



# **UNIVERSIDAD DE SONORA**

**División de Ciencias Exactas y Naturales**

**Departamento de Geología**

**CARACTERIZACIÓN GRAVIMÉTRICA DEL  
SUBSUELO EN EL ÁREA SAN PEDRO –  
MESA DEL SERI, MUNICIPIO DE  
HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.**

## **TESIS**

**Que para obtener el Grado de:  
Maestro en Ciencias-Geología.**



**PRESENTA:**

**FRANCISCO ROMERO PADILLA.**

**Hermosillo, Sonora, Marzo de 2006**

# 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



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA

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

TEL. (662) 259 21 10  
FAX 259 21 11

Febrero 02, 2006.

**DR. INOCENTE G. ESPINOZA MALDONADO**

Coordinador de Programa  
Maestría en Ciencias-Geología  
Departamento de Geología  
Universidad de Sonora  
P r e s e n t e

Por este conducto y de la manera más atenta, nos permitimos someter a su consideración, para su aprobación el siguiente tema de tesis, intitulado:

**“CARACTERIZACION GRAVIMETRICA DEL SUBSUELO EN EL  
AREA SAN PEDRO-MESA DEL SERI, MUNICIPIO DE  
HERMOSILLO, SONORA, MEXICO”**

Esto es con el fin de que el alumno: **FRANCISCO ROMERO  
PADILLA**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Grado de la Maestría en Ciencias-Geologia.

Sin otro en particular quedamos de Usted.

ATENTAMENTE

**M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA**  
Director de Tesis

**M.C. OSCAR MARIO ROMERO**  
Co-Director de Tesis



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
GEOLOGIA  
DEPTO. DE GEOLOGIA

C.c.p. Interesado  
C.c.p. Archivo



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA

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

TEL. (662) 259 21 10  
FAX 259 21 11

Febrero 06, 2006.

**M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA**

Director de Tesis

**M.C. OSCAR MARIO ROMERO**

Co-Director de Tesis

Departamento de Geología

Universidad de Sonora

Presente

Por este conducto le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por Usted, intitulado:

**“CARACTERIZACION GRAVIMETRICA DEL SUBSUELO EN EL  
AREA SAN PEDRO-MESA DEL SERI, MUNICIPIO DE  
HERMOSILLO, SONORA, MEXICO”**

Esto **FRANCISCO ROMERO PADILLA**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Grado. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes Sinodales:

**M.C. JOSE CASTILLO GURROLA**

**DR. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA**

**M.C. FRANCISCO J. GRIJALVA NORIEGA**

**M.C. OSCAR MARIO ROMERO**

**PRESIDENTE**

**SECRETARIO**

**VOCAL**

**VOCAL**

Sin otro en particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

  
**DR. INOCENTE G. ESPINOZA MALDONADO**

Coordinador de Programa  
Maestría en Ciencias-Geología



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
GEOLOGIA  
DEPTO. DE GEOLOGIA

C.c.p. Archivo





EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA

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

TEL. (662) 259 21 10  
FAX 259 21 11

**NOMBRE DE LA TESIS:**

**“CARACTERIZACION GRAVIMETRICA DEL SUBSUELO EN EL AREA  
SAN PEDRO-MESA DEL SERI, MUNICIPIO DE  
HERMOSILLO, SONORA, MEXICO”**

**NOMBRE DEL SUSTENTANTE:**

**FRANCISCO ROMERO PADILLA**

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

  
**M.C. JOSÉ CASTILLO GURROLA**

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

  
**DR. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA**

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

  
**M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA**

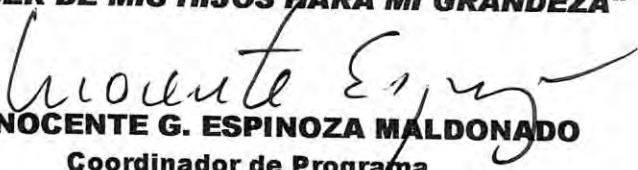
El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

  
**M.C. OSCAR MARIO ROMERO**



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
GEOLOGIA  
DEPTO. DE GEOLOGIA

**A T E N T A M E N T E**  
**“EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA”**

  
**DR. INOCENTE G. ESPINOZA MALDONADO**  
Coordinador de Programa  
Maestría en Ciencias-Geología

IGEM\*ag

## **DEDICATORIA:**

A mi esposa y compañera, Geól. **Ma. Luisa Hertha De La Parra Velasco** por su amor y apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado y dentro de mí en todo momento.

A mis hijos **Sergio Daniel, Maximiliano y el o la que viene**, que son la fuerza que me mantiene en la lucha y superación constante.

A mis padres, **Francisco Romero Castro y América Guadalupe Padilla Valenzuela**, por ser mis padres, por ponerme en este mundo y enseñarme siempre a tratar de hacer las cosas bien. Por todo su apoyo brindado SIEMPRE.

A mis hermanos **Alejandro, Luz América y Claudia**, por la felicidad y experiencias que me han brindado, he aprendido muchas cosas de ustedes.

A mis sobrinos **Fabio, German y Marcela**, los quiero mucho.

## **AGRADECIMIENTOS:**

Un sincero agradecimiento al geólogo **Mariano Morales Montaño** por su amistad y por todos los conocimientos y enseñanzas aportadas incondicionalmente, los cuales fueron la base para mi formación profesional y para el desarrollo de este trabajo.

Al M.C. **Francisco Javier Grijalva Noriega** por haberme guiado durante el desarrollo de este trabajo y por ser parte fundamental para concluir una etapa más en mi desarrollo académico.

Al M.C. **Oscar Mario Romero De La Cruz**, por su dedicación y empeño, y por los conocimientos aportados incondicionalmente dentro y fuera de clase. También por el desarrollo del software TALWANI 2D, y por su apoyo durante la etapa de campo.

Al Dr. **Rogelio Monreal Saavedra** y Dr. **José Castillo Gurrola**, por las enseñanzas aportadas en clase durante mi estancia en la maestría, y por su disponibilidad y colaboración como sinodales en mi trabajo final.

A los geólogos, colegas y compañeros **David Alejandro Realivazquez Tellechea**, **Marco Antonio Zamudio Vega**, **Luis Alberto López Jiménez** y **German Darío Figueroa Salguero** por su colaboración y gran apoyo brindado durante la etapa de campo.

A todos ustedes, sinceramente **GRACIAS**.



# ÍNDICE

CAPITULOS	PAGINA
RESUMEN	
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Localización.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3. Metodología. ....	3
II. GEOLOGÍA. ....	4
2.1 Marco Tectónico. ....	4
2.2 Geología superficial.....	6
2.3 Esquema geológico generalizado del área de estudio.....	10
III. GRAVIMETRÍA.....	11
3.1 Adquisición de datos.....	11
3.2 Reducción de datos.....	14
Corrección por Latitud (CL).....	15
Corrección por Elevación (CE).....	15
Corrección de Bouguer (CB).....	15
Corrección por Topografía (CT).....	16
Anomalía de Bouguer (AB).....	16
3.3 Separación Regional-Residual.....	17
3.4 Anomalía Residual.....	18
IV. RESULTADOS.....	19
4.1 Anomalía de Bouguer.....	19
4.1.1 Filtrado de Anomalía de Bouguer. ....	21
4.2 Anomalía Residual. ....	24
4.3 Profundidad de la cuenca. ....	25
4.4 Integración Geológico - Geofísica.. ....	27
V. CONCLUSIONES.....	31
RECOMENDACIONES.....	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37
ANEXO 1: BASES DE DATOS.....	40
ANEXO 2: PERFILES GRAVIMÉTRICOS.....	51
ANEXO 3: SONDEOS ELÉCTRICOS.....	60

## FIGURAS

	PAGINA
Localización del área de estudio. ....	3
Provincia fisiográfica del “Basin and Range” .....	5
Imagen de satélite que incluye el área de estudio.....	6
Geología del área de estudio.....	8
Esquema geológico generalizado de la configuración del basamento y relleno sedimentario.....	11
Equipo CG-3 SCINTREX utilizado en el levantamiento gravimétrico.....	11
Equipo GPS utilizado en los levantamientos.....	12
Localización de secciones y estaciones gravimétricas.....	13
Separación de los efectos regional y residual con el método de suavizado de perfiles.....	18
Plano de Anomalías de Bouguer.....	20
Plano de contornos obtenido a partir del filtrado en sentido W-E.....	23
Ejemplo de la grafica de profundidad calculada en el perfil ‘G’ .....	24
Mapa de contornos de anomalía residual.....	25
Plano de profundidades y localización de Sondeos Eléctricos Verticales que tocan basamento.....	26
Integración geológico –geofísica del perfil ‘A’ .....	28
Integración geológico –geofísica del perfil ‘F’ .....	29
Integración geológico –geofísica del perfil ‘N’ .....	
Configuración del basamento a partir de los valores de anomalía de Bouguer.....	31
Plano de dirección de gradiente obtenido a partir del filtrado de los valores de anomalía de Bouguer...	32
Estructuras identificadas en el plano de distribución de profundidades.....	33
Perfil N – S en el que se indica el alto gravimétrico que divide las fosas detectadas.....	34
Representación en 3D de las profundidades calculadas en el área de estudio.....	34



## RESUMEN

El área de estudio se localiza al Este de la Cd. de Hermosillo, Sonora, en el área comprendida entre las poblaciones de San Pedro y Mesa del Seri, cubriendo una superficie de 570 km<sup>2</sup>. Para el desarrollo de este trabajo gravimétrico, el esquema geológico generalizado esta constituido por: 1) la presencia de un basamento de composición principalmente granítica de densidad uniforme, y 2) una unidad de rocas sedimentarias no-consolidadas a semiconsolidadas, que sobreyacen discordantemente al basamento. Se realizaron mediciones gravimétricas con el fin de tener un conocimiento más acertado de las características del subsuelo, particularmente de la geometría y profundidad del basamento, así como del espesor del relleno sedimentario que descansa sobre dicho basamento. Se levantaron un total de 297 estaciones gravimétricas, distribuidas a lo largo de 16 perfiles cuya orientación es preferentemente Oeste-Este, iniciando cada uno de ellos en la Sierra del Bachoco y finalizando en la Sierra de Los Leyva. La longitud de las secciones es en promedio de 18 a 20 Km., con espaciamiento medio entre estaciones de 1 Km.

A los valores de gravedad observada obtenidos en campo se les aplicó la corrección por latitud, elevación, Bouguer y topográfica, con lo que se obtuvo la anomalía de Bouguer. Estos valores oscilan entre -24.240 y 1.158 mGals; las máximas se manifiestan en donde aflora el basamento de la cuenca, mientras que las mínimas en la parte central del valle. El filtrado digital de dirección de gradiente llevado a cabo para los valores de esta anomalía, permitió interpretar claramente la presencia de dos estructuras sepultadas con orientación N-S, las cuales están delimitando un graben asimétrico en la zona central del área de estudio.

El cálculo de la profundidad de la cuenca se realizó por medio de la losa de Bouguer después de la separación *Regional – Residual*, obteniéndose máximas de 1156 m con valores de anomalía de -24 mGals, lo que resultó una relación de 48 m de profundidad por mGal, en la zona central del valle. Dentro de este graben fueron identificadas dos grandes fosas separadas por un alto gravimétrico, en las cuales el espesor de sedimentos alcanza los máximos de 1156 y 1144 metros respectivamente. Estructuralmente, la configuración del plano de profundidades sugiere la presencia de una serie de estructuras sepultadas con orientación preferencial NE-SW y N-S.

## I. INTRODUCCION

El área de estudio queda comprendida dentro de la parte sur de la Provincia Fisiográfica del “Basin and Range”, la cual se extiende desde el suroeste de Estados Unidos, hasta la porción centro occidental de México. La característica morfológica principal de esta provincia es el desarrollo de sierras alargadas y valles angostos, orientados preferentemente norte-sur, los cuales son generados a partir de la tectónica distensiva desarrollada durante el Cenozoico y que dio origen a la morfología actual.

En Sonora, generalmente estos valles representan cuencas intermontanas en distensión que son muy atractivas desde diferentes puntos de vista; son contenedoras de yacimientos minerales, representan zonas acuíferas que sustentan el desarrollo de regiones serranas; y además, contienen una gran cantidad de información geológica para conocer con certidumbre la historia geológica de la región. Sin embargo, son los elementos geológicos que menos se han estudiado, ya que en muchos de los casos, lo más elemental de estas cuencas como lo es su profundidad y geometría, no se conoce.

Para el estudio de cuencas sedimentarias continentales cenozoicas, como el caso de las cuencas tipo “Basin and Range”, el método gravimétrico de prospección arroja excelentes resultados en cuanto a la configuración del basamento o condiciones al límite, y con ello, en el espesor del relleno sedimentario que se depositó dentro de ésta. En este caso, el contraste de densidad tan marcado entre el relleno sedimentario y el basamento de la cuenca, es el elemento principal que determina esta condición.

Para Sonora son muy escasos los estudios gravimétricos que se han efectuado en los valles cenozoicos y que han sido publicados. Jacques-Ayala y colaboradores (2003), muestran sus resultados en el valle del Río Los Alisos en las inmediaciones de la ciudad de Nogales en Sonora. Coronado-Peralta (2003), realizó una serie de secciones gravimétricas en la porción urbana de Hermosillo, determinando diferentes profundidades y estructuras en el subsuelo. Es importante mencionar que los últimos 5 años, el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora ha efectuado una serie de estudios hidrogeológicos donde se incluyen análisis gravimétricos, sin embargo, éstos se encuentran dentro de informes técnicos que se presentan



ante CONAGUA, CEA y AGUAHH, y no puede ser aún utilizada para realizar trabajos regionales.

El método gravimétrico de prospección se basa en las variaciones espaciales de la gravedad en la superficie terrestre, causadas por las diferencias de densidad de las masas de roca. El procedimiento consiste en medir el valor de la gravedad, aplicando a los valores observados, cierto número de correcciones para eliminar la influencia de otros cuerpos celestes, efectos superficiales y forma de la tierra, con el objeto de obtener las anomalías cuyo origen se deba únicamente a variaciones de densidad en el subsuelo, en este caso, la anomalía de Bouguer.

### 1.1 Localización del área de estudio.

El área de estudio representa la porción del valle donde confluyen los ríos Sonora y San Miguel, que se localiza dentro del estado de Sonora, México, al Este de la Cd. de Hermosillo. Está enmarcada por las coordenadas UTM 3, 210,600 – 3, 233,000 N y 502,500 – 528,000 E y cubre una superficie de 570 km<sup>2</sup>.

Se encuentra limitada al Oeste por la Sierra del Bachoco, y por la Sierra de Los Leyva en el extremo Este. En la porción Sur su límite lo representa la carretera que conduce a Mazatán; mientras que al Norte se tomo como límite la coordenada 3,233,000, donde en su extremo oriental, se tienen los afloramientos litológicos del cerro El Molinito (Figura I.1).



