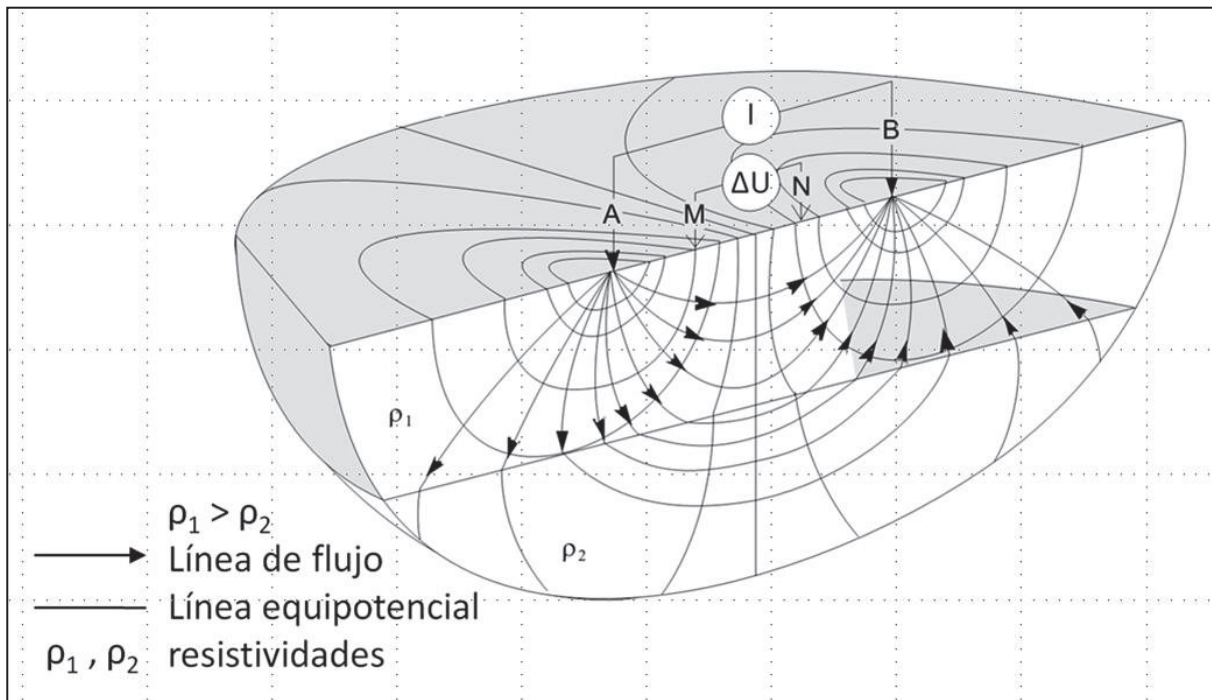


Figura 5. Diagrama esquemático de la distribución de las líneas de campo eléctrico

Los datos de  $\rho_a$  obtenidos en cada SEV se representan por medio de una curva en función de las distancias entre electrodos de corriente, en hojas doble logaritmo; la curva así obtenida se denomina curva SEV, curva de campo o curva de resistividad aparente (figura 6). La mayor eficacia del método, corresponde al caso en que este se efectúa sobre terrenos compuestos por capas lateralmente homogéneas en lo que respecta a la resistividad, y limitadas por planos paralelos a la superficie (medio estratificado).

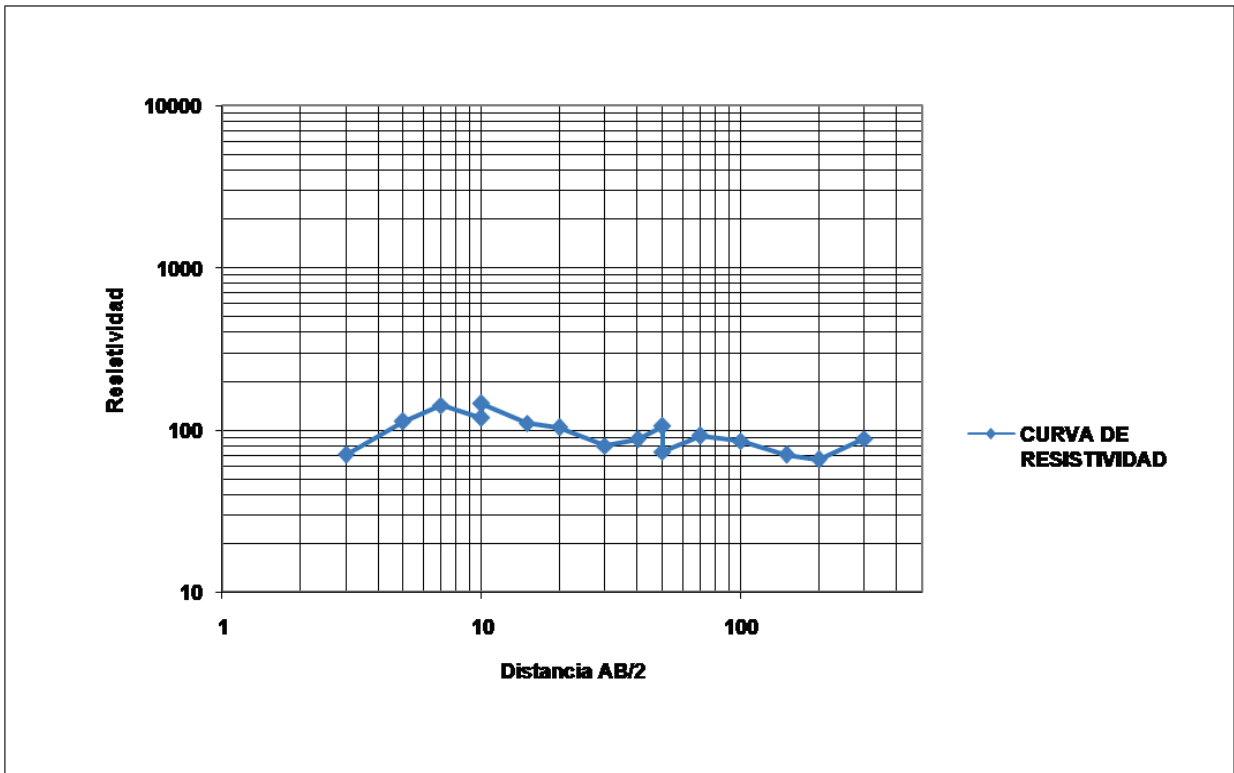


Figura 6. Ejemplo de una curva de resistividad. Se grafica la resistividad ( $\Omega \cdot m$ ) obtenida contra la distancia electródica (m).

La interpretación de la curva de campo obtenida consiste en deducir la distribución vertical de las resistividades y espesores reales que conforman el subsuelo en el punto sondeado (corte geoelectrico). Esta interpretación evidentemente consiste en la solución de un "problema inverso" para el cual, no existe solución única.

**Prospección gravimétrica (Gravimetría).** El método gravimétrico de prospección consiste en la medición de los valores de la gravedad terrestre con el objeto de determinar las desviaciones o "anomalías" del comportamiento normal del campo gravitacional, ocasionadas por cambios de densidad en los materiales del subsuelo. Este método se encuentra fundamentado en la Ley de Gravitación Universal de Newton, expresada por la relación:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2)$$

Donde:

$F$  = magnitud de la fuerza ejercida entre dos cuerpos con masas puntuales, su dirección se encuentra en el eje que une ambas masas [Newtons, dinas]

$G$  = constante de Gravitación Universal ( $6.67428 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ )

$m_1$  y  $m_2$  = masas de los cuerpos 1 y 2 [kg, g]

$r$  = distancia que separa los centros de dichas masas [m, cm].

Debido a las variaciones prácticamente despreciables que experimenta el campo gravitacional (980 gals en el Ecuador a 985 gals en los polos donde 1 gal=1 cm/seg<sup>2</sup>), es necesario contar con instrumentos lo suficientemente sensibles que permitan efectuar mediciones muy precisas de la gravedad; dichos instrumentos se denominan *Gravímetros*.

Una vez obtenidos los datos de campo, el procesado e interpretación de los mismos requiere el que se apliquen las correcciones siguientes:

- Corrección por deriva instrumental + marea gravimétrica (efecto Luni – Solar).
- Corrección por latitud
- Corrección por elevación (aire libre o de Faye)
- Corrección de Bouguer
- Corrección por topografía (Terreno)

Al valor de gravedad que se obtiene en cada punto de medición una vez realizadas las correcciones señaladas, se le conoce como "Gravedad de Bouguer". El siguiente paso, consiste en obtener la llamada "Anomalía de Bouguer" para lo cual, a partir de los datos de Gravedad de Bouguer es necesario restar el valor de una estación de referencia (base). A partir del plano o perfil de Anomalía de Bouguer, es necesario llevar a cabo la separación regional-residual, para separar efectos causados por estructuras profundas de someras. En la Figura 7 se describe de manera esquemática el efecto gravitacional que ejerce un cuerpo masivo en el subsuelo.



Figura 7. Descripción esquemática del funcionamiento de la gravimetría

Para poder hacer una interpretación del basamento se separa la anomalía de gravedad de interés. Esto se hace considerando que la Anomalía de Bouguer es la suma de dos componentes: el efecto regional, que corresponde a las masas profundas (generalmente el basamento), y el efecto residual debido a las masas superficiales (estratos con una densidad que contrasta con la del basamento).



Una manera de obtener la anomalía regional es generando superficies matemáticas que se ajusten a los datos distribuidos en un sistema coordenado. Estas son definidas por funciones polinomiales y el ajuste de los datos se realiza mediante el método de mínimos cuadrados, en donde la curva de mejor ajuste es aquella que minimiza las desviaciones.

El residual puede ser interpretado cuantitativamente para deducir la estructura del subsuelo, reduciendo la ambigüedad con ayuda de la información geológica y/o geofísica disponible. Para la zona del Río Tecoripa-Suaqui Grande las densidades utilizadas fueron de 1.8 grs/c.c. para la cubierta aluvial y de 2.2 grs/c.c. para el basamento (Grupo Báucarit).

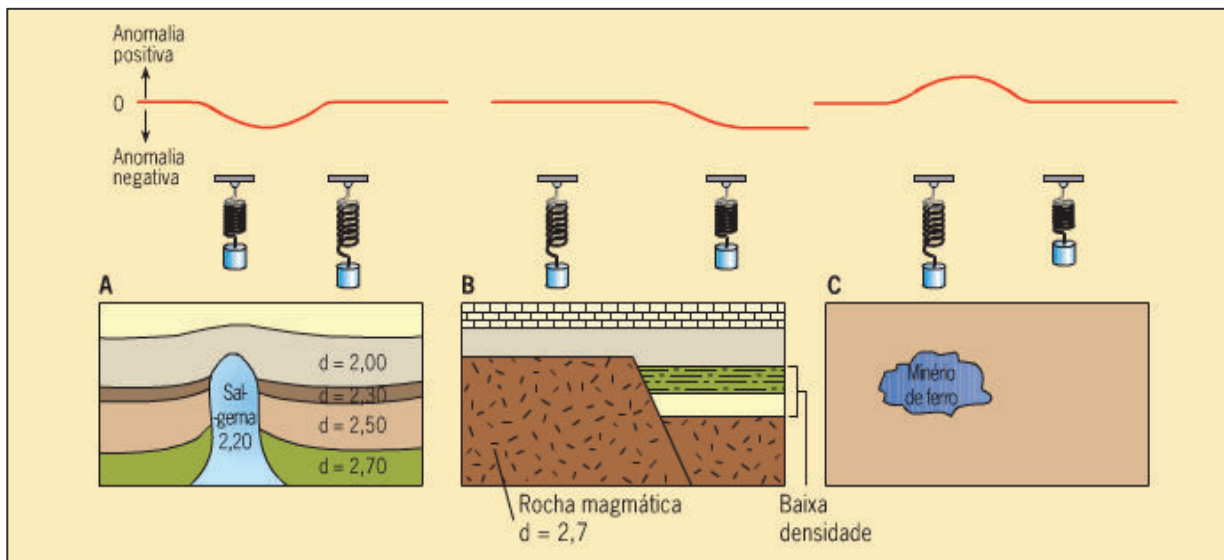


Figura 8. Efectos de anomalías debido a distintas distribuciones de masa en el subsuelo, en donde se observa que los cuerpos con una densidad mayor que el medio circundante producen anomalías positivas, mientras que los de menor densidad producen anomalías negativas.

Después de haber efectuado la separación regional-residual, se hace un cambio de unidades con la finalidad de expresar la anomalía residual comprendida por el relleno aluvial obtenida en miligals a metros, con el fin de restar este resultado de la elevación topográfica, y de esta manera obtener la profundidad del basamento representado por la anomalía regional.

## IV.2. Equipo utilizado

### Prospección eléctrica: Sondeos eléctricos verticales

Marca del equipo utilizado: Scintrex – Saris

Potencia máxima: 180 W

Corriente: 1.0 – 1000 miliamperios

Software para interpretación: Resix – Plus V 2.0; WinGlink

El Scintrex Saris es un instrumento versátil y altamente portátil que está diseñado principalmente para la cartografía de la resistividad de las formaciones cercanas a la superficie, así como para las aplicaciones de aguas subterráneas, geotécnicas, ingeniería y arqueológicas. Además, proporciona información básica de polarización inducida, útil para la resolución de ciertos tipos de suelos y rocas.

Para las medidas de resistividad, el Saris transmite una forma de onda de corriente sinusoidal, de frecuencia fija de 5 o 6 Hz. Para las mediciones de polarización inducida, la onda transmitida es una onda cuadrada bipolar, interrumpida y de duración seleccionable, con mediciones de potencial en cuatro ventanas seleccionables en cada curva de decaimiento de voltaje.

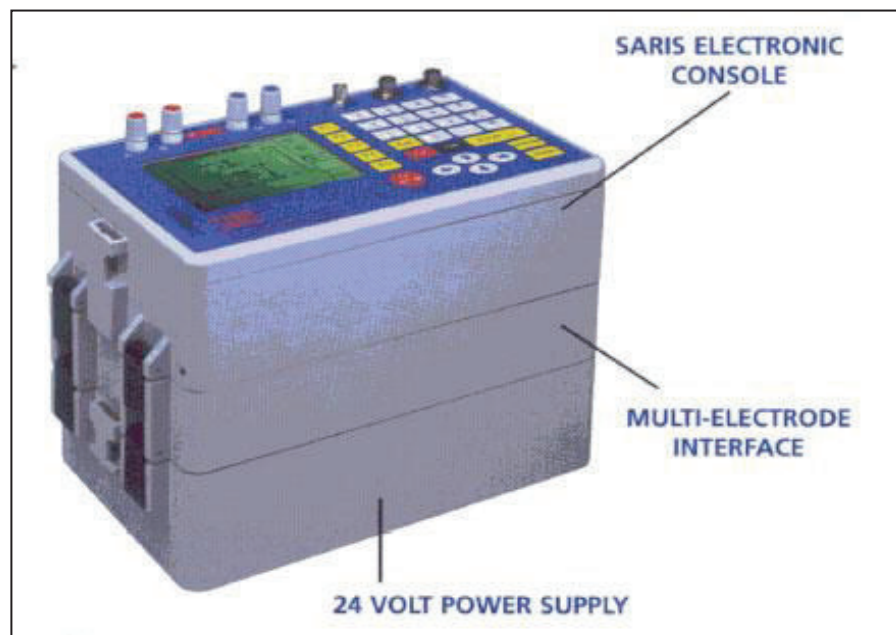


Figura9. Scintrex Saris, equipo utilizado en la prospección geoeléctrica

En cualquier situación específica, la profundidad máxima a la cual el Saris puede proporcionar buenas propiedades físicas eléctricas está determinada por la relación señal/ruido. Esto, a su vez depende de una serie de factores locales, incluyendo el flujo de corriente aplicada, la resistividad de las formaciones, el conjunto de electrodos empleados y la separación entre éstos, además del ruido telúrico ambiental. Además, en el modo de medición de IP, las tensiones de tierra transitorias medidas son comúnmente alrededor de dos órdenes de magnitud más bajas que las correspondientes tensiones de resistividad, y también sus relaciones señal/ruido. Así, en algunos casos puede ser posible conseguir mediciones de resistividad aceptablemente buenas, pero no aceptables mediciones IP correspondientes. Un objetivo del operador es conseguir una señal/ruido aceptable para cada medición aumentando la corriente transmitida, dentro de los límites de la capacidad de transmisión del Saris (100 W, 500 V y 1,0 Amperios)



Figura 10. Vista de la consola frontal del equipo Scintrex Saris

## Prospección gravimétrica: Perfiles Gravimétricos

Marca del equipo usado: Gravímetro Scintrex-Autograv CG-5 automatizado

Resolución: 0.001 miligal (1  $\mu$ gal)

Rango de operación: 8,000 miligals sin necesidad de resetear

Software para interpretación: Surfer; WinGlink

El gravímetro Scintrex CG-5 Autograv es un gravímetro relativo del tipo lineal, con una resolución de 1  $\mu$ Gal, una repetibilidad de menos de 10  $\mu$ Gal y un rango operacional de más de 8000 mGal; su diseño incluye una serie de microprocesadores, los cuales posibilitan la automatización de las mediciones y su procesamiento en tiempo real. El gravímetro CG-5, mostrado en la figura 11, mide a una frecuencia de 6 Hz durante un período de tiempo definido por el usuario, el cual como mínimo es de 1 segundo. Puede utilizarse en dos formas: modo levantamiento para la adquisición de mediciones discretas, y el modo cíclico para el registro continuo de datos.



Figura 11. Gravímetro Scintrex-Autograv CG-5

El elemento sensor se basa en un sistema elástico de cuarzo fundido en el cual la fuerza gravitacional sobre la masa de prueba es balanceada por un resorte y una pequeña fuerza electrostática restauradora (figura 12). La deriva instrumental (drift) en estos instrumentos, debido al inevitable estiramiento del resorte bajo tensión y su imperfecta recuperación, alcanza algunas décimas de miligal por día. Esta deriva es en general lineal en el intervalo de unas pocas horas siempre y cuando el transporte sea cuidadoso, y puede ser removido de las lecturas realizando recuperaciones frecuentes de estaciones; es una característica propia de cada equipo, y en muchos casos su magnitud es variable en el tiempo al igual que el factor de calibración.