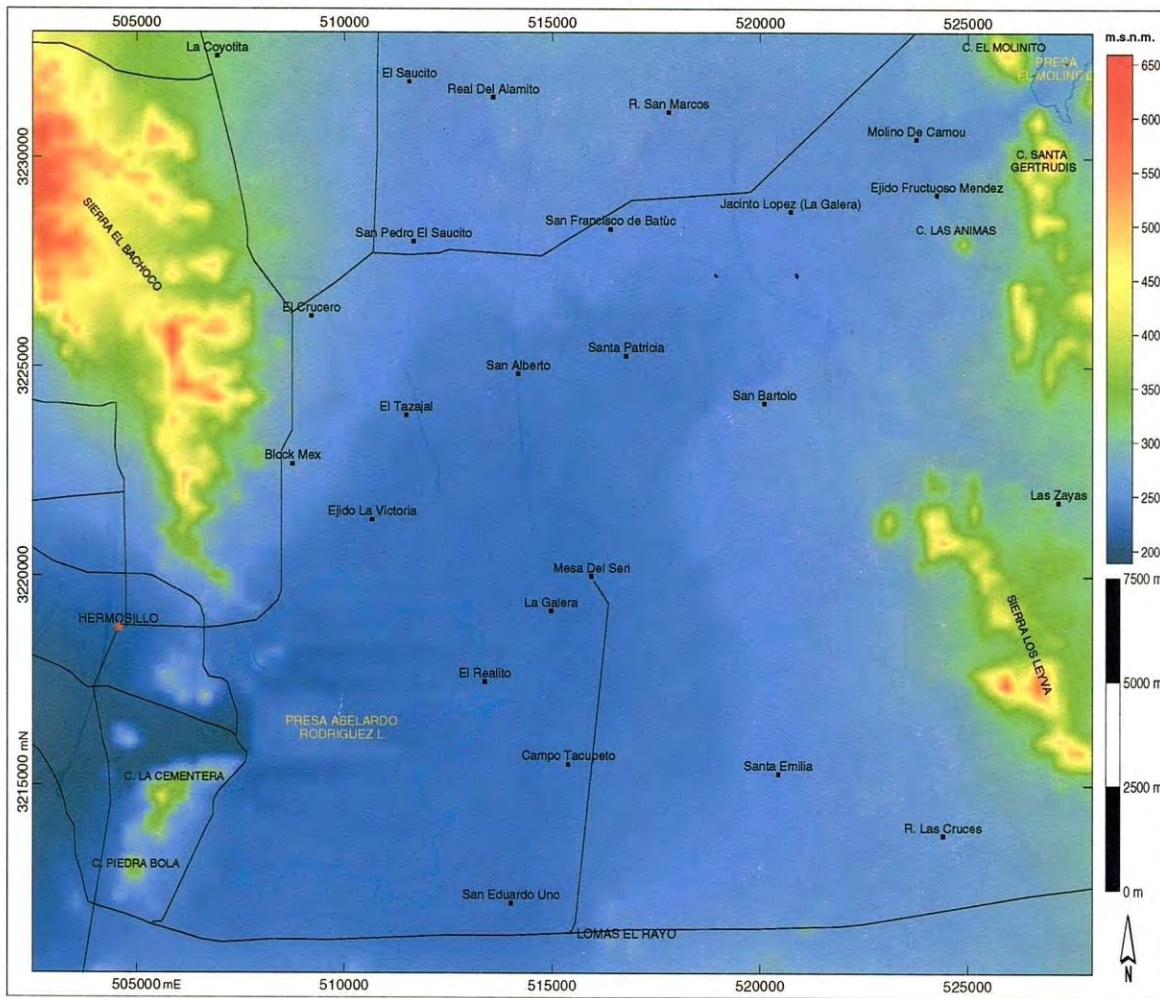


Figura I.1.- Localización del área de estudio.

## 1.2 Objetivo:

El presente trabajo tiene como objetivo principal:

Definir la geometría y la profundidad del basamento en el área de estudio mediante la aplicación del modelado gravimétrico, integrando información geológica y geofísica para definir el espesor del relleno sedimentario.

## I.3. Metodología

Dentro del área de estudio se realizaron mediciones gravimétricas con el fin de tener un conocimiento más acertado de las características del subsuelo, particularmente de la geometría y profundidad del basamento en el cual descansa su relleno sedimentario.



Primeramente se analizaron las fotografías aéreas y la imagen de satélite que abarca el área de estudio, con el fin de determinar un plano geológico base sobre el se trabajó posteriormente. A partir de este plano a una escala 1:50,000, se procedió a determinar las características logísticas del área y programar una red para el levantamiento de las secciones gravimétricas.

En total se levantaron 297 estaciones gravimétricas con un gravímetro CG-3 marca Scintrex, distribuidas a lo largo de 16 perfiles (ANEXO 1 y Figura III.3). La orientación de los perfiles es preferentemente Oeste-Este, iniciando cada uno de ellos en la Sierra del Bachoco y terminando en la Sierra de Los Leyva. La longitud de las secciones es en promedio de 18 a 20 Km., con espaciamiento medio entre estaciones de 1 Km. En sentido Norte-Sur, el espaciamiento entre las secciones varía de 1 a 2 Km.

Los datos obtenidos fueron procesados para aplicarle las diferentes correcciones y obtener con ello la anomalía de Bouguer. Con las estaciones levantadas se generó una malla de 76 renglones y 100 columnas, en la cual se interpolaron los valores de anomalía de Bouguer obtenidos a partir de las correcciones correspondientes a cada estación dentro del software Surfer 8. Así mismo, se obtuvo un plano de anomalías residuales, con las cuales se calculó la profundidad del basamento en el área de estudio.

Una vez obtenido estos resultados, se integró a la información geológica para definir las características del subsuelo en el área estudiada, llegando con ello a obtener la caracterización gravimétrica del subsuelo del área de estudio.

## **II. GEOLOGIA.**

### **2.1 Marco Tectónico.**

El área de estudio queda comprendida dentro de la parte sur de la Provincia Fisiográfica del Basin and Range, la cual se extiende desde el suroeste de Estados Unidos, hasta la porción centro occidental de México (Figura II.1). La distensión del “Basin and Range” se da lugar aproximadamente a los 25 millones de años al momento de iniciar la



subducción de la dorsal del Pacífico. La característica morfológica principal de esta provincia es el desarrollo de sierras alargadas y valles angostos orientados preferentemente norte-sur.

En el estado de Sonora, el evento tectónico distensivo del “Basin and Range” ha sido dividido en dos fases (Grijalva-Noriega, 2002):

a) La fase temprana (SC-I) desarrollada durante el Oligoceno Tardío - Mioceno Medio, denominada como ‘Pre Basin and Range’ y caracterizada por: a) un fallamiento normal de alto ángulo ( $60^\circ - 80^\circ$ ) con dirección predominante  $N 70^\circ W$  (Roldan-Quintana, 1996), b) el desarrollo de



Figura II.1. Provincia fisiográfica del Basin and Range.

cuencas en distensión del tipo graben y semigraben, cuya sedimentación se lleva a cabo dentro de ambientes fluviales y de abanico aluvial (Stewart y Roldan-Quintana, 1994), y c) la presencia de vulcanismo intermedio a máfico intercalado con el relleno sedimentario (Formación Báucarit).

b) La fase tardía (SC-II) inicia en el Mioceno Tardío y se extiende hasta el Reciente, correspondiendo propiamente al evento Basin and Range, con características estructurales similares a la SC-I, pero diferenciada de ella por una rotación de  $10^\circ$  en la orientación de las fallas ( $N 80^\circ W$ ), un mayor espaciamiento entre las fallas normales de ángulo alto que se generan (Stewart y Roldan-Quintana, 1994) y una sedimentación continental discordante sobre la SC-I, desarrollada en sistemas fluviales (Grijalva-Noriega, 2002).



## 2.2 Geología superficial.

La carta Geológico-Minera H12-8 editada por el Consejo de Recursos Minerales (COREMI, 2004), sirvió como base para la definición de la geología superficial del área de estudio; sin embargo, con el objeto de hacer resaltar rasgos geológicos importantes que en la escala original no son apreciables, se modificó su esquema. Para ello, fue necesario combinar dicha información, con aquella recabada en campo y la generada a partir del análisis de la imagen de satélite (Fig. II.2), con lo que se obtuvo el mapa geológico base para el desarrollo de este trabajo (Figura II.3).

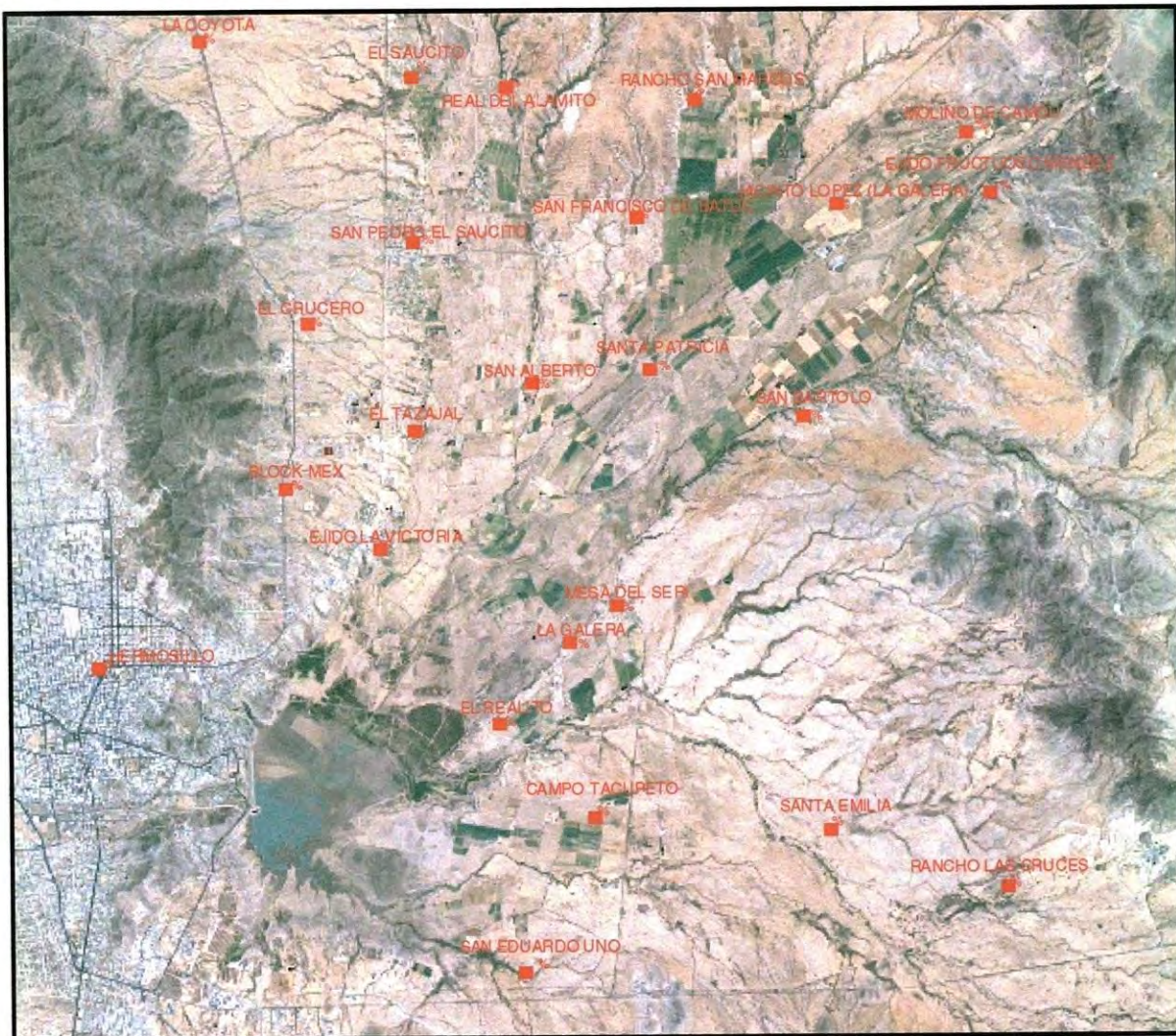


Figura II.2.- Imagen de satélite que incluye el área de estudio

La unidad más antigua (**P Cz-Ar**) corresponde a una secuencia de rocas prebatolíticas, constituida por una intercalación de caliza y arenisca, que corresponden a depósitos de



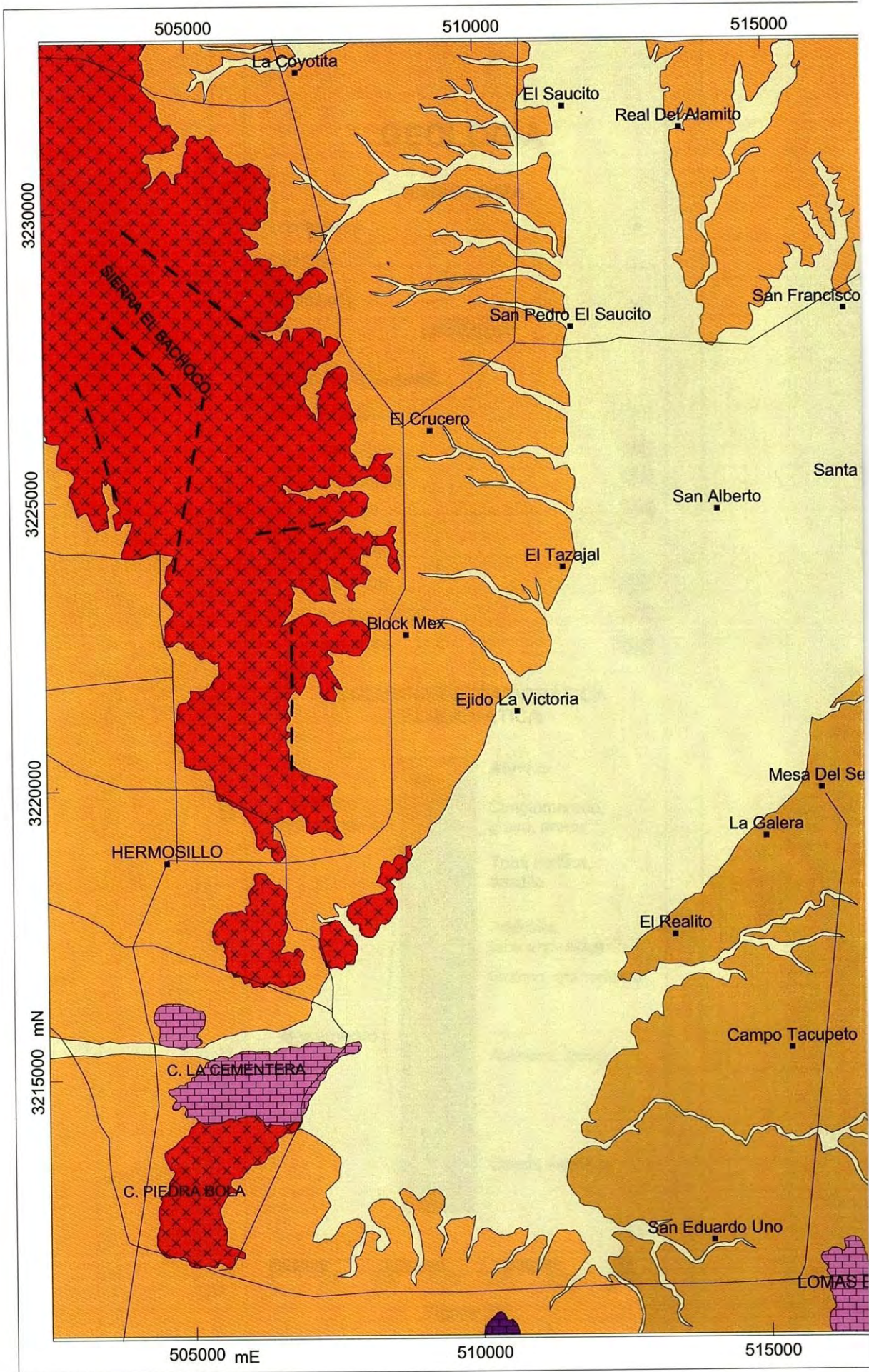
ambiente de plataforma somera, correspondiente al Paleozoico Inferior (COREMI, 2002). Ésta se encuentra intrusionada por las rocas del Cretácico Superior (**Ks Tpa Gr-Gd**). Sus afloramientos más importantes se localizan en la Sierra de Los Leyva, al sureste del área, en las cercanías de la presa El Molinito y en menor proporción, en los cerros de la Cementera, Campana y Loma El Rayo.

En el límite Sur del área se presenta un pequeño afloramiento de una secuencia de rocas constituida por caliza, limonita, microconglomerado, arenisca y cuarcita desarrolladas en un ambiente de plataforma (**TRm Ar-Cz**). Rodríguez-Castañeda (1981) encontró pelecípodos a los que se les determinó una edad del Triásico Medio – Tardío. Al igual que las rocas del Paleozoico Inferior, esta secuencia es afectada por las rocas intrusivas del Cretácico Superior.

Las rocas del Cretácico Superior (**Ks Tpa Gr-Gd**) están constituidas por un granito porfídico de biotita, granodiorita y cuarzomonzonita, afectadas por fallas normales y fracturas, e intrusionadas por abundantes diques de composición aplítica, andesítica (COREMI, 2002) y lamprofídica (Orozco, 2002). Dicha unidad representa un arco magmático construido en un margen continental activo asociado a la subducción de la placa Farallón debajo de la placa Norte América durante el Cretácico Tardío – Eoceno (McDowell y Clabaugh, 1979). Esta actividad magmática continuó al menos hasta el Eoceno como intrusiones calci-alcalinias, y fueron agrupadas en la unidad Ensemble Intrusivo El Jaralito por Grijalva-Noriega y Roldan-Quintana (1998).

Las características principales de estos plutones es un rango en su composición litológica muy amplio, el cual va de granito a diorita (Roldan-Quintana, 1991). En edad, éstas cubren un intervalo de 50 a 90 millones de años y son equivalentes al batolito Laramídico Sonorense del Cenozoico, definido por Damon y colaboradores (1983) y al Ensemble Intrusivo El Jaralito de Grijalva-Noriega y Roldan-Quintana (1998). En algunas localidades cercanas a la ciudad de Hermosillo, estas rocas han sido datadas con una edad de 64 millones de años por el método de K/Ar (Damon et al., 1983). Los afloramientos principales de estos intrusivos se tienen en el límite Oeste del área de estudio, en la sierra del Bachoco y cerro de la Piedra Bola, y en el límite Este, a la altura del Ejido San Juan.











Hacia la porción noreste del área, en las inmediaciones del Ejido Molino de Camóu, se exponen afloramientos pequeños de rocas volcánicas del Cretácico Superior y del Mioceno – Pleistoceno. Las primeras corresponden a una secuencia de andesita, toba lítica, toba de cristale y toba soldada (**Kse A-TA**). Estas rocas se asocian a los intrusivos del Cretácico Superior, los cuales fueron emplazados en un cinturón a lo largo de la costa y la parte central de Sonora (Grijalva–Noriega y Roldan–Quintana, 1998).

Dichas rocas corresponden al emplazamiento de rocas volcánicas y asociaciones volcanoclásticas descritas como las formaciones Tarahumara (McDowell et al., 1994), El Tuli (Martínez-García y Soots-López, 1994) y Papigochi (Grijalva-Noriega, 1995). Según Grijalva–Noriega y Roldan–Quintana, (1998), dichas rocas están espacialmente asociadas al ensamble Intrusivo El Jaralito y las integran dentro del Grupo Nacozári.

Las rocas volcánicas más jóvenes (Mioceno – Pleistoceno, **Tm TR-B**), están constituidas por derrames de composición riolítica, cubiertas por un volcanismo básico de naturaleza toleítica de edad Terciario Tardío en algunos sitios (Cochemé, J.J., 1981). En la mayoría de los casos, estas rocas descansan discordantemente sobre granitos y/o andesitas. Ortega et al (1992) asocia este vulcanismo con cuencas tensionales y transtensionales, producto de la actividad tectónica que da origen a la formación del Golfo de California, o a la migración hacia el sur del fracturamiento “Basin and Range”. Estos autores asignan edades de 14 a 18 Millones de años para esta secuencia.

El Cuaternario esta representado por secuencias que corresponden a depósitos aluviales desarrolladas durante el Pleistoceno (**Qpt Cgp**). Su granulometría y composición varían de acuerdo a la posición geográfica de la roca madre y al ambiente sedimentario donde fueron depositados. Se presentan en franjas de pie de monte que bordean las sierras circundantes.

En las planicies aluviales dichos depósitos se desarrollan en forma de terrazas aluviales, las cuales están constituidas por materiales como gravas, representadas por cantos, guijarros y clastos de composición variable. Dichos sedimentos están sobreyacidos por

sedimentos del Reciente (**Q hoal**) como arcilla, limo, arena y grava de grano fino a grueso, en lo que corresponde a la planicie de inundación de los afluentes principales.

### 2.3 Esquema geológico generalizado del área de estudio.

Para fines de la interpretación gravimétrica, el esquema general de la cuenca de estudio esta constituido por dos elementos principales (Figura II. 4), los cuales a su vez, integran cada una de las unidades geológicas descritas anteriormente, agrupándose las unidades constituidas por materiales consolidados en una sola unidad (Basamento), y las unidades de materiales no-consolidados a semiconsolidados en otra (Relleno Sedimentario):

- 1) El Basamento, representado por un granito porfídico de biotita, granodiorita y cuarzomonzonita (**Ks Tpa Gr-Gd**), caliza y arenisca intercaladas (**P Cz-Ar**), caliza, limonita, microconglomerado, arenisca y cuarcita (**TRm Ar-Cz**) y derrames pequeños de rocas volcánicas del Cretácico Superior y del Mioceno–Pleistoceno (**Kse A-TA** y **Tm TR-B**). Dicho basamento se considera de densidad uniforme ( $2.67 \text{ gr/cm}^3$ ), y aflora al Oeste del área en la Sierra EL Bachoco, cerros Cementera y Piedra Bola, mientras que al Este, en los cerros El Molinito, Santa Gertrudis, Las Animas y Sierra Los Leyva. Al sur se identifican dos afloramientos locales, el primero en las Lomas El Rayo, y el segundo en la estrada al rancho Las Cruces.
- 2) Relleno Sedimentario, constituido por depósitos aluviales (**Qpt Cgp**) y sedimentos del reciente (**Q hoal**), como arcilla, limo, arena y grava de grano fino a grueso cuya densidad promedio se considera de  $2.2 \text{ gr/cm}^3$ . Dichos materiales se distribuyen en franjas de pie de monte que bordean las sierras circundantes y en las planicies aluviales. Es importante mencionar que dentro del relleno sedimentario se considera las rocas semi-consolidadas y consolidadas que determinan la unidad Conglomerado Báucarit



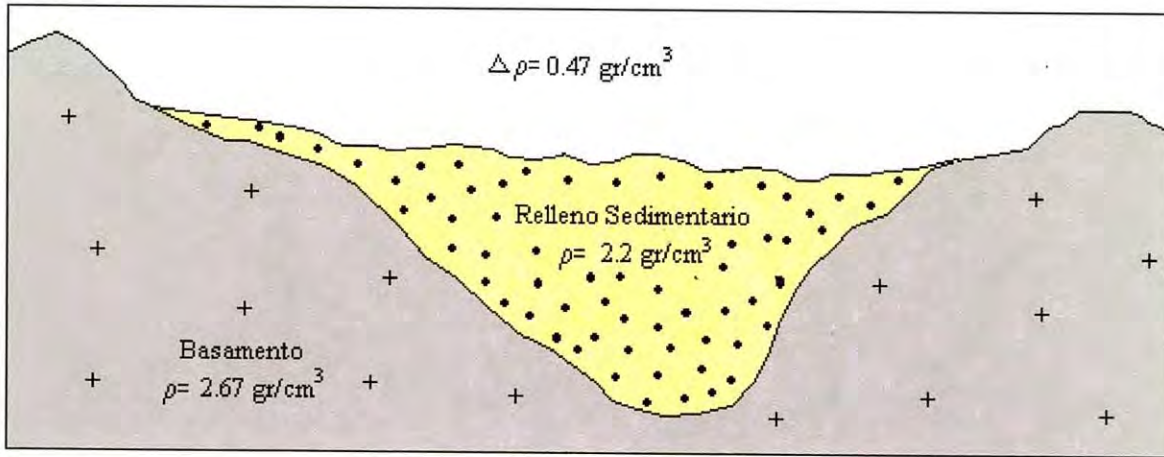


Figura II.4.- Esquema geológico generalizado de la configuración del basamento y relleno sedimentario.

### III. GRAVIMETRIA.

#### 3.1 Adquisición de datos.

Previo a las mediciones gravimétricas, se revisó la carta topográfica escala 1:50,000 H12-D41 Hermosillo, con el fin de verificar las rutas posibles para el trazo de las secciones. Posteriormente se realizó un recorrido de reconocimiento en el área, para evaluar e identificar las condiciones del lugar y las rutas de acceso posibles, para definir la ubicación de los perfiles de manera que la distribución de las estaciones quedara lo más uniformemente posible.

Las lecturas de los valores relativos de gravedad en cada estación se realizaron con un Gravímetro Scintrex AUTOGRAV CG-3 (Figura III.1), completamente automatizado, con resolución de 5 microGals, desviación Standard < 10 microGals y rango de operación de 8000 miligals (mGals). Se tomaron 3 lecturas en cada una de las estaciones y se utilizó un promedio de dichas lecturas para llevar a cabo el análisis gravimétrico.



Figura III.1.- Equipo CG-3 SCINTREX utilizado en el levantamiento gravimétrico.

Con el propósito de tener un control lo más exacto posible de la localización de las estaciones, su ubicación geográfica se efectuó en tiempo real y modo estático, utilizando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de alta precisión marca Trimble, el cual cuenta con 2 antenas modelo 4600 LS de 1 frecuencia (Figura III.2). El error típico en la medida de la longitud, latitud y elevación de este sistema, es del orden de milímetros. Los datos obtenidos se ‘estandarizaron’ con la estación fija de referencia satelital PGPS, ubicada en Hermosillo, Sonora y ligada a la Red Geodésica Nacional Activa de INEGI, procesándolos en el software del equipo. Se trabajó con el sistema de coordenadas UTM, datum ITRF y modelo geoidal MEXICO97.

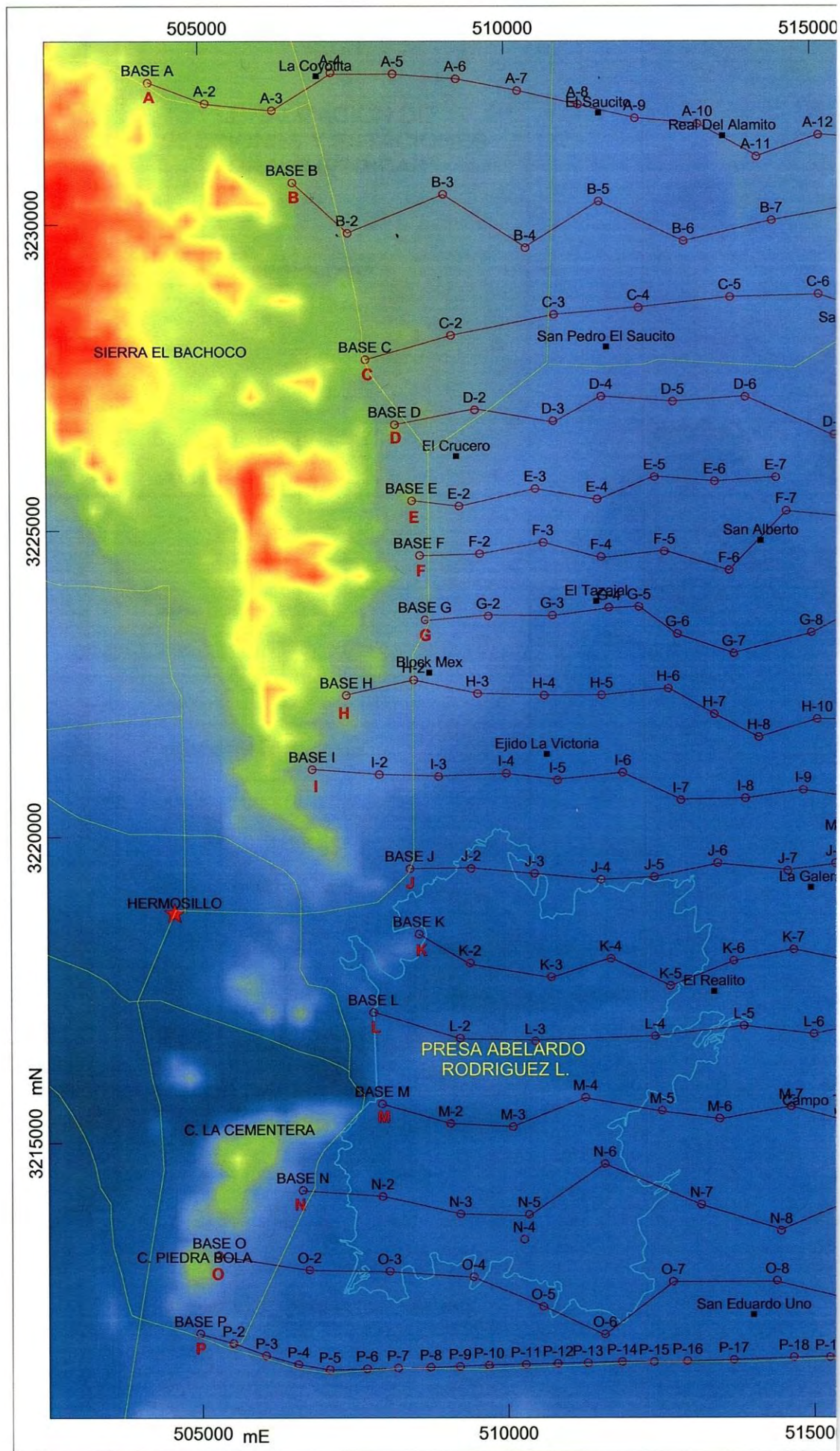


Figura III.2.- Equipo GPS utilizado en los levantamientos.