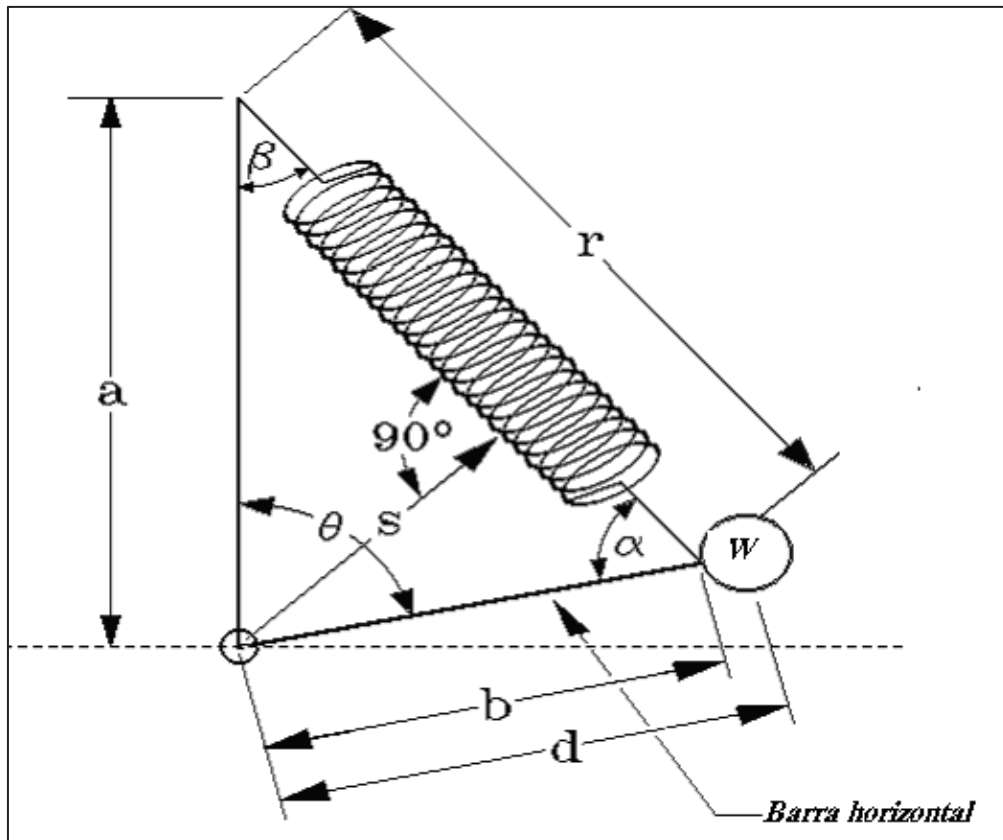


Figura 12. Esquema del elemento sensor del gravímetro.



### IV.3. Trabajo en campo

#### Prospección eléctrica: Sondeos eléctricos verticales

El comportamiento eléctrico del subsuelo en sitios seleccionados de la subcuenca del río Tecoripa-Suaqui Grande, se llevó a cabo realizando una serie de sondeos eléctricos verticales (SEVs) en varias zonas a lo largo del cauce del río y en otras zonas de interés:

Método aplicado: Resistividad eléctrica

Modalidad: Sondeo eléctrico vertical (S.E.V.)

Arreglo: Tetraelectródico de Schlumberger

Apertura máxima de AB/2: 250 m.

No. de Sondeos: 30

SEV	X	Y	Z	SEV	X	Y	Z	SEV	X	Y	Z
P6	606917	3149941	267	RA1	609035	3143234	231	SG07	608679	3141868	234
P7	606896	3149945	269	RA2	608909	3143248	228	SG04	609116	3141797	230
P8	606867	3149951	270	ET1	608678	3144402	238	SG05	609114	3141792	230
B1	607717	3146539	251	ET2	608707	3144279	237.5	SG03	608789	3141749	237
B2	607666	3146615	252	AG1	608871	3143661	229	SG02	608737	3141823	235
B3	607683	3146522	240	FG1	608691	3143975	231	SG01	608689	3141942	233
NAP	608959	3141913	228	LH1	608885	3142250	232	P2	606993	3149925	267
P1	607014	3149921	269	SP1	607031	3149948	269	P3	606975	3149929	266
SB1	608600	3142578	231	SG08	608723	3141884	233	P4	606953	3149933	266
SB2	608702	3142570	230	SG06	608687	3141818	235	P5	606935	3149937	267

Tabla 1. Localización de Sondeos eléctricos verticales en el Acuífero del Río Tecoripa-Suaqui Grande, Sonora. Las coordenadas se presentan en formato UTM-WGS84



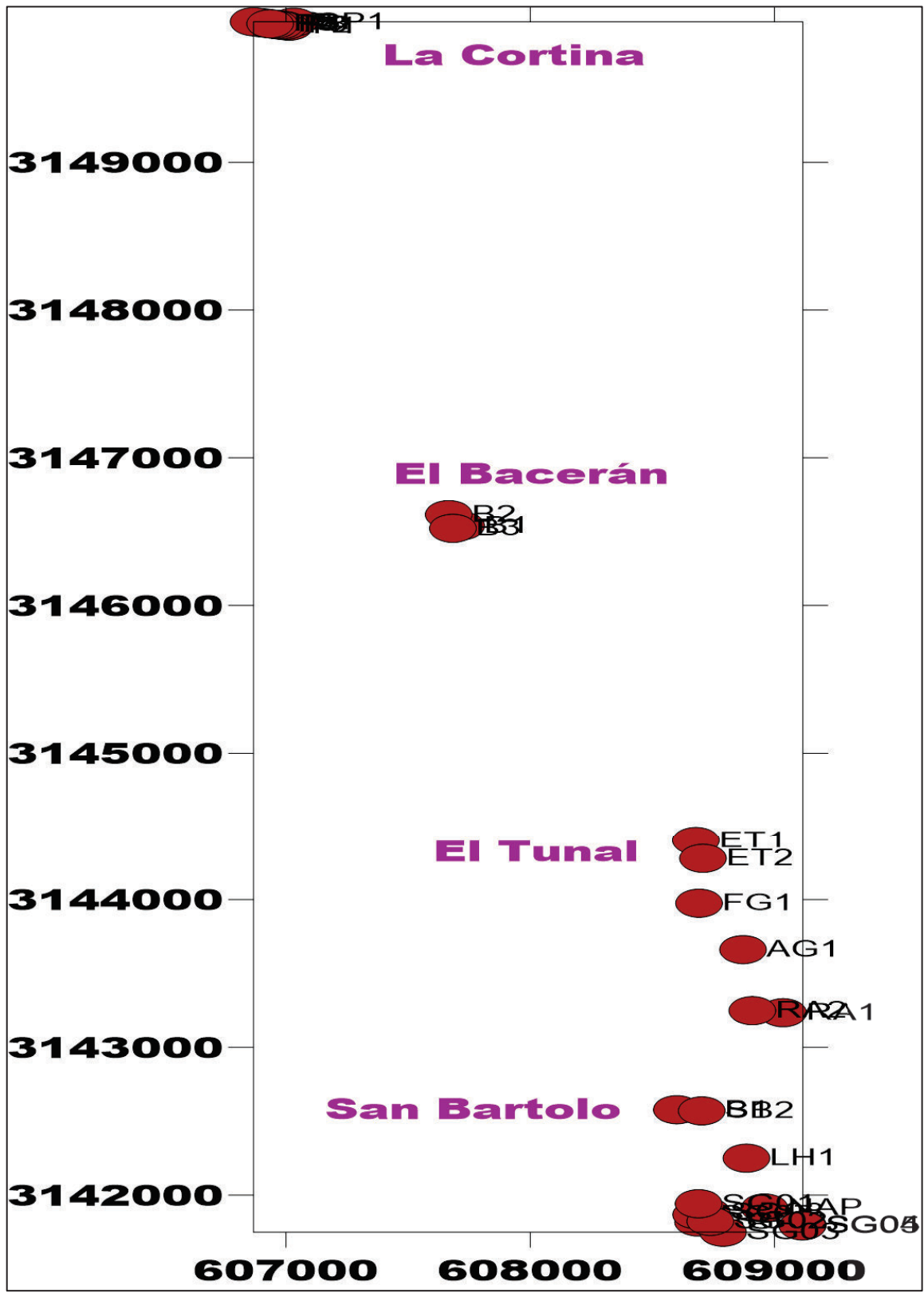


Figura 13. Distribución espacial de los sondeos eléctricos verticales. Estos se encuentran distribuidos sobre el cauce del Río Tecoripa.