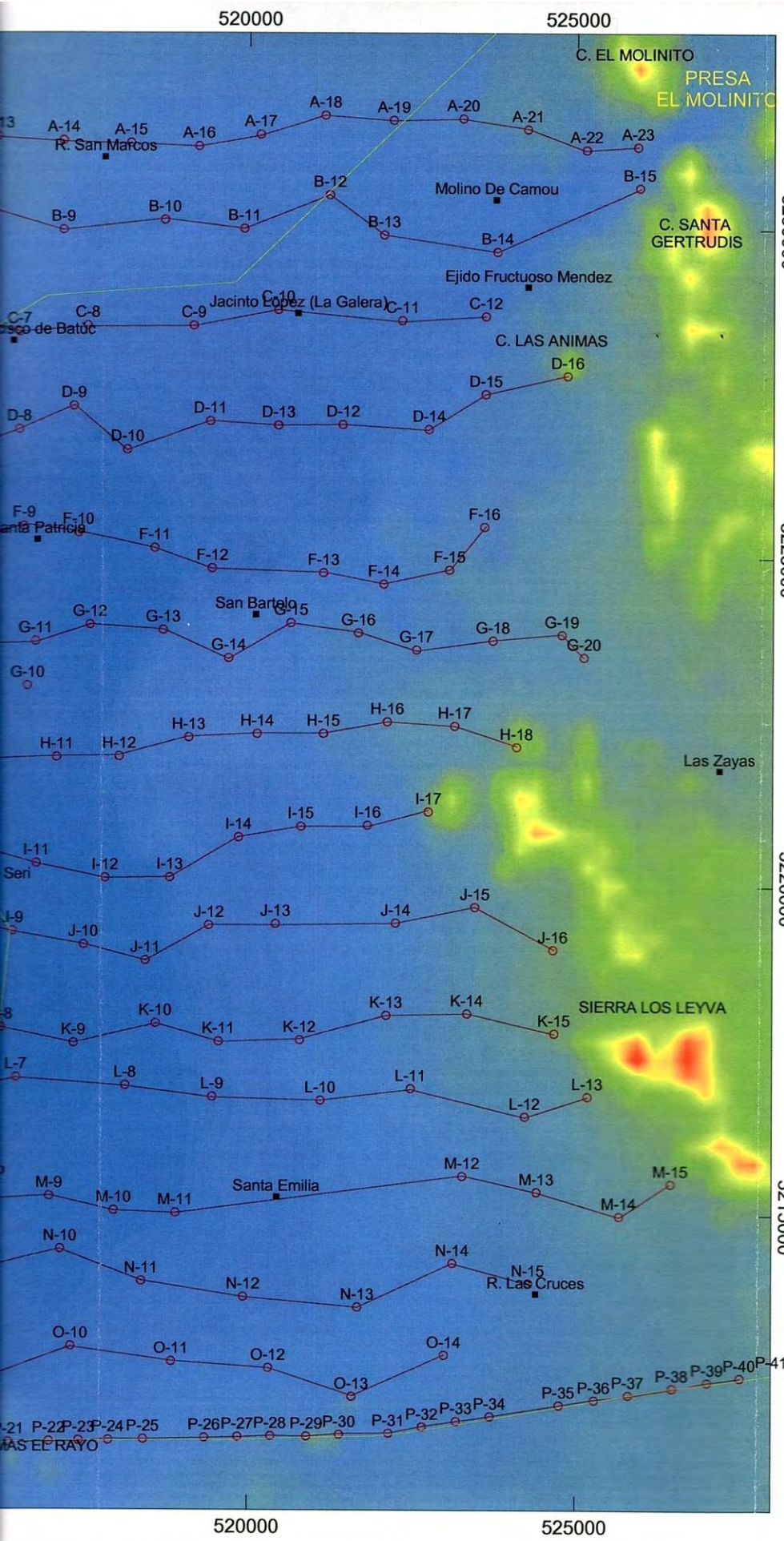
En cada uno de los perfiles se midió la gravedad en las estaciones base al inicio y al final del levantamiento, esto con el fin de obtener las variaciones por la deriva de instrumento y realizar la corrección. Sin embargo no se observaron diferencias significativas por lo que dicha corrección no se consideró en el procesado de los datos. Las estaciones que conforman cada perfil se tomaron principalmente en caminos rurales, ya que existen lugares en donde las condiciones o las políticas de los propietarios de los predios no permiten el acceso.

Durante la etapa de campo se realizaron mediciones gravimétricas a lo largo de 16 perfiles sumando un total 297 estaciones (ANEXO 1 y Figura III.3). El espaciamiento entre cada una de las estaciones a lo largo de cada perfil varía de 800 a 1440 m. La orientación de dichos perfiles es preferentemente W – E, iniciando cada uno de ellos en la Sierra del Bachoco, en el límite Oeste, y finalizando en la Sierra de Los Leyva, al Este del área de estudio.









# LOCALIZACION DE SECCIONES Y ESTACIONES GRAVIMETRICAS

## SIMBOLOGIA

- Capital ..... ★
- Pobladors ..... ■
- Caminos ..... ————
- Estación gravimétrica ..... ○
- Sección gravimétrica ..... A ————

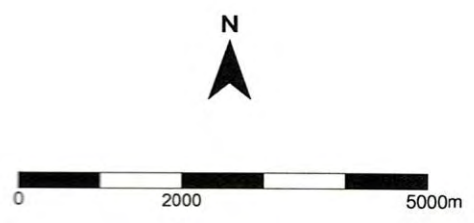
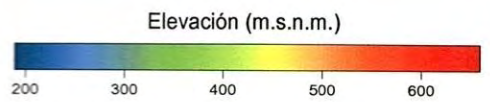


Figura III.3



La longitud de los perfiles varía en el rango de 14 a 22 Km. y su separación en sentido N-S entre 800 y 1500 metros. Además de los datos generados en este trabajo, se retomo un perfil realizado por Grijalva-Noriega y colaboradores (2002), el cual cubre una distancia de 27 Km. y consta de 49 estaciones con espaciamiento de 500 metros. Dicho perfil se localiza sobre la carretera que comunica a Mazatán (Perfil P).

### **3.2 Reducción de datos.**

Las lecturas de gravedad tomadas en el campo generalmente son influenciadas por la topografía y otros factores, por lo tanto, dichas mediciones deben ser corregidas por las variaciones en la latitud, elevación y topografía para reducirlas a los valores que tendrían en determinada superficie equipotencial o 'datum', tales como el geoide, o cualquier superficie paralela a este. Existen dos correcciones que ocasionalmente son requeridas: por mareas y por isostasia, sin embargo en este caso no se consideraron, ya que estas solo se aplican en estudios de gran magnitud o escala regional.

Es conocido que la magnitud de la gravedad en la superficie terrestre depende de cinco factores: latitud, elevación, topografía del terreno circundante, mareas terrestres y las variaciones de densidad de los materiales en la superficie. Este último factor es el más significativo en la exploración gravimétrica y su efecto es generalmente mucho más pequeño que la combinación de los cuatro restantes (Telford et al., 1976). Su importancia radica en que las variaciones laterales de la gravedad obedecen a las diferencias de densidad de las masas de roca en la corteza.

Durante los levantamientos, además de los valores relativos de gravedad medidos en cada estación, se tomaron otros parámetros como la latitud, longitud, elevación, hora y fecha, ya que dichos parámetros son necesarios al momento de efectuar las correcciones correspondientes a cada valor medido de gravedad, debido a que, como se mencionó anteriormente, las lecturas de gravedad son afectadas o influenciadas por estos elementos.

La rotación de la Tierra y un abultamiento ecuatorial ligero producen un aumento en el efecto gravitatorio sobre la masa de la Tierra, es decir, el efecto de la gravedad en los polos es



mayor debido a que la distancia desde la superficie al centro de la tierra es menor que en el ecuador, por lo que la fuerza de gravedad es mayor en los polos que en el ecuador (Telford et al., 1976). Por tal razón, es necesario aplicar la corrección por latitud (CL) a cada una de las lecturas, en donde existen diferencias significativas. El valor de la corrección por latitud se suma a medida que nos acercamos al ecuador. Dicha corrección se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$CL = 0.000810 \text{ Sen } \gamma \text{ mGal / m}$$

donde:

$\gamma$ : latitud.

Debido a que la gravedad varía inversamente al cuadrado de la distancia, es necesario corregir para los cambios en la elevación entre las estaciones, de manera que todas las lecturas de campo son reducidas a la superficie del 'datum'. El valor de esta corrección se suma a la lectura de campo, cuando la estación se localiza sobre el nivel de referencia y se resta cuando esta debajo de éste (Telford et al., 1976). Dicho efecto es conocido como corrección por altura (CE) y se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$CE = -2g / r_e = -0.3085 * h \text{ mGal / m}$$

donde:

$g$  y  $r_e$ : corresponden a la gravedad y el radio de la tierra respectivamente, y  $h$  la altura de la estación de observación.

Ambas correcciones (CL y CE) son conocidas comúnmente como Corrección de Aire Libre, debido a que ninguna de ellas considera el efecto de las masas entre las estaciones y el nivel de referencia o 'datum' (Telford et al., 1976).

La distribución de las masas entre los puntos de observación y el 'datum', provoca que la gravedad en la superficie de la tierra varíe de estación a estación; por ello, es necesario aplicar la corrección de Bouguer (CB) a las observaciones y calcular la atracción de dichas

masas. Como principio básico, esta corrección asume la existencia de una placa horizontal de extensión infinita y de densidad uniforme entre el datum y la estación de observación (Telford et al., 1976). La corrección de Bouguer (CB) se aplica en sentido opuesto que la de aire libre, esto es, se resta cuando la estación se ubica sobre el datum, y viceversa. Se obtiene con la siguiente ecuación:

$$CB = 2\pi g\rho = 0.04188 \rho h \text{ mGal / m}$$

donde:

$\rho$ : es la densidad de la placa (En este caso se considero  $2.67 \text{ gr. / cm}^3$ ).

Las irregularidades de la superficie en la vecindad de la estación, tales como las montañas y los valles, son consideradas por la corrección topográfica (CT). El efecto de dichas ondulaciones en el terreno afecta las lecturas de gravedad en el mismo sentido, es decir, el exceso de masa (montañas) causa una reducción en las lecturas del gravímetro, mientras que el déficit de masa (valles) genera un aumento de las lecturas (Telford *et al.*, 1976). Dicha corrección (CT) siempre se suma a la lectura en la estación.

Para el presente trabajo, solo se realizó la corrección topográfica en las estaciones localizadas sobre basamento, es decir, en las zonas montañosas ya que son los lugares en donde se tiene mayor influencia de la densidad de las rocas. Dicha corrección se realizó con el método de plantillas de Hammer (1939). Se consideró una densidad de  $2.67 \text{ gr/cm}^3$  y un radio máximo de 21,944 m para un total de 10 zonas (D-M). Con ello se obtuvieron valores menores a 1.0988 mGals, prácticamente despreciables debido a la magnitud del estudio.

Una vez obtenidas todas las correcciones (CL, CE, CB, CT), se realizó el cálculo de la Anomalía de Bouguer (ANEXO 1):

$$AB = G_{\text{OBS}} \pm CL + CE + CB + CT$$



A partir de las estaciones gravimétricas ubicadas en la etapa de campo, y después de aplicar las correcciones correspondientes a cada una de dichas estaciones, se diseñó una malla de 76 renglones x 100 columnas, con la que genero un plano de contornos, el cual muestra la distribución espacial de anomalías de Bouguer. El diseño de la malla se realizó en el software Surfer 8, además de la interpolación de los valores de anomalía de Bouguer. Para dicha interpolación se utilizó el método de Kriging en el mismo software.

### 3.3 Separación Regional-Residual.

El mapa de anomalías de Bouguer obtenido a partir de la reducción de los valores observados de gravedad, muestra el efecto de heterogeneidades profundas y de gran magnitud en la corteza terrestre. Dicho efecto es conocido como *Regional*.

Por otro lado, el efecto en el cual estamos interesados se conoce como *Residual*, ya que éste proporciona información acerca de las características geológicas locales, las cuales son de mayor importancia en la interpretación gravimétrica. Sin embargo, dichas características locales son enmascaradas por el efecto *regional*, de manera que, remover dicho efecto y obtener el *residual*, es un problema muy serio en gravimetría, más que en otras técnicas geofísicas (Telford, 1976).

Existe una analogía muy cercana entre la separación *Regional-Residual* y los procesos de filtrado; sin embargo, como en cualquier técnica geofísica, el factor más importante en la interpretación es el conocimiento de la geología local (Telford, 1976).

Se debe de enfatizar que, al describir el regional como el efecto de estructuras profundas de escala mayor, se debe de considerar dicha escala relativa a las dimensiones del levantamiento. La misma consideración debe de ser tomada en cuenta cuando hablamos del *residual*. De manera que es correcto definir el *regional* como el efecto en el cual no estamos interesados.

Existen varios métodos para remover el efecto *regional*, los cuales se dividen en métodos analíticos y gráficos. En este caso, se utilizó el método grafico de suavizado de

perfiles (Figura III.4), por lo que la separación regional-residual se realizó individualmente para cada uno de los perfiles gravimétricos realizados y en los que se toma como nivel de referencia o ‘datum’, la estación base y la estación final de cada uno (ANEXO 2).

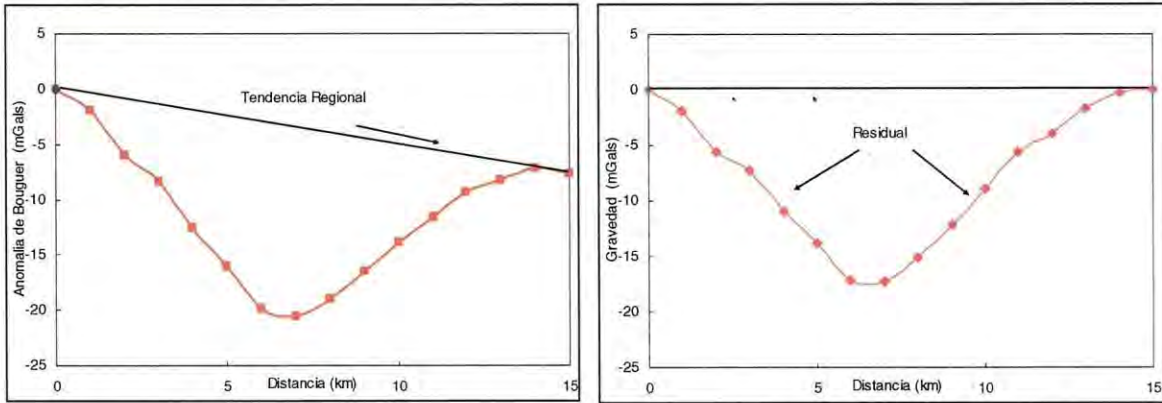


Figura III.4.- Separación de los efectos regional y residual con el método de suavizado de perfiles.

### 3.4 Anomalía Residual.

El procedimiento directo, en la interpretación cuantitativa de las anomalías residuales, se basa en la suposición de que el sustratum o basamento es de densidad uniforme. Esto es particularmente relevante cuando la interfase entre dos materiales de diferente densidad ha sido identificada por medio de técnicas ajenas a la gravimetría. El objetivo en estos casos, es determinar el relieve del basamento, comparado con las variaciones observadas en los valores de las anomalías residuales. El método usual es calcular el sustratum equivalente a determinada profundidad y reemplazarlo por la superficie topográfica (Grant y West, 1965). Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$G_{RES} = 2 \pi G \Delta\rho h$$

donde:

$G_{RES}$ : anomalía residual

$G$ : constante de gravitación universal ( $6.67 \times 10^{-8}$  dinas  $cm^2 / g^2$ )

$\Delta\rho$ : contraste de densidad

$h$ : elevación de la estación

En este sentido, cuando hablamos de la interpretación cuantitativa de anomalías residuales, nos referimos a que éstas representan el relieve del basamento de densidad



uniforme a determinada profundidad, el cual está arropado por una capa de materiales con características físicas diferentes (densidad), por lo que existe un contraste entre ambas unidades.