## Prospección gravimétrica

Método aplicado: Gravimetría

Modalidad: Perfiles

Distancia entre perfiles: Variable

Distancia entre estaciones: mínimo 5 a un máximo de 150 metros

No. de Perfiles: 6

No. de Estaciones: 190



Figura 14. Realizando medición gravimétrica



Figura 15. Medición gravimétrica a lo largo del cauce del Río Tecoripa

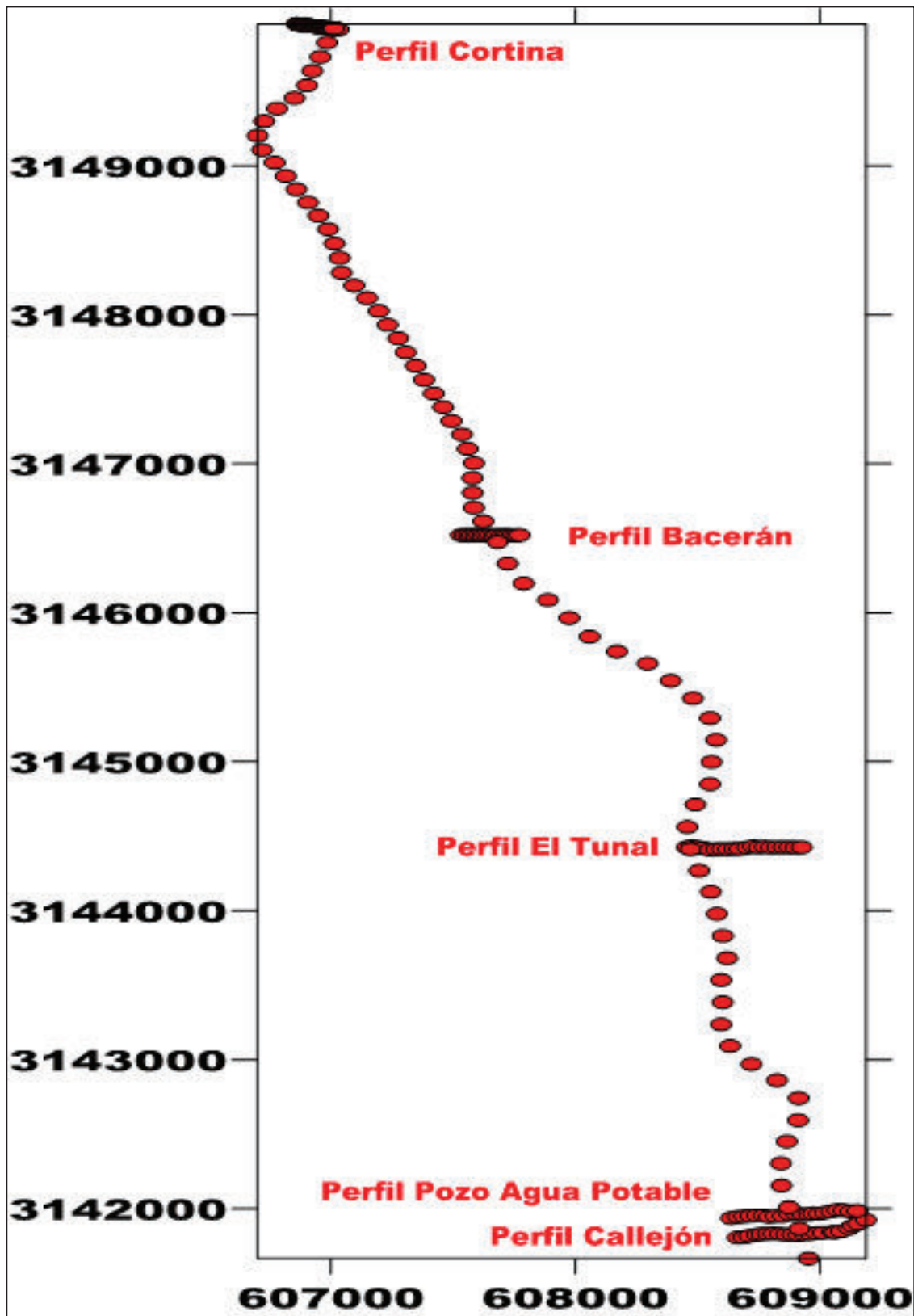


Figura 16. Distribución espacial de perfiles gravimétricos. Se realizaron 5 perfiles de manera transversal al cauce del río y uno de 9 km de longitud a lo largo del cauce.

## V. Resultados

### V.1. Prospección eléctrica

La interpretación cuantitativa de los datos de campo obtenidos por el método de Resistividad eléctrica indica que:

- Los cortes geoelectricos representativos del Río Tecoripa-Suaqui Grande varían de 3 a 5 capas perteneciendo a los tipos K, KQ, AK, KH y KQQ respectivamente, indicativos de la presencia de cobertura aluvial de espesor variable.
- La cobertura aluvial del Río Tecoripa-Suaqui Grande, la más importante desde el punto de vista geohidrológico para el almacenamiento del agua subterránea desde el sitio de la cortina hasta el poblado de Suaqui, presenta un espesor mínimo del orden de los 4.0 a un máximo de 20.0 metros limitando en gran medida la disponibilidad del recurso y agravándose en épocas de estiaje.
- El Basamento prácticamente impermeable está representado por secuencias litológicas correspondientes al denominado Grupo Báucarit (conocido como “El Cascajo” a nivel local), con espesores que varían de las decenas a los cientos de metros e improductivo desde el punto de vista geohidrológico (agua para abrevadero). Las secciones geoelectricas obtenidas muestran el comportamiento de las diferentes unidades detectadas en el subsuelo. El nivel freático descansa a profundidades que varían de los 5.0 a los 9.0 metros.
- En el sitio de la Cortina las profundidades al basamento impermeable representado por el Grupo Báucarit, varían de un mínimo de 1.2 a un máximo de 17.0 metros.

Las secciones geoelectricas mostradas definen el comportamiento de las diferentes unidades detectadas en el subsuelo del Río Tecoripa-Suaqui Grande.

# W - SECCIÓN GEOELÉCTRICA LA CORTINA - E

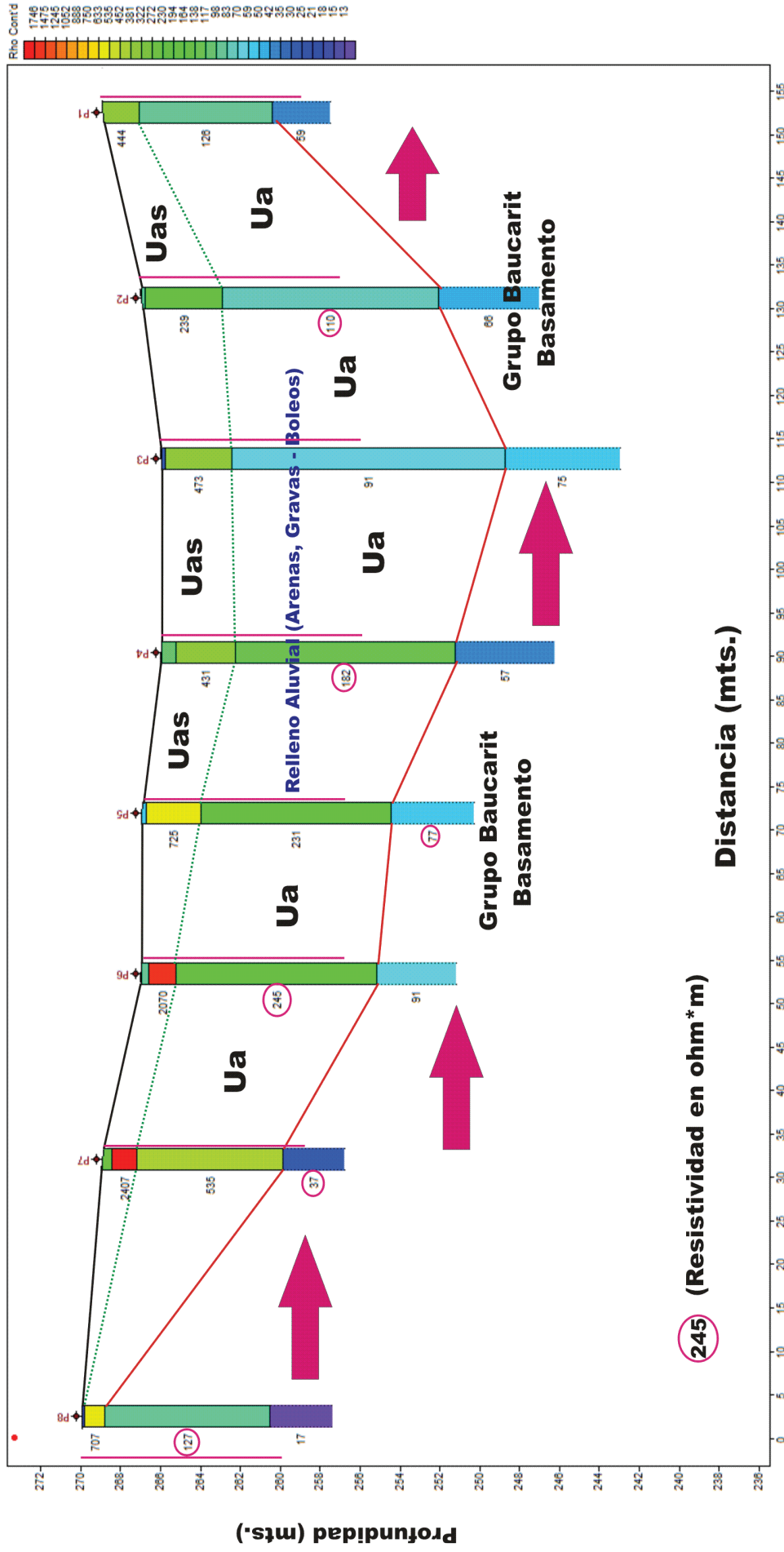


Figura 17. Sección geoelectrica *La Cortina*. Esta sección fue interpretada a partir de una serie de 8 sondeos dispuestos perpendicularmente al cauce de Río Tecoripa, los cuales fueron realizados en la zona de *La Cortina* con la finalidad de determinar la profundidad aproximada del basamento impermeable; esta zona era de gran interés debido a que se propuso la construcción de un embalse para la retención de agua, por lo cual el conocimiento de la profundidad a la cual se encontraba la roca impermeable era de suma importancia.