Considerando lo propuesto por estos autores (Grant y West, 1965), existe una similitud en el esquema que ellos describen y el esquema original de la cuenca en estudio, la cual está representada por dos elementos principales: 1) la presencia de un basamento de composición principalmente granítica de densidad uniforme, que aflora en la Sierra El Bachoco, Cerro Cementera y Cerro Piedra Bola, y que se extiende hasta los cerros El Molinito, Santa Gertrudis y Sierra Los Leyva, y 2) una unidad de rocas sedimentarias no-consolidadas a semiconsolidadas, que sobreyacen discordantemente al basamento (Figura II.4).

Una vez establecida la similitud entre la cuenca en estudio y los fundamentos teóricos, se realizó el cálculo de las profundidades correspondientes a cada una de las estaciones gravimétricas levantadas en la zona de estudio (ANEXO 1).

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1 Anomalía de Bouguer.**

A partir de las estaciones gravimétricas ubicadas en la etapa de campo, y después de aplicar las correcciones correspondientes a cada una de dichas estaciones, se diseñó una malla de 76 renglones y 100 columnas, con la que generó un plano de contornos, el cual muestra la distribución espacial de anomalías de Bouguer (Figura IV.1).

El diseño de la malla se realizó en el software Surfer 8, al igual que la interpolación de los valores de anomalía de Bouguer. Para dicha interpolación se utilizó el método de Kriging contenido en el software.

Las anomalías mínimas obtenidas después de la reducción de datos fueron del orden de -24.240 mGals y máximas de 1.158 mGals. Las máximas se manifiestan a medida que nos acercamos a las zonas serranas en los afloramientos litológicos donde se inició cada levantamiento gravimétrico. Dichos valores van disminuyendo hacia la parte central del valle hasta llegar a anomalías de -24 mGals.

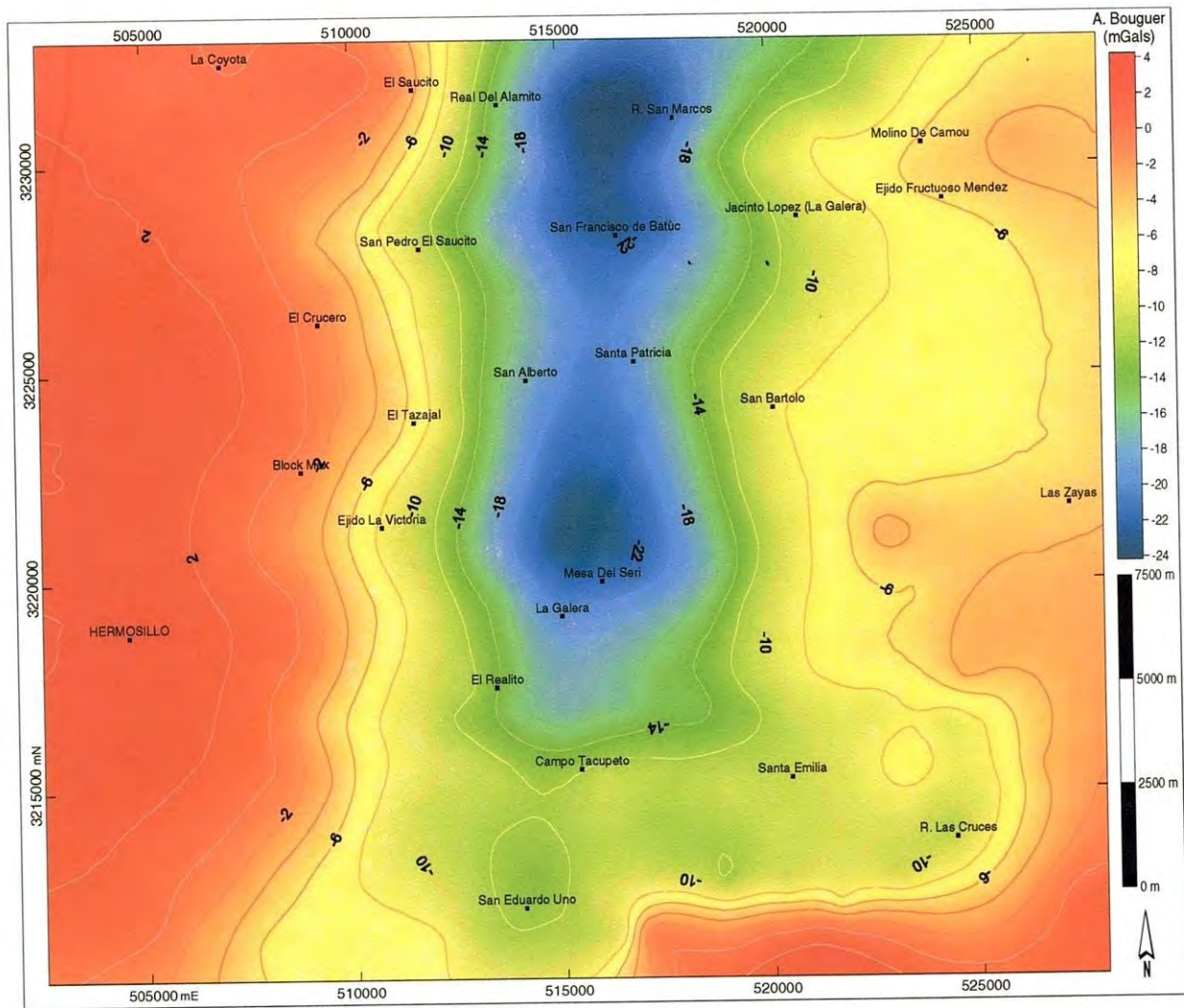


Figura IV.1.- Plano de Anomalías de Bouguer del área de estudio

Es importante mencionar que en la interpretación de las mediciones gravimétricas, existe una relación inversa entre los valores de anomalía de Bouguer y la profundidad, es decir, mientras menor sea el valor de la anomalía de Bouguer, mayor es la profundidad esperada en cada estación.

El plano de anomalías de Bouguer, el cual representa la morfología del basamento, indica que hacia la parte central del valle se manifiesta un tren con valores de anomalía de Bouguer de -16 a -24 mGals, y con una amplitud aproximada de 5 Km. Esta porción corresponde a la zona más profunda de dicho valle. Este tren se orienta en sentido Norte-Sur y se extiende 13 Km., desde el limite norte hasta la altura de los poblados El Realito y Campo



Tacupeto, en donde es truncado por un alto gravimétrico del orden de -12 a -16 mGals. Considerando esta morfología, se puede inferir que las profundidades máximas del valle se sitúan en esta parte, y por ende, el espesor del relleno sedimentario es más potente a medida que nos acercamos al centro.

Más específicamente, este tren de anomalías negativas se caracteriza por la presencia de dos bajos gravimétricos principales que identifican dos grandes fosas: el primero de ellos se localiza en la porción norte del área de estudio; y el segundo en la parte sur, a la altura las poblaciones de la Mesa Del Seri y La Galera. En la fosa norte, los valores de anomalía de Bouguer alcanzan -24 mGals, mientras que en la fosa sur -23 mGals. Estableciendo esta diferencia, se puede inferir que la fosa norte presenta mayor profundidad que la fosa sur.

En la parte central del área de estudio, el basamento presenta un alto considerable, el cual pudiera estar separando o aislando dichas fosas. En términos hidrogeológicos, el alto gravimétrico que separa dichas fosas, podría estar marcando la frontera entre el acuífero de la fosa norte y el de la fosa sur, actuando éstos como acuíferos independientes. Sin embargo, esto se tendría que verificar observando la profundidad de los niveles estáticos. En el caso de que los niveles estáticos estuvieran por encima de dicho alto gravimétrico, existe una probabilidad alta de que ambos acuíferos están interconectados.

#### **4.1.1 Filtrado de Anomalía de Bouguer.**

A manera de hipótesis y en base a la literatura escrita, se manejó la idea de que la zona de estudio presentaba un control estructural influenciado por la tectónica distensiva ocurrida durante el Cenozoico en la región (Basin and Range). Dicho proceso generó una serie de características estructurales y morfológicas como el desarrollo de sierras alargadas y valles angostos orientados preferentemente Norte-Sur, limitados en sus extremos por fallas normales de ángulo alto.

Considerando esta hipótesis y el hecho de que superficialmente la zona de estudio presenta dichas características (Valle limitado por dos Sierras en los extremos), se llevó a cabo

una técnica de filtrado digital, aplicada a los datos de anomalía de Bouguer, para comprobar la relación de dichos datos con el patrón estructural típico del Basin and Range.

Para el filtrado se utilizó la técnica de *dirección de gradiente* (Crane, R., 1997, Pitas, I., 2000, Wiggin, Ender, 2001). Dicha técnica realza o enfatiza los cambios rápidos en el gradiente en 8 diferentes direcciones (N-S, E-W, NW-SE y NE-SW).

Como se mencionó en párrafos anteriores, la característica geológico-estructural predominante en el área, es la presencia de un graben limitado a sus extremos por fallas con orientación predominantemente N-S y NE-SW, por lo que el filtrado se aplicó en sentido opuesto, en sentido W-E, para con ello realzar o enfatizar dichas estructuras.

El plano resultante de gradiente direccional indica la presencia de un cambio abrupto en los límites occidental y oriental que se extiende desde el límite Norte del área y se prolonga hasta al límite Sur. Este cambio abrupto se interpreta o permite proponer la presencia de dos estructuras sepultadas con orientación general N-S que seguramente corresponden a fallas normales, las cuales delimitan el límite occidental de una cuenca formada dentro del área de estudio en el subsuelo (Figura IV.2).

Estructuralmente, la configuración de la anomalía de Bouguer después del filtrado, sugiere la presencia de un bloque sepultado o graben, el cual representa el centro del valle, limitado por bloques levantados a sus extremos Oeste y Este, los cuales se orientan sensiblemente Norte-Sur. Dicho patrón es correlacionable con el marco tectónico del área, sin embargo, esta correlación no es tan simple, ya que en la zona se manifiestan una serie de lineamientos y estructuras los cuales se cortan unos con otros, sin dejar ver su continuación, solo se presentan como segmentos.

Al respecto, en su tesis de maestría el Geólogo Valenzuela-Rentería M., (2003), expone el ejemplo del lineamiento del Río Sonora, el cual según Radelli *et al.* (1985) en Valenzuela-Rentería M., (2003), presenta evidencia geológica indicando que no se trata propiamente de una falla y sugieren un origen tectónico explicando que se trata del lugar en



donde interfieren mutuamente dos juegos orientados NNW-SSE y N-S de fallas, microfallas y diaclasamiento, generando una zona altamente fracturada, y por lo tanto fácilmente erosionable lo que permitió que el Río Sonora estableciera su cauce a lo largo de la misma, sin embargo.

El mismo Valenzuela-Rentería M., (2003) expone un lineamiento en sentido N-S al Este de la Cd. De Hermosillo, el cual coincide con el patrón estructural identificado en este trabajo a partir de la técnica de filtrado. De igual manera, el mismo autor identifica un lineamiento en sentido W-E al Sur de la ciudad, sin embargo este puede ser mejor visualizado en el plano de distribución de profundidades y estructuras presentado en el apartado V.

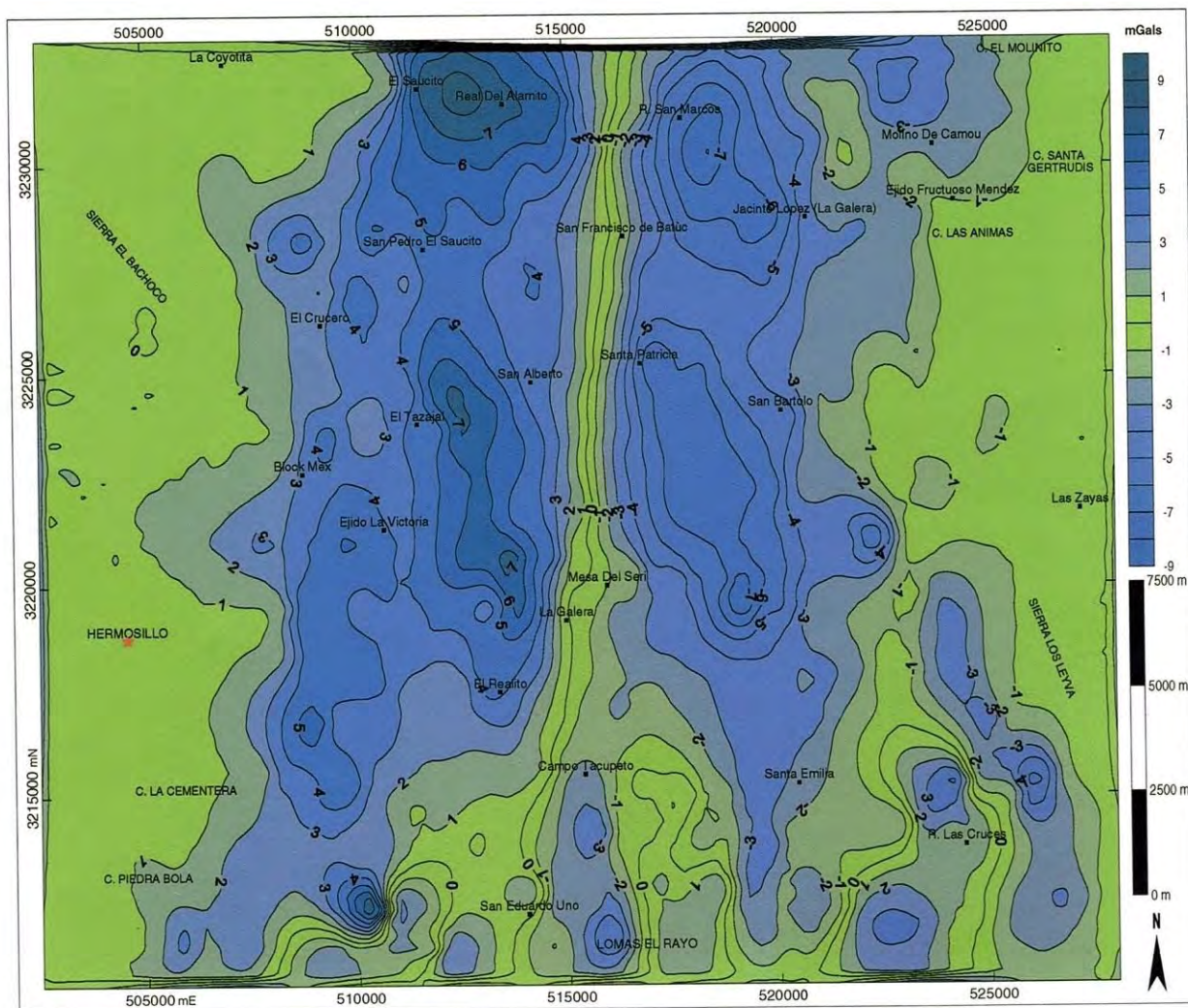


Figura IV.2.- Plano de contornos obtenido a partir del filtrado en sentido W-E.