# N - SECCIÓN GEOELÉCTRICA LA CORTINA - SUAQUI - S

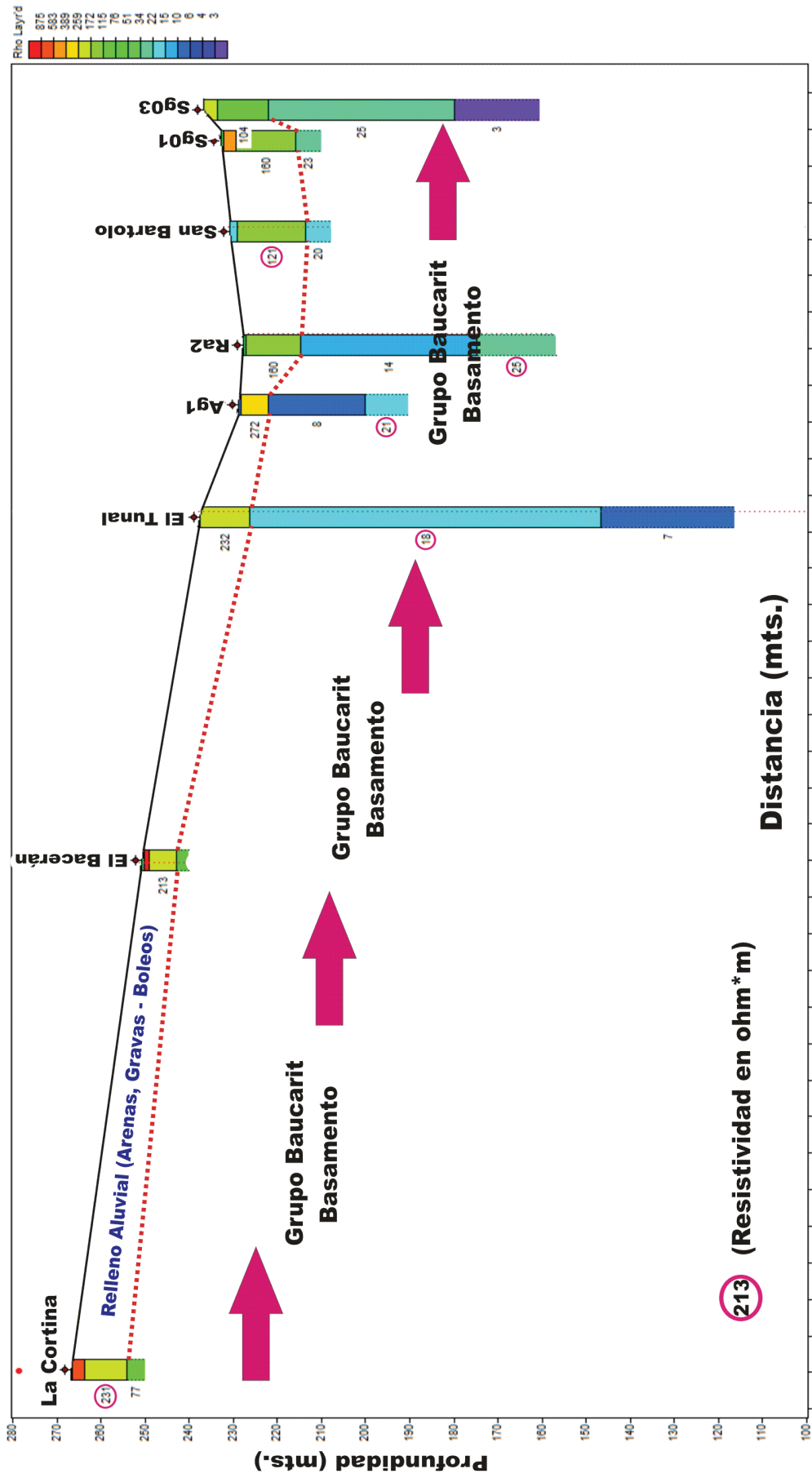


Figura 18. Sección geoelectrica *La Cortina-Suaqui*. Esta sección fue interpretada a partir de los datos recabados de sondeos realizados a lo largo del cauce del Río Tecoripa, desde la zona de *La Cortina* hasta el poblado de Suaqui Grande, con varios sondeos intermedios. Esto se hizo con la finalidad de conocer la distribución del relleno aluvial y profundidad media del basamento a lo largo del cauce.



## Descripción de secciones geoelectricas

En estas secciones se puede observar la presencia de tres unidades geohidrológicas principales:

- **Unidad aluvial somera (Uas).** Esta unidad corresponde a la más superficial detectada, presenta un rango de resistividades que varían desde los 230 a mayores de los 2000  $\Omega$  - m, que son valores típicos para materiales de granulometría media a gruesa (arenas – gravas) secos. Los espesores varían de un mínimo de 0.15 a un máximo de 5.0 metros bajo el sondeo P2.
- **Unidad aluvial (Ua).** Es la más importante desde el punto de vista geohidrológico, se caracteriza por presentar un rango de resistividades que varían desde los 90 hasta los 535  $\Omega$  - m. Estas resistividades son típicas de materiales de acarreo y relleno aluvio-fluvial tales como gravas, boleos y arenas de alta porosidad y permeabilidad. Los espesores varían desde un mínimo de 2.0 metros en el sondeo P8, a un máximo de 17.0 metros en el sondeo P3.
- **Basamento (Grupo Báucarit).** Esta unidad conocida como el “Cascajo” a nivel local, aflora en los extremos del perfil, así como a lo largo de ambas márgenes del arroyo Suaqui y es el asiento del propio poblado, constituye el basamento impermeable de la región. Se caracteriza por la presencia de un conglomerado polimíctico con matriz arcillo-limosa con intercalaciones de estratos areno-arcillosos. Su actitud es prácticamente horizontal en el sitio de la cortina.

Las resistividades que se observan para esta unidad en el sitio de la Cortina, varían de un mínimo de 37 a un máximo de 127  $\Omega$  - m.

**Desde el punto de vista geohidrológico es un productor pobre como lo muestran las perforaciones profundas que lo cortan.**

## V.2. Prospección gravimétrica

### Perfil *Cortina*

Longitud de perfil: 176 m

Distancia entre estaciones: 5 m

No. de estaciones: 37

Orientación: Poniente – Oriente (W – E)

Profundidad mínima a Basamento: 1.15 m (a los 8.26 m)

Profundidad máxima a Basamento: 21.40 m (a los 113.49 m)

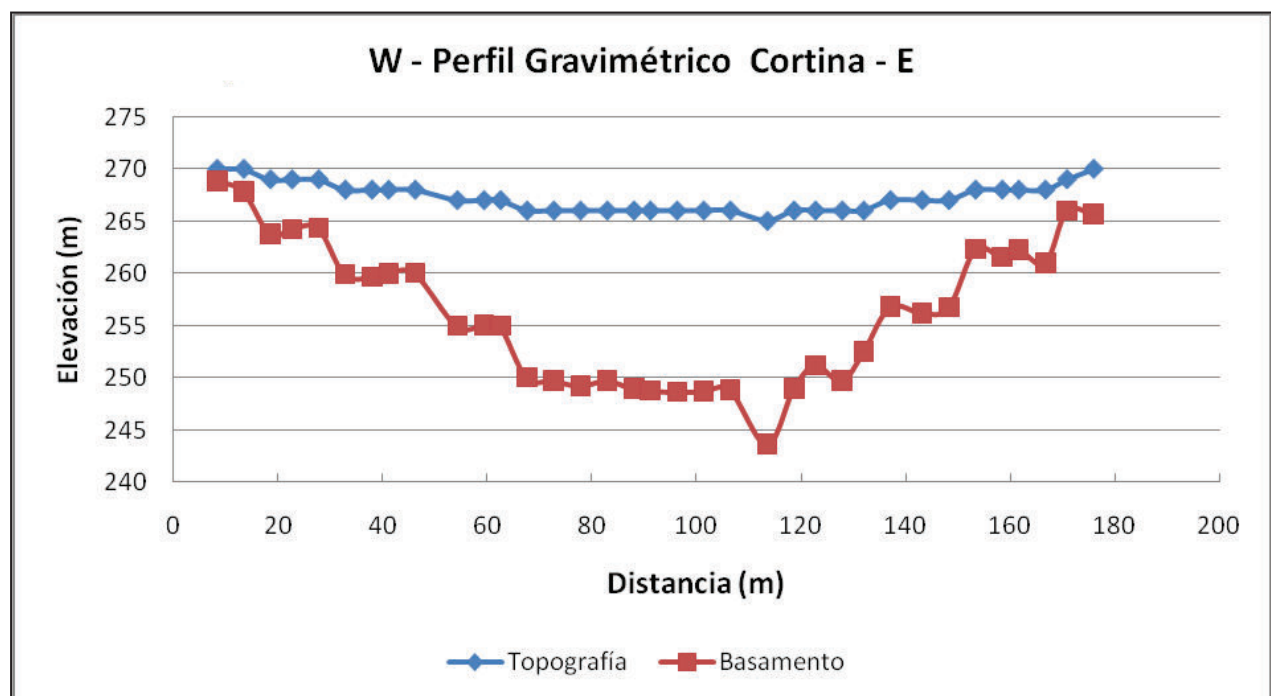


Figura 19. Perfil gravimétrico *Cortina*

## Perfil *El Bacerán*

Longitud de Perfil: 241 m

Distancia entre estaciones: 15 m

No. de Estaciones: 17

Orientación: Poniente – Oriente (W – E)