## 4.2 Anomalia Residual.

Como se menciona en el capítulo III, la técnica seleccionada para llevar a cabo la separación *regional-residual* fue la de suavizado de perfiles. El calculo del efecto *residual* se realizó por separado para cada uno de los perfiles gravimétricos. La figura IV.3 muestra la grafica correspondiente a los valores de la anomalía de Bouguer, anomalía residual y profundidad calculada para el perfil gravimétrico 'G'. El resto de los perfiles se presentan en el ANEXO 2.

Posteriormente los valores del *residual*, correspondientes a cada uno de los perfiles gravimétricos, se integraron en la malla diseñada para la elaboración de un plano de contornos, en donde se muestra la configuración de dicha anomalía (Figura IV.4).

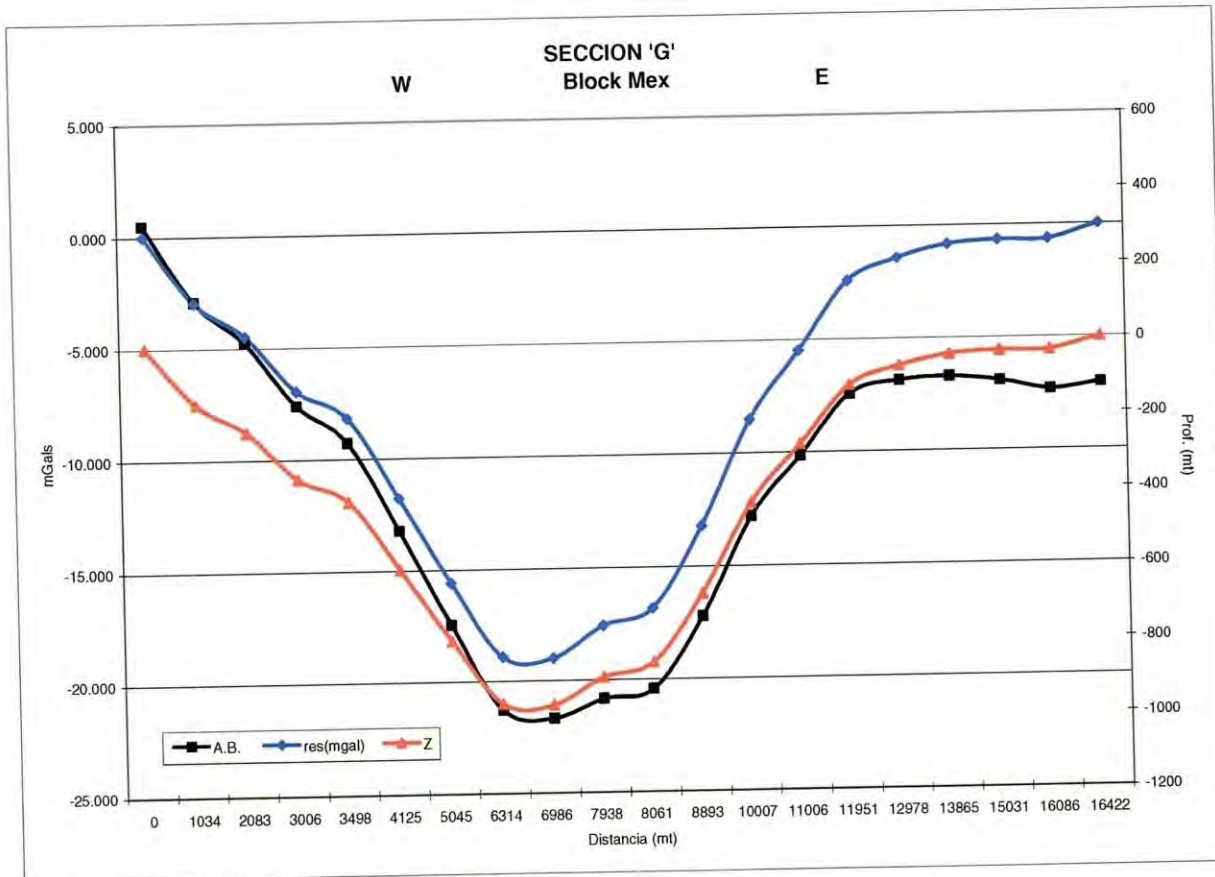


Figura IV.3.- Grafica de la profundidad calculada en el perfil 'G'.



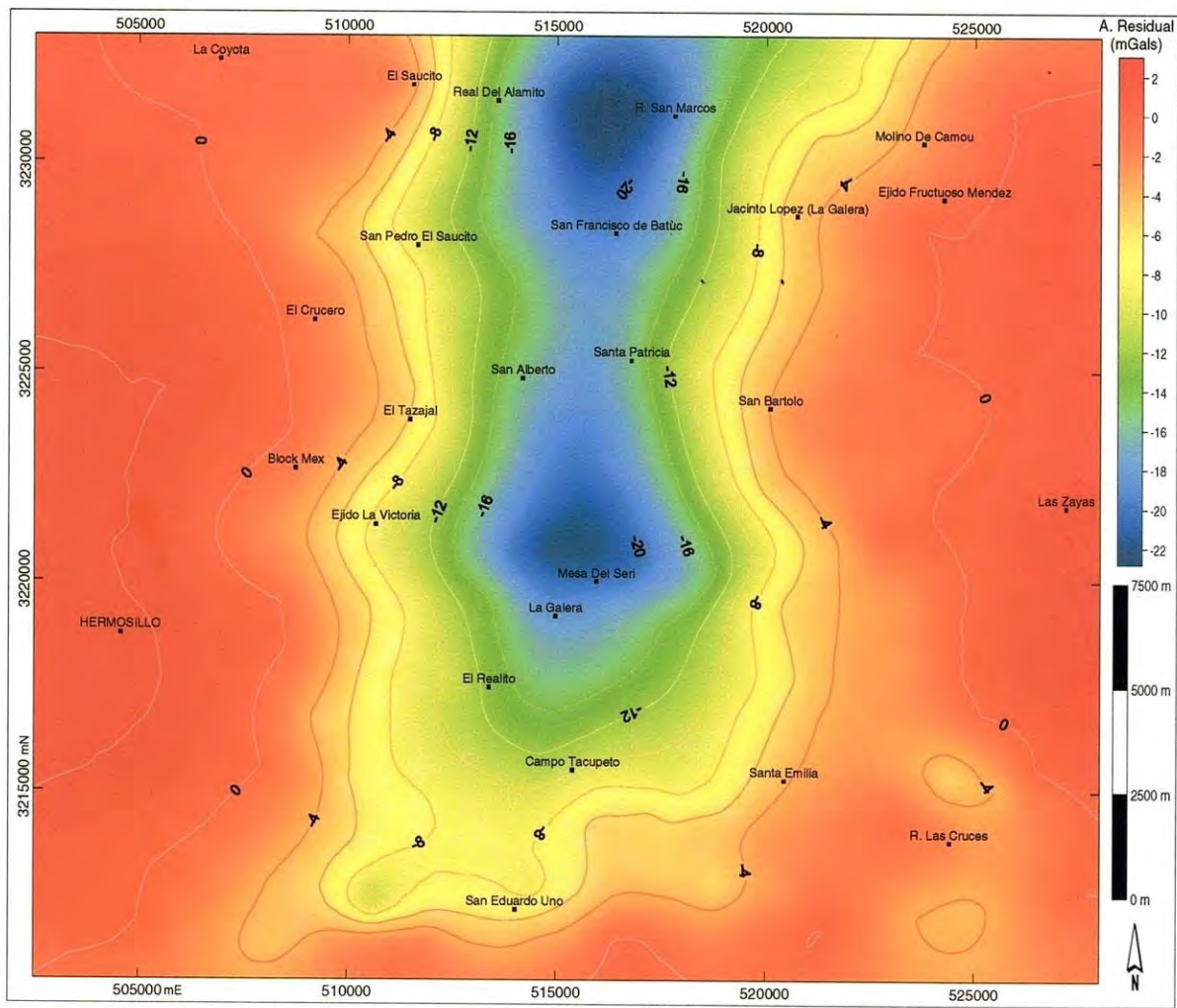


Figura IV.4.- Mapa de contornos de anomalía residual.

### 4.3 Profundidad de la cuenca.

El cálculo de la profundidad de la cuenca se realizó por medio de la losa de Bouguer después de la separación *Regional - Residual*. Este cálculo se llevo a cabo por separado para cada uno de los perfiles gravimétricos (ANEXO 1). Con los valores calculados en cada una de las estaciones se diseñó un plano de contornos, el cual representa la distribución de la profundidad en el área de estudio (Figura IV.5). En esta plano se observa que la profundidad de la cuenca aumenta hacia el centro del valle. La máxima calculada asciende a 1156 m con valores de anomalía de -24 mGals, lo que resultó una relación de 48 m de profundidad por mGal, en la zona central del valle.

Las profundidades calculadas con el método gravimétrico se compararon con información de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's), ya que no se encontró información de cortes litológicos que hallan penetrado al basamento en la zona. Los SEV's considerados para este propósito fueron realizados por diferentes compañías, dentro de las que destacan Técnicas Modernas en Ingeniería (1977) y GYMSA (1990), y reinterpretados por UNISON (2005).

Se analizaron un total de 26 SEV's distribuidos en el área San Pedro – Mesa del Seri, de los cuales 8 de ellos se interpreta que tocan basamento (ANEXO 3). Dichos sondeos se ubicaron en el plano de distribución de profundidad del área (Figura IV.5).

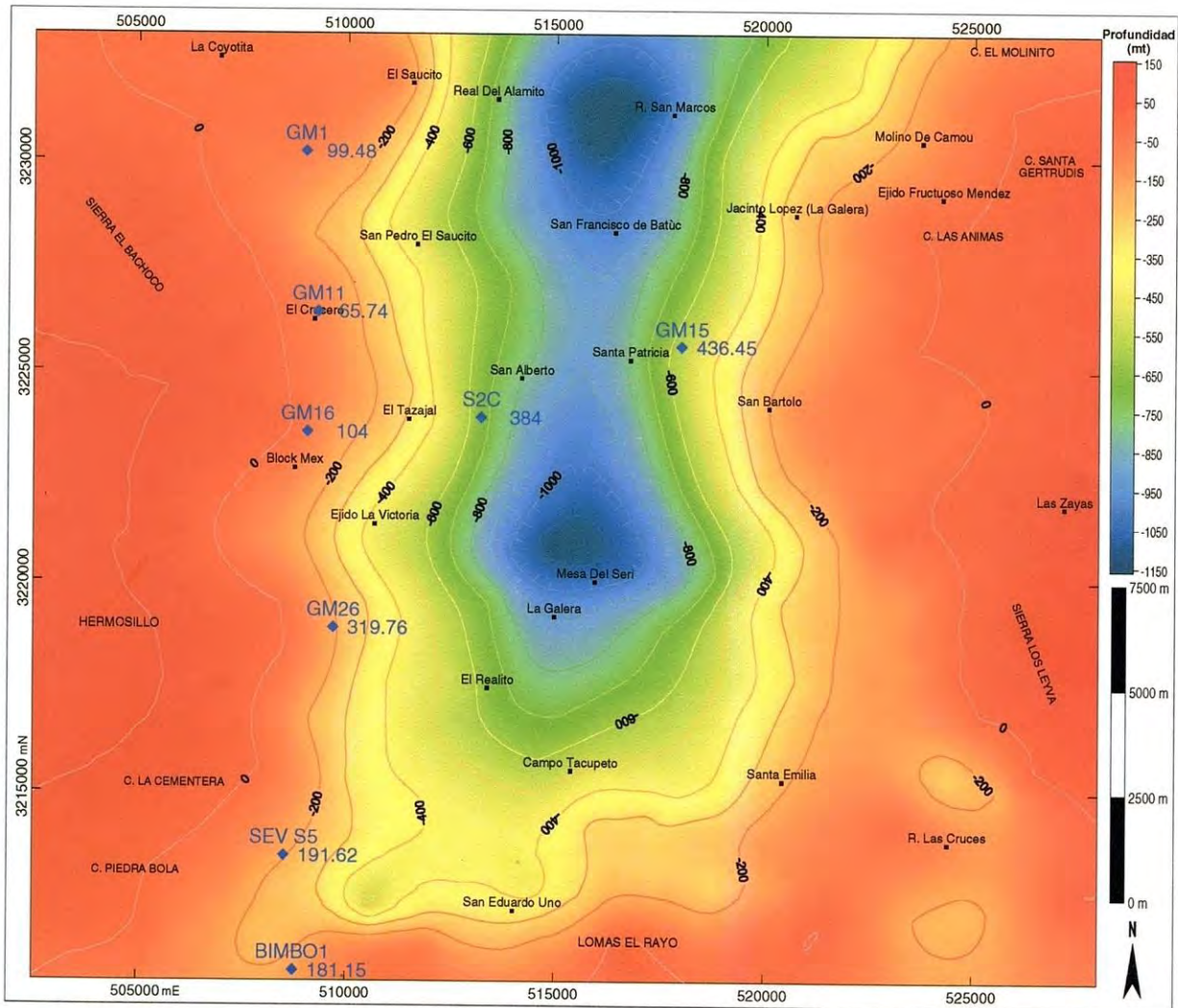


Figura IV.5.- Plano de profundidades y localización de Sondeos Eléctricos Verticales que tocan basamento (símbolo azul, el número representa la profundidad a la que se detectó el basamento en metros).



La mayoría de ellos coinciden con la profundidad calculada con el método gravimétrico, sin embargo en algunos existe una diferencia hasta del orden de los 200 m. Estas diferencias se pueden explicar, ya que en el caso del método de resistividad en teoría, a una mayor abertura de los electrodos de corriente mayor será la profundidad de detección, sin embargo la resolución disminuye y la heterogeneidad del subsuelo puede representar un problema en esta interpretación.

#### **4.4 Integración Geológico – Geofísica.**

Como parte de este trabajo, se interpretaron las características geológico-estructurales del subsuelo en el área de estudio para las secciones gravimétricas realizadas. En dichos perfiles se integran las características estructurales de la cuenca, profundidad del basamento, geometría, espesor del relleno sedimentario y profundidad del basamento, obtenidos a partir del procesado de la información gravimétrica generada durante la etapa de campo.

Para la interpretación geológica de los resultados gravimétricos, se consideró el esquema geológico planteado al inicio de este trabajo, el cual consiste en: 1) la presencia de un basamento de densidad uniforme, y 2) una unidad de rocas sedimentarias no-consolidadas a semiconsolidadas, que sobreyacen discordantemente al basamento, también de densidad uniforme (Figura II.4).

En la Figura IV.6, se muestra el perfil 'A' que inicia en la sierra El Bachoco y termina en el cerro El Molinito; cubre una extensión de 21 Km. y lo conforman un total de 23 estaciones gravimétricas. La profundidad máxima calculada del basamento asciende a 1156 m, la cual corresponde al centro de la fosa localizada en la porción norte del área de estudio, en las inmediaciones del Rancho San Marcos. Se interpretaron una serie de fallas escalonadas en los límites del basamento, las cuales presentan una orientación preferencial N-S y NE-SW y delimitan dos áreas de acumulación de sedimentos importante, la primera en la parte central con un espesor máximo de 1156 m, y la segunda hacia el límite Este con un espesor máximo de 600 metros en la estación A-13.



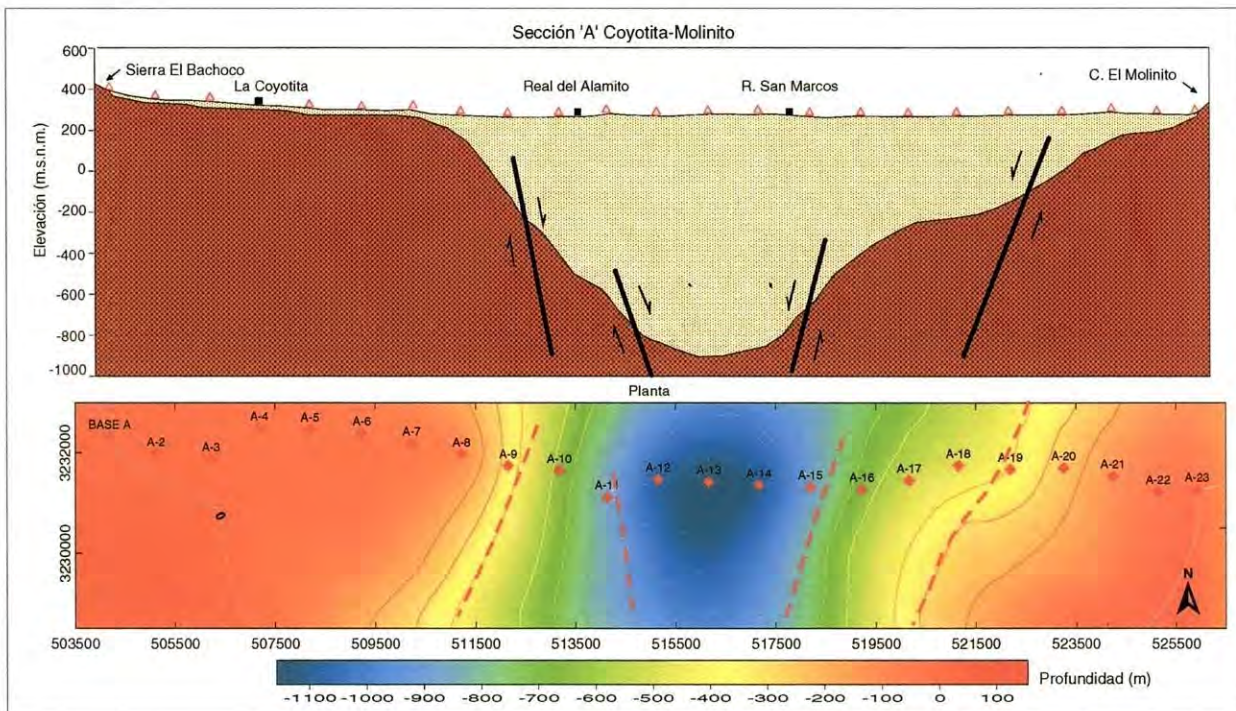


Figura IV.6.- Integración geológico-geofísica del perfil 'A'.

El perfil 'F' presenta una longitud de 16 km y 18 estaciones gravimétricas, iniciando en la sierra del Bachoco y finalizando en el límite Este del área en donde aflora el intrusito granítico. La profundidad máxima interpretada para esta sección es de 901 m en la parte central. Dicha sección cruza justamente el alto que divide dos fosas detectadas con los valores de anomalía de Bouguer. Al igual que para la sección A, se interpretaron estructuras escalonadas sepultadas con orientación N-S y NE-SW. La configuración del espesor de sedimentos que rellenas esta porción es más uniforme que para la sección A, mostrando un incremento constante hacia el centro del área (Figura IV.7).

En este perfil se incluyen los sondeos eléctricos verticales S2C y GM15, en los cuales se detectó basamento a 384 m y 436 m respectivamente. Comparando estas profundidades con las calculadas con el método gravimétrico, en el primero de ellos existe una diferencia de 200 m., para lo cual se considera que probablemente el sondeo detecto una capa impermeable que no precisamente corresponde al basamento, pero que sin embargo pudiera comportarse como tal. Para el sondeo GM15 la diferencia es menor de 80 m.



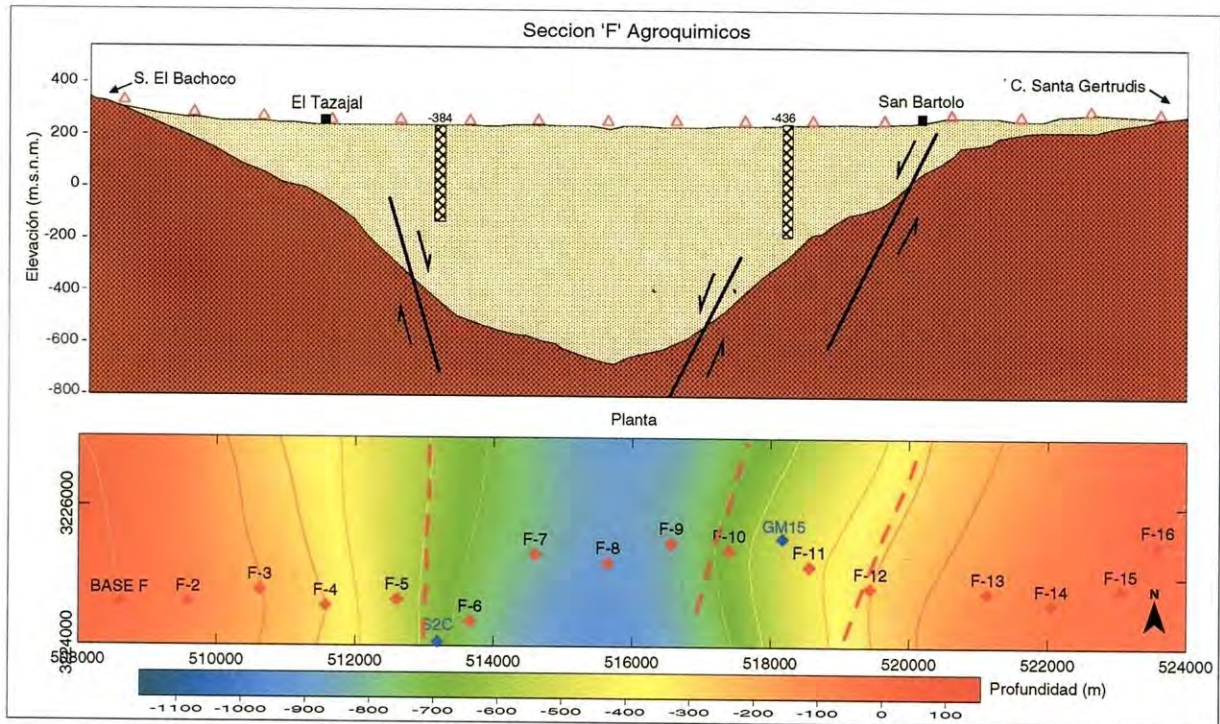


Figura IV.7.- Integración geológico –geofísica del perfil ‘F’.

La sección N está conformada por 14 estaciones y cubre una longitud de 16 km. Inicia en el cerro de La Cementera y concluye en las inmediaciones del rancho Las Cruces dentro de la Sierra Los Leyva. La profundidad de basamento máxima interpretada es de 407 m. La configuración del basamento es la más irregular de las interpretadas, en función de delimitar una serie de bloques caídos por las estructuras definidas (Figura IV.8), por lo que el espesor de sedimentos también es muy variable, desde 80 a 400 m.

Para esta sección se tiene el SEV S5, el establece una profundidad al basamento de 191 m, lo cual concuerda con la calculada para la estación gravimétrica N-3 de este trabajo, que fue de 200 m

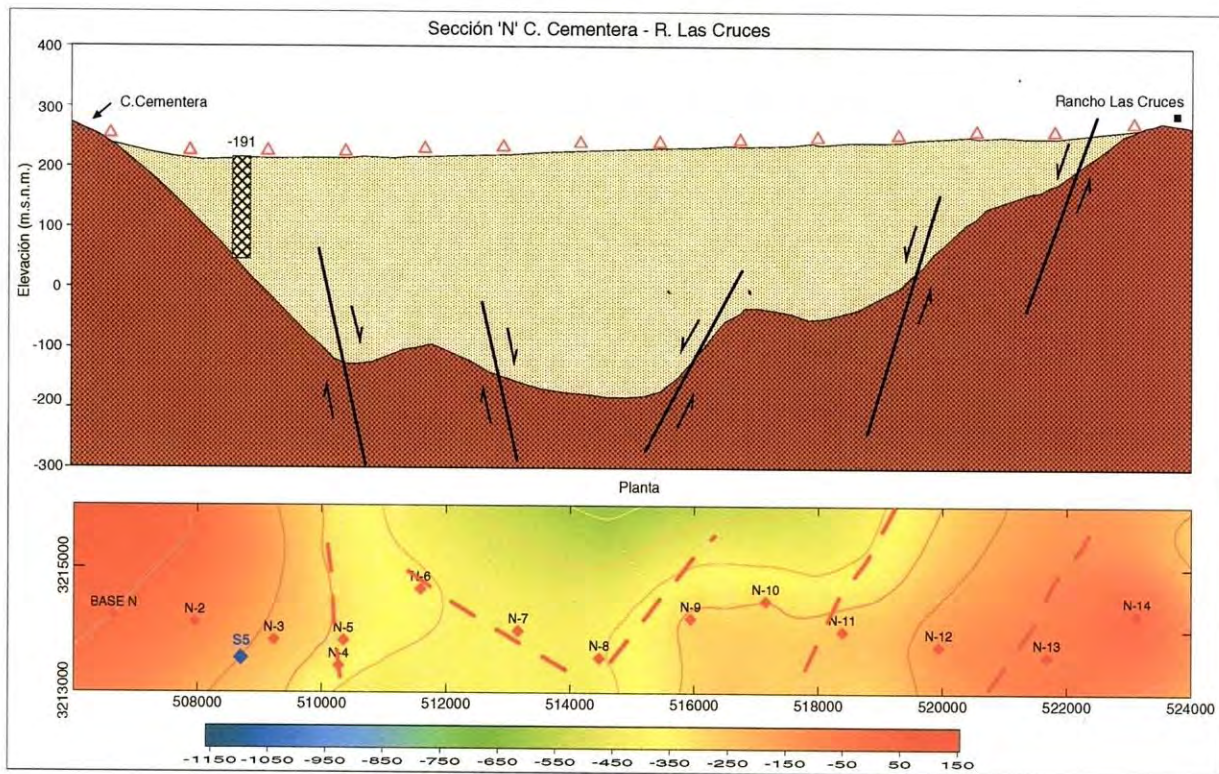


Figura IV.8.- Integración geológico –geofísica del perfil 'N'.



## V. CONCLUSIONES

Como parte de los objetivos específicos planteados para el desarrollo de este trabajo, se concluye lo siguiente:

- 1) Morfológicamente el área de estudio corresponde a un valle de aproximadamente 10 Km. de amplitud orientado Norte-Sur, limitado por elevaciones topográficas en sus límites Este-Oeste, correspondiendo a la morfología típica de cuencas generadas en la provincia "Basin and Range".
- 2) La configuración del basamento obtenido a partir del plano de anomalías de Bouguer (Figura V.1) muestra que se trata de un graben asimétrico con profundidades mayores hacia la porción occidental, las cuales se hacen más someras hacia el oriente y sur, donde inclusive aflora el basamento en las sierras del Agua Lurca, Santa Teresa, La Flojera y San Antonio, a la altura del poblado San Eduardo 1.

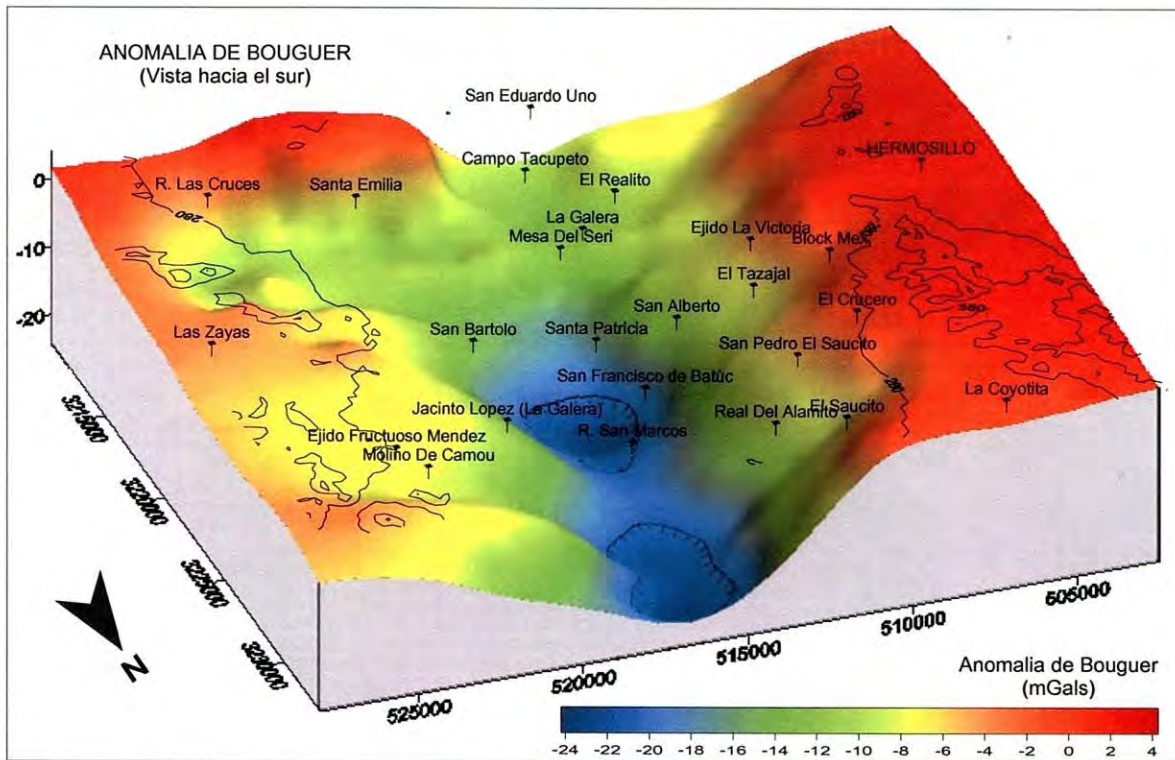


Figura V.1.- Configuración del basamento a partir de los valores de anomalía de Bouguer.

- 3) La técnica de filtrado digital de *dirección de gradiente* en sentido W-E, aplicada a los valores de anomalía de Bouguer, permitió identificar dos zonas en las que se presentan cambios abruptos de éste en las porciones occidental y oriental (Figura V.2), las cuales son interpretadas como la influencia de dos estructuras sepultadas que representan los límites Oeste y Este del graben.