Profundidad mínima a Basamento: 2.28 m (a los 225.5 m)

Profundidad máxima a Basamento: 11.04 m (a los 89.23 m)

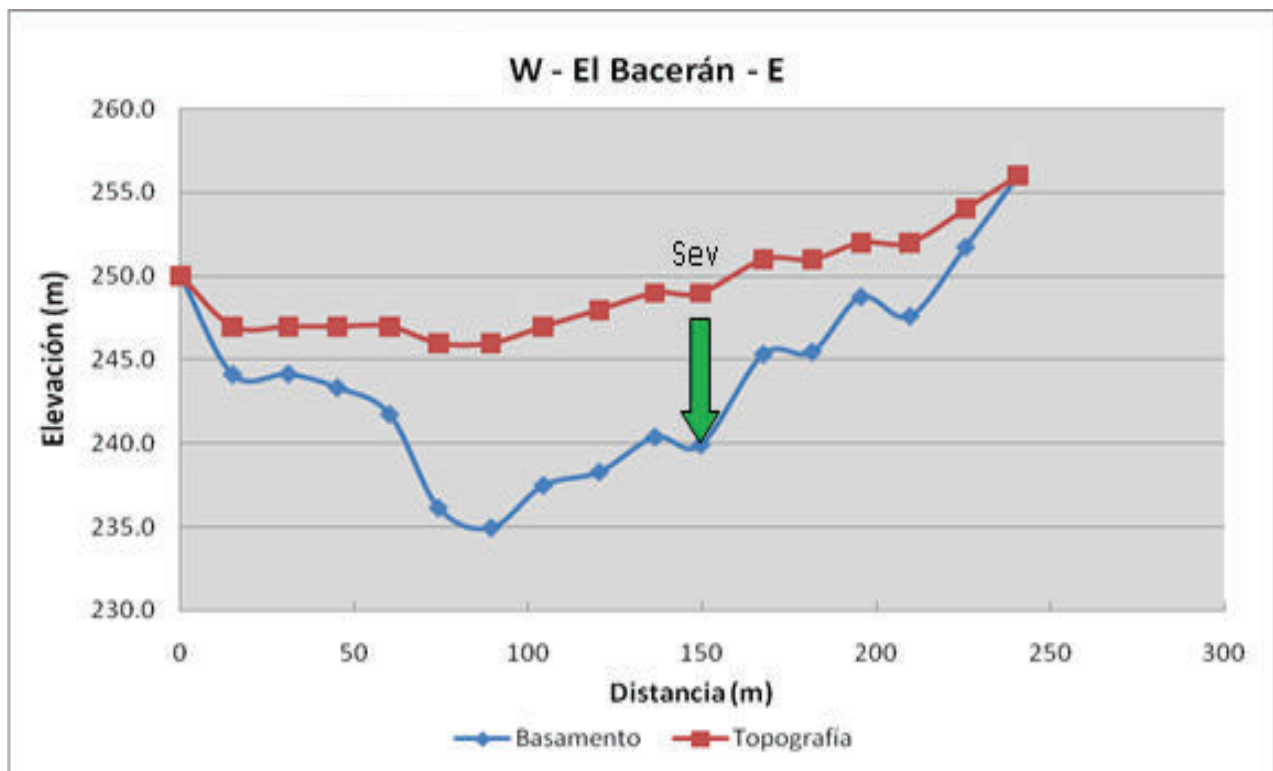


Figura 20. Perfil gravimétrico *El Bacerán*

## Perfil *El Tunal*

Longitud de Perfil: 478 m.

Distancia entre estaciones: 20 a 30 m

No. de Estaciones: 20

Orientación: Poniente – Oriente (W – E)

Profundidad mínima a Basamento: 2.37 m (a los 0.0 - 478 m)

Profundidad máxima a Basamento: 28.5 m (a los 327 m)

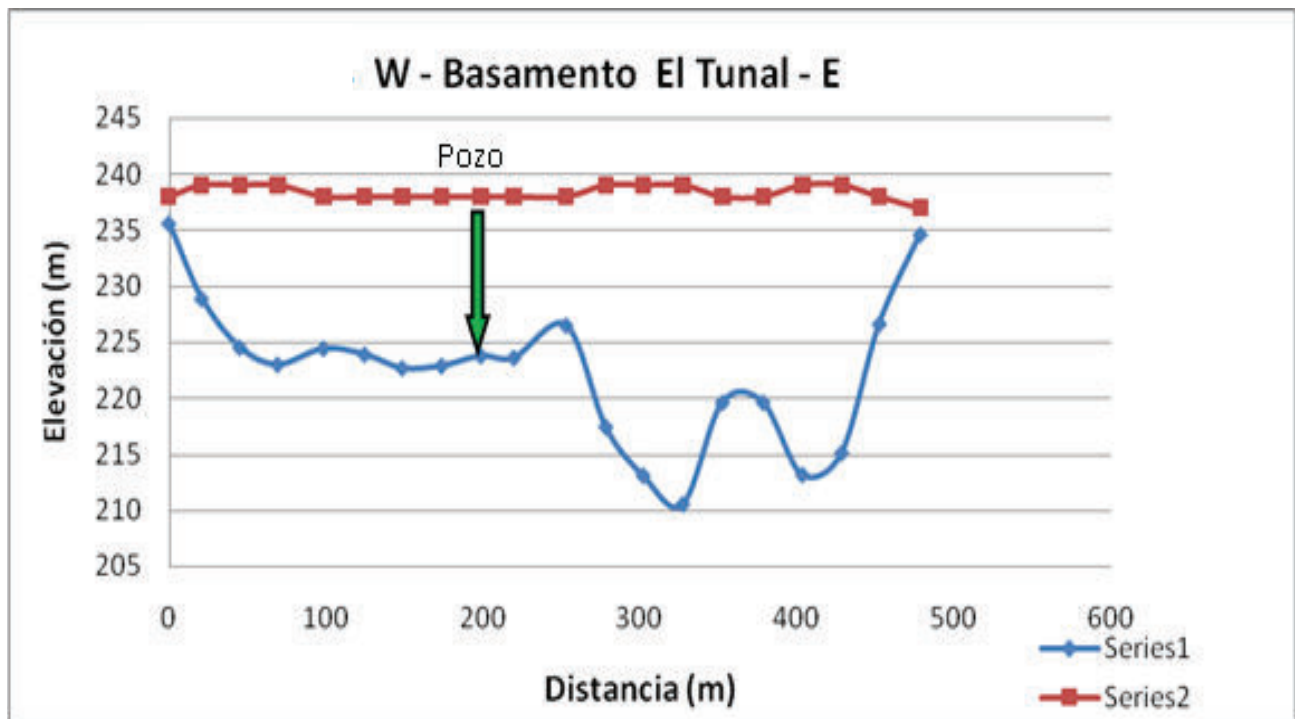


Figura 21. Perfil gravimétrico *El Tunal*

### Perfil Pozo Agua Potable

Longitud de Perfil: 528 m

Distancia entre estaciones: 20 a 30 m

No. de Estaciones: 21

Orientación: Poniente – Oriente (W – E)

Profundidad mínima a Basamento: 0.0 m (a los 527 m)

Profundidad máxima a Basamento: 29.0 m (a los 108 m)

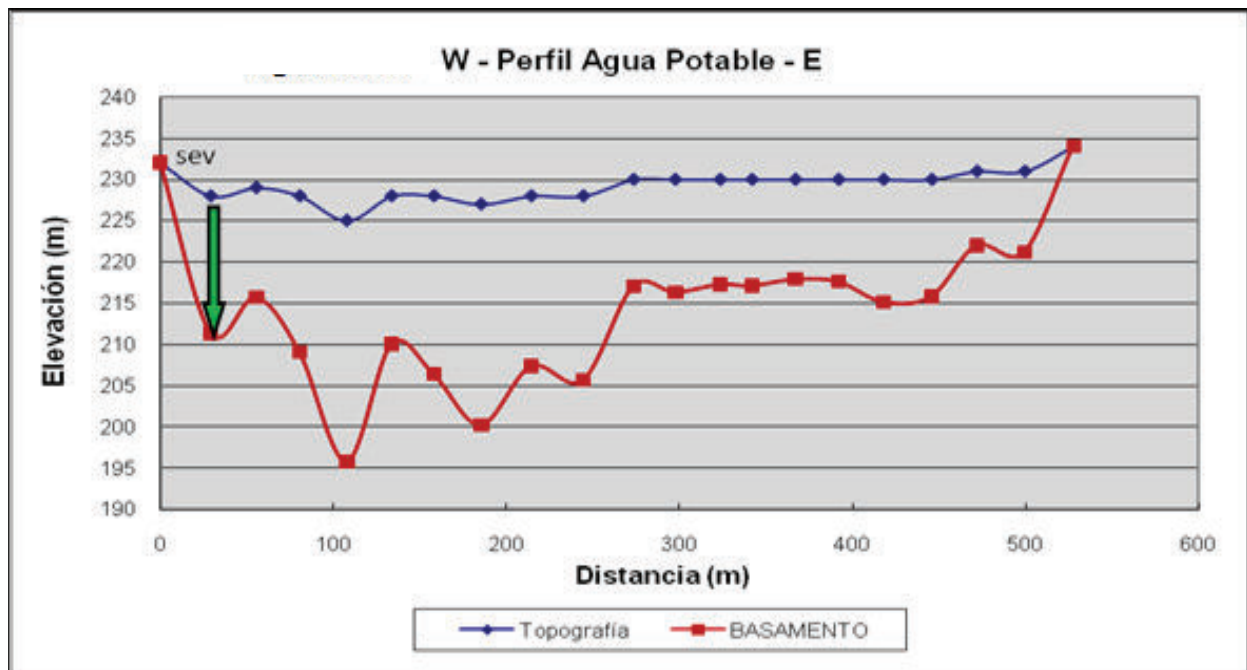


Figura 22. Perfil gravimétrico Pozo Agua Potable

## Perfil *El Callejón*

Longitud de Perfil: 557 m

Distancia entre estaciones: 25 m

No. de Estaciones: 22

Orientación: Poniente – Oriente (W – E)

Profundidad mínima a Basamento: 0.0 m (a los 0.0 m)

Profundidad máxima a Basamento: 7.3 m (a los 176 m)

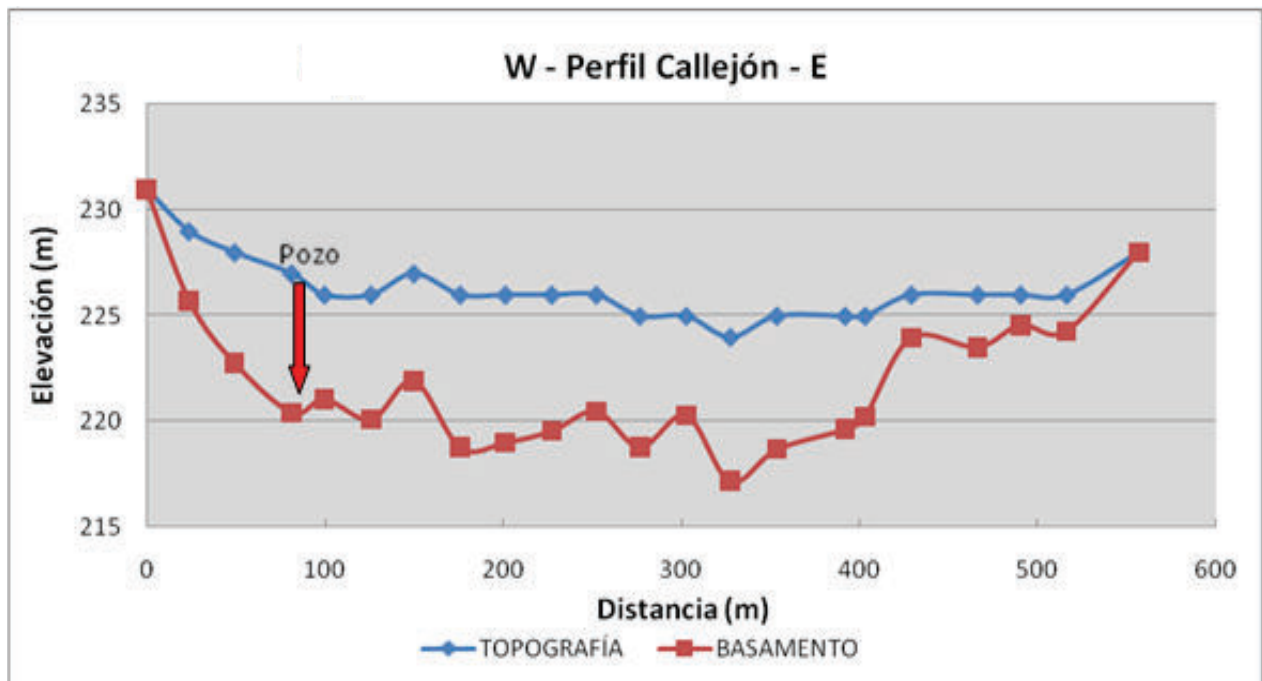


Figura 23. Perfil gravimétrico *El Callejón*



## Perfil Longitudinal *La Cortina – Suaqui Grande*

Longitud de Perfil: 9,023 m

Distancia entre estaciones: 100 a 150 m

No. de Estaciones: 73

Orientación: Norte – Sur (N – S)

Profundidad mínima a Basamento: 4.5 m (a los 0.0 m)

Profundidad máxima a Basamento: 30.45 m (a los 2,787 m)