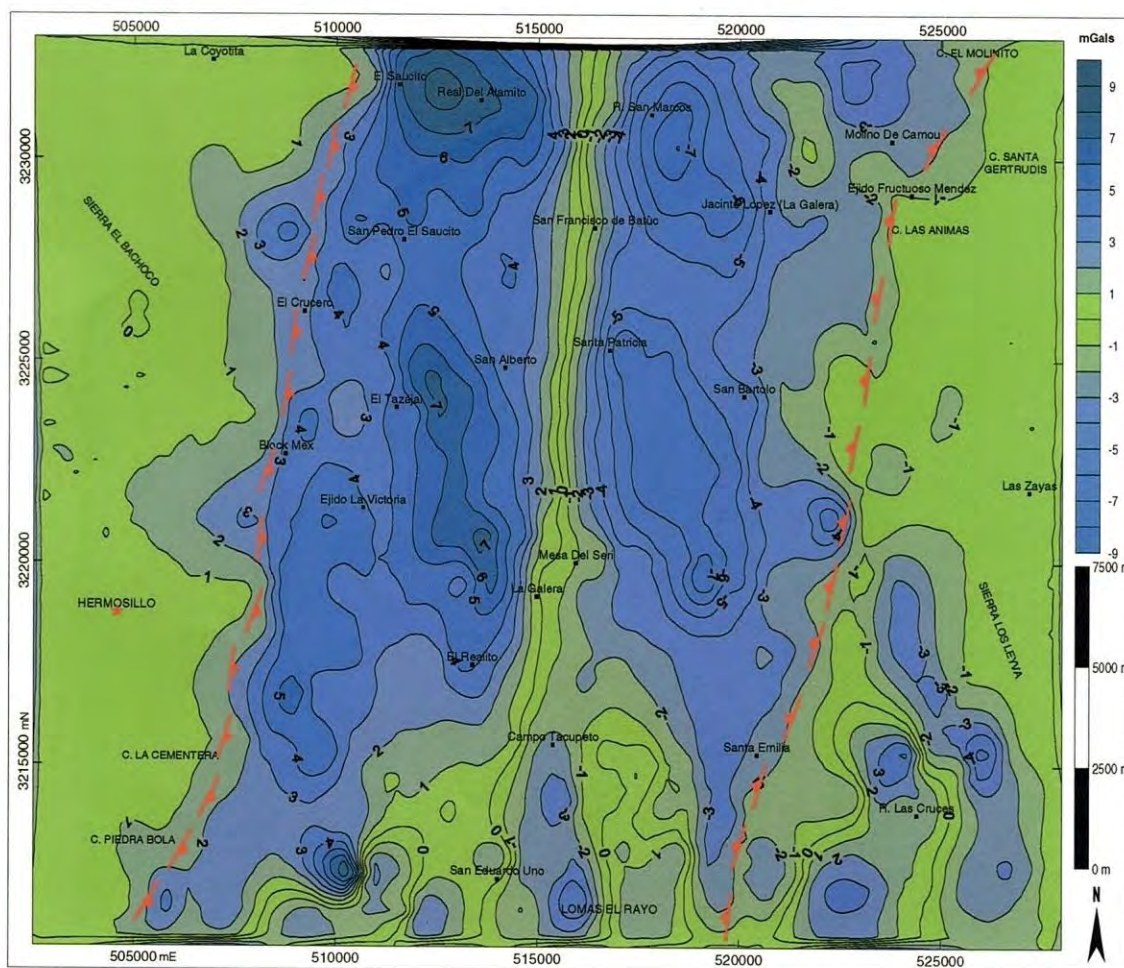


Figura V.2.- Plano de dirección de gradiente obtenido a partir del filtrado de los valores de anomalía de Bouguer (Las líneas rojas indican las estructuras interpretadas).

- 4) En la parte central del graben, se identificaron dos bajos gravimétricos principales que identifican dos grandes fosas (Figura IV.4) con profundidades calculadas mayores a los 1000 metros. La primera de ellas se localiza en la porción norte del graben, en las inmediaciones del Rancho San Marcos, y para la cual se obtuvo una profundidad máxima de 1156 metros. La segunda se tiene en la parte sur, a la altura de las



poblaciones de la Mesa Del Seri y La Galera, con una profundidad máxima calculada de 1144 metros en la sección I-I'.

- 5) La configuración del basamento obtenido a partir de las profundidades calculadas, permite establecer la presencia de una serie de estructuras sepultadas con diferentes orientaciones, sobresaliendo las N-S y NE-SW y en menor proporción los W-E (Figura V.3)

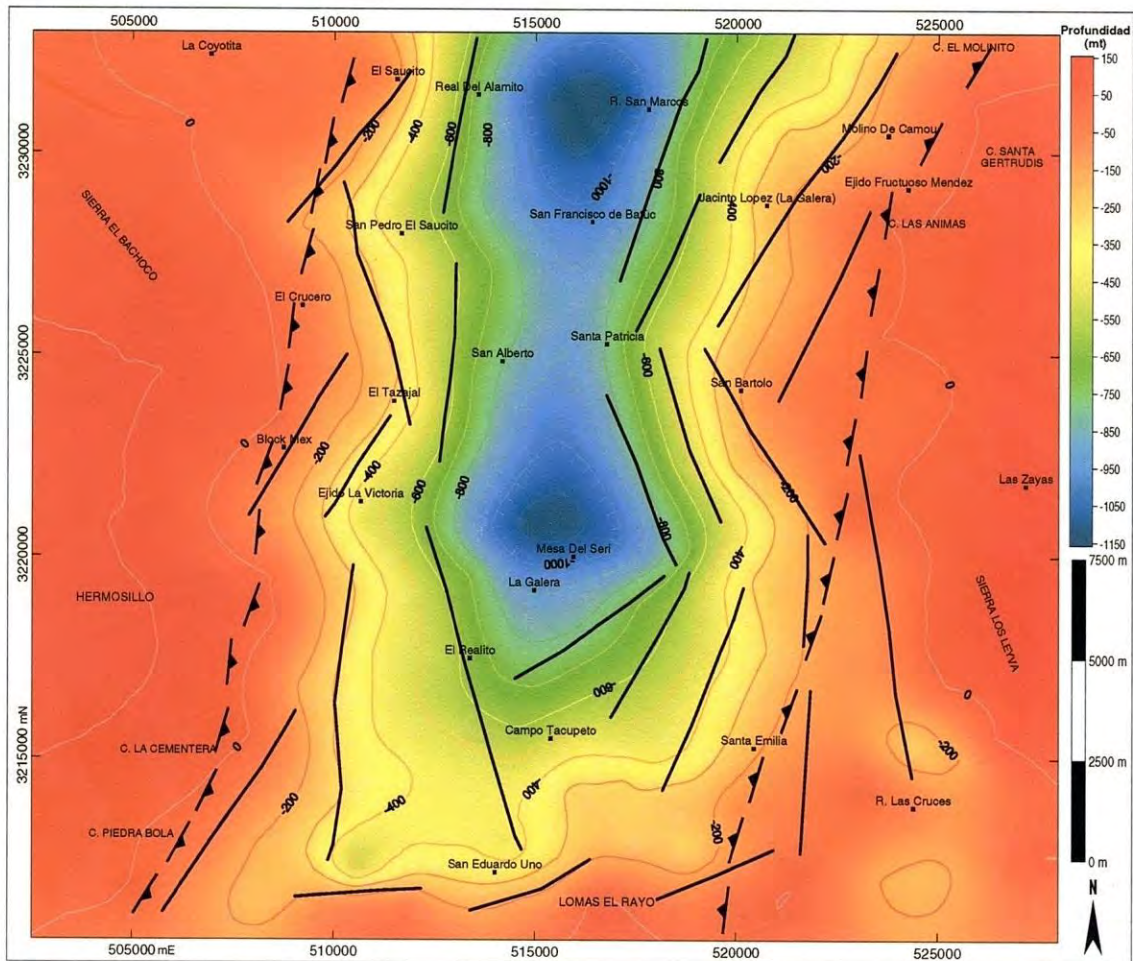


Figura V.3.- Estructuras identificadas en el plano de distribución de profundidades.

- 6) El basamento presenta un alto considerable en el subsuelo dentro de la porción central, el cual está separando o aislando las dos fosas dentro del graben (Figura V.4).

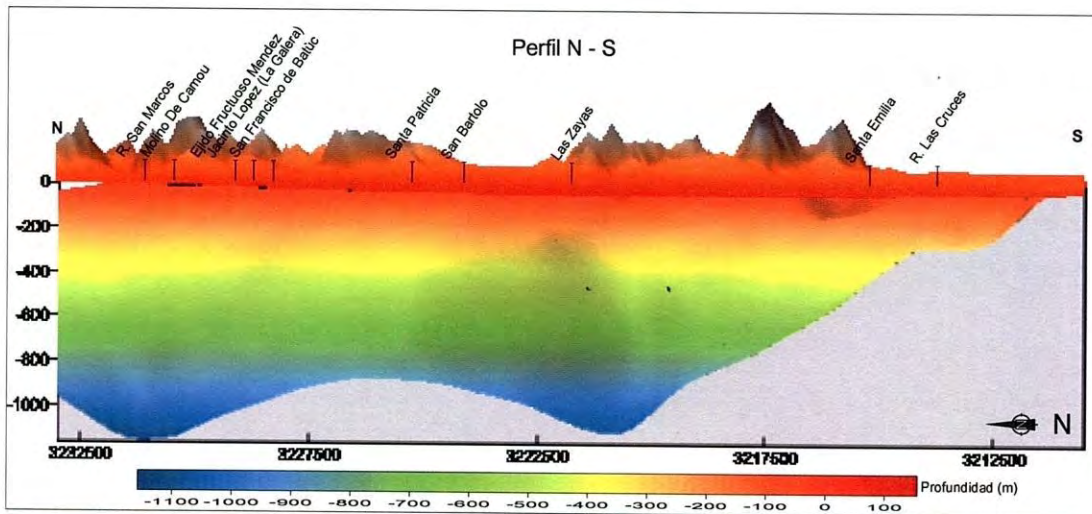


Figura V.4.- Perfil N – S en el que se indica el alto gravimétrico que divide las fosas detectadas.

- 7) Considerando los resultados del estudio gravimétrico, se concluye que los espesores máximos de sedimentos que rellenan el graben, son más potentes hacia la porción central del mismo, alcanzando un máximo del orden de 1156 m (Figura V.5).

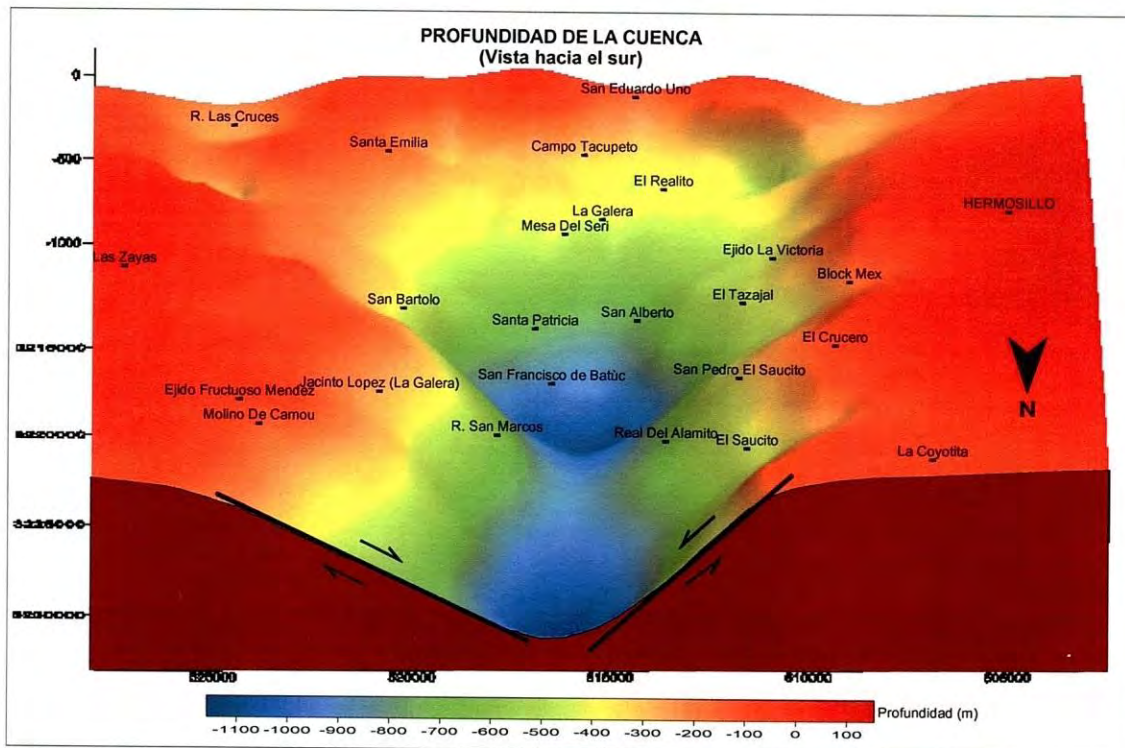


Figura V.5.- Representación en 3D de las profundidades calculadas en el área de estudio.



- 8) Tomando en cuenta esta última consideración, podemos decir que, en donde los espesores de dicho relleno son más potentes, existe una probabilidad mayor, en determinado momento, de extracción de agua subterránea. Sin embargo, en este caso es necesario evaluar las propiedades hidráulicas del medio y con ello tener mayor certeza de las dimensiones del acuífero.
  
- 9) En cuanto a la hipótesis manejada por varios autores de que el actual cauce del Río Sonora sugiere la presencia de una gran estructura regional, con el método gravimétrico desarrollado en el área de estudio no se obtuvieron evidencias lo suficientemente claras con las que se pueda apoyar la presencia de dicha estructura.

## RECOMENDACIONES

- 1) Los resultados más relevantes de este estudio establecen que el valle a profundidad representa un graben asimétrico constituido por dos fosas cuyas profundidades mayores oscilan alrededor de los 1150 metros. Sin embargo, ya que superficialmente este valle continua hacia al norte por lo menos unos 70 kilómetros, se considera importante continuar este tipo de estudios a los largo de éste, para poder establecer las características geométricas y particulares de esta gran cuenca.
  
- 2) No cabe duda que el área de estudio tiene un interés hidrogeológico muy importante en la región, ya que parte del relleno sedimentario constituye un acuífero granular denominado acuífero Mesa del Seri - La Victoria, el cual sustenta gran parte del agua potable para la ciudad de Hermosillo. En este contexto, dado que el estudio gravimétrico nos permitió identificar el espesor del relleno sedimentario, pero no permite identificar las características sedimentológicas-granulométricas del relleno sedimentario, se propone integrar la información geoelectrica de los SEV's existentes dentro del área, o bien, desarrollar algunos sondeos electromagnéticos profundos (TEM), para llevar a cabo esta caracterización y entender mejor las condiciones del acuífero a profundidad.
  
- 3) En el mismo sentido del punto anterior, la presencia de las dos grandes fosas centrales identificadas en este estudio permite, por un lado, recomendar perforaciones profundas exploratorias en estas zonas para tener un control de los sedimentos acumulados y conocer sus parámetros físicos-hidráulicos; y por otro, poderla integrar a la información geofísica para llevar a cabo la interpretación de los ambientes sedimentarios que estuvieron interactuando en la cuenca de deposito.



## **BIBLIOGRAFIA.**

**Cochemé, J.J., and Demant, Alain, 1991,** Geology of the Yecora area, northern Sierra Madre Occidental, México, *en* Grijalva-Noriega, F. J., and Roldan-Quintana, J, 1998, An Overview of the Cenozoic Tectonic and Magmatic Evolution