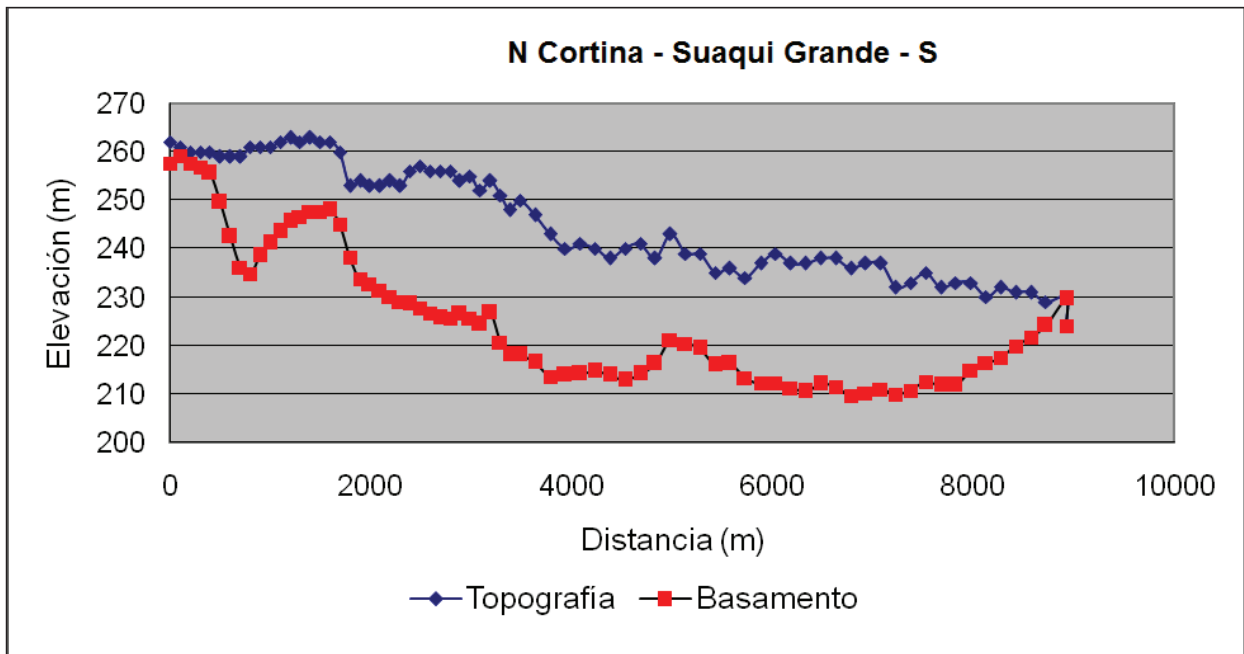


Figura 24. Perfil longitudinal *La Cortina - Suaqui Grande*

## W - Perfil Cortina - E

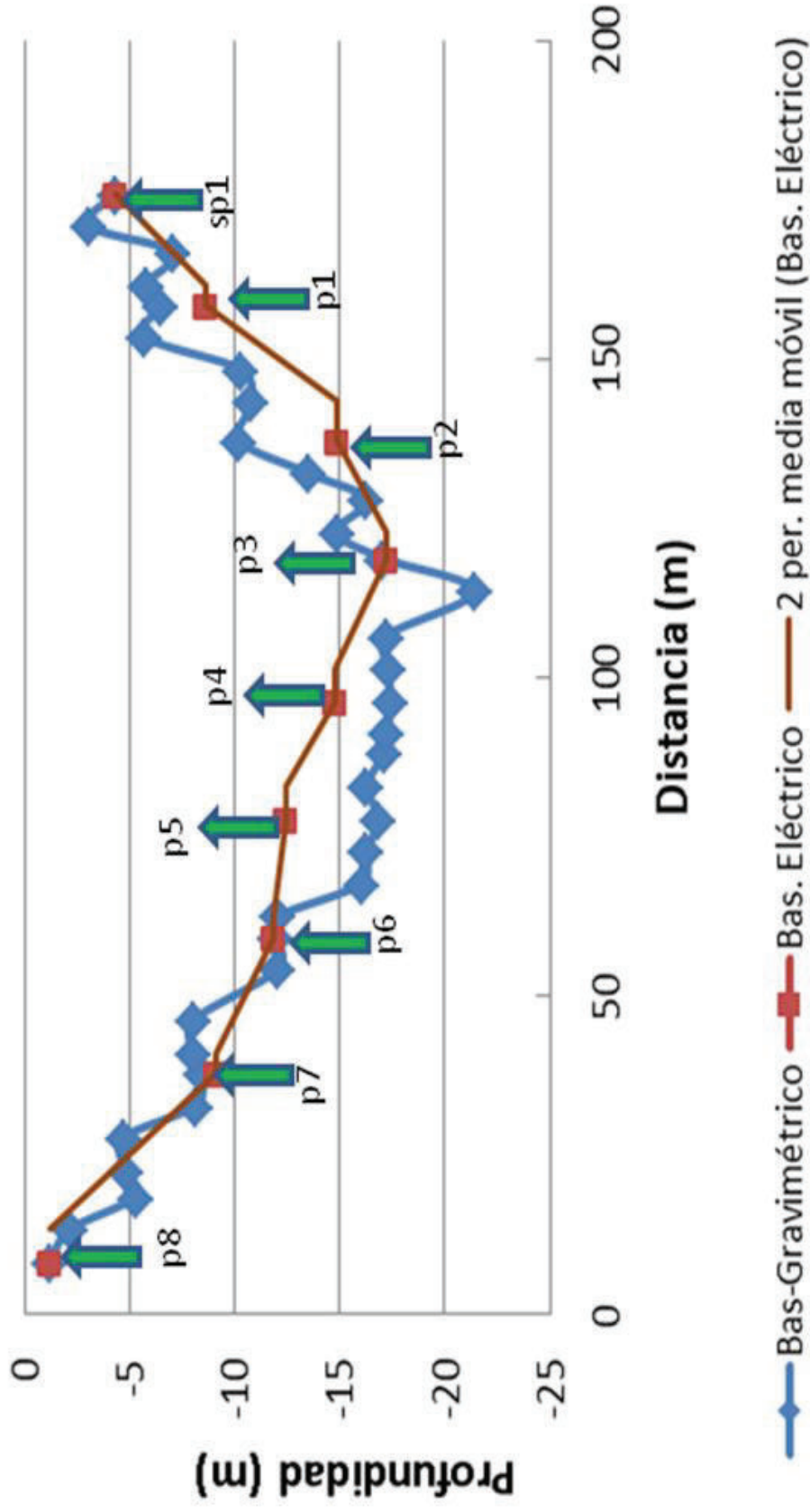


Figura 25. Perfil integrado Resistividad- Gravimetría de *La Cortina - Suaqui Grande*. La finalidad de este perfil es mostrar la correlación estrecha que se observa entre los datos arrojados por la Gravimetría y la Resistividad en el sitio donde se pretende desplantar la posible cortina de una presa. Las discrepancias que se observan se deben básicamente a la ausencia de un control topográfico estricto principalmente en el control de la elevación el cual, es fundamental en los levantamientos gravimétricos al momento de llevar a cabo la reducción de los datos.

## VI. Conclusiones

### VI.1. Trabajo

- Desde el punto de vista geológico, el registro cronoestratigráfico que cubre las rocas aflorantes en la región de estudio comprende desde Triásico al Reciente.
- A nivel local (sitio de La Cortina al poblado de Suaqui) los afloramientos corresponden a la presencia de sedimentos aluviales que conforman el cauce del Río Tecoripa constituidos por arenas, gravas, boleos y arcillas variando ampliamente su distribución superficial y en el subsuelo.
- El Basamento está representado por la Formación Báucarit compuesta por conglomerados polimícticos de fragmentos angulosos a subangulosos de todas las rocas preexistentes: intrusivas, volcánicas, areniscas y pedernal. Tiende a formar mesetas alargadas con una orientación NNW. Cubre discordantemente a rocas del Grupo Barranca, Formación Tarahumara y rocas volcánicas. Los afloramientos de esta unidad son extensos, observándose a todo lo largo de ambos márgenes del Río Tecoripa-Suaqui Grande en los sitios analizados. Desde el punto de vista geohidrológico es una unidad pobre como lo demuestran los pozos perforados profundos que la cortan.
- Geohidrológicamente, la unidad aluvial es la que reviste importancia donde los espesores superan al menos los 10 metros.
- Se levantaron un total de 30 Sondeos eléctricos verticales y 6 perfiles de Gravimetría integrados por 190 estaciones.
- La interpretación conjunta indica que las unidades geohidrológicas que conforman el subsuelo de los sitios analizados están representadas por:
  - Unidad aluvial sin saturación (Zona vadosa).
  - Unidad aluvial saturada (Zona saturada).
  - Unidad basal o basamento.
- Los reducidos espesores del relleno aluvial indican una pobre fuente de retención de los escurrimientos, por lo cual, es necesario realizar obras que permitan reducir la velocidad del agua propiciando una mayor infiltración al subsuelo.

## VI.2. Prácticas profesionales

Las prácticas profesionales fueron realizadas como parte de un proyecto llevado a cabo para una dependencia del gobierno del Estado de Sonora, el cual requería la participación conjunta de varias disciplinas científicas y técnicas del área de ciencias de la tierra con el fin de hacer una investigación hidrogeológica de amplio alcance en el acuífero de la cuenca del Río Tecoripa. Una de estas disciplinas auxiliares en el estudio mencionado fue la geofísica, a la cual se recurrió para tratar de hacer la caracterización del subsuelo a profundidades relativamente someras y delimitar el espesor del acuífero en ciertas zonas, así como también establecer la profundidad hasta el basamento en la zona en la cual estaba propuesta la construcción de una cortina, la cual serviría para la retención de agua.

Durante la realización de esta parte del proyecto se aplicaron los conocimientos adquiridos de manera teórica en el aula; en primera instancia se recurrió a la utilización de un sistema de información geográfica (Google Earth) para la planeación de la metodología a seguir en campo y conocer las características del lugar y así decidir los sitios más idóneos para llevar a cabo la implementación del método geofísico que se considerara conveniente; el trabajo de campo se trató de llevar a cabo de acuerdo a lo planeado anteriormente, sin embargo como suele suceder, no siempre suceden las cosas tal y como se planean en gabinete, ya que en ocasiones se tuvo que adaptar la metodología a seguir dependiendo de las condiciones presentes en el terreno, tal como la ruta a seguir en los perfiles gravimétricos o la longitud de los arreglos electródicos.

En resumen se cumplió con los objetivos generales, los cuales eran relacionar lo aprendido en clase con el trabajo en campo, obtener información acerca del acuífero mediante la utilización de métodos geofísicos, y comprobar que mediante el uso de estos métodos se puede obtener información que puede ser utilizada en distintas áreas de ciencias de la tierra o inclusive de otras tal como la ingeniería civil.

## VII. Bibliografía y Referencias

- [1] Alencaster G. 1961. Estratigrafía del Triásico superior de la parte central del estado de Sonora. Paleontología Mexicana 11 parte I, Instituto de Geología, UNAM. México.
- [2] Campos, R. 1998. Estudio Geológico y Gravimétrico de los Granitoides de la Antiforma de Cáceres: Aplicación a la Exploración de Yacimientos Minerales. Tesis doctoral. Departamento de Geodiámica, Universidad Complutense de Madrid. España.
- [3] CONAGUA. 2004. Comisión Nacional del Agua. Subgerencia Regional Técnica. Gerencia Estatal del Noroeste. Hermosillo, Sonora. México.
- [4] CONAGUA. 2013. Comisión Nacional del Agua. Clasificación Hidrológica Regional Noroeste, Comisión Estatal del Agua (CEA- Sonora).
- [5] Grant, F.S., West, G.F. 1965. Interpretation Theory in Applied Geophysics. McGraw-Hill Book Company.
- [6] INEGI. 2007. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Síntesis de Información Geográfica del Estado de Sonora: Aguascalientes, Ags., 88 p.
- [7] Jakosky, J.J. 1957. Exploration Geophysics. Trija Publishing Co.
- [8] King, R. E. 1939. Geological Reconnaissance in Northern Sierra Madre Occidental of Mexico. Geol. Soc. of Am. Bull. V. 50.
- [9] Miranda, S., Herrada, A., Pacino, Ma. C. 2013. Respuesta Instrumental del Gravímetro Scintrex Autograv CG-5 en Modos Continuo y Relevamiento. Geoacta vol. 38
- [10] Saris Scintrex. Manual de Operación.
- [11] Telford, W.M., L.P. Geldart, R.E. Sheriff, D.A. Keys. 1984. Applied Geophysics. Cambridge University Press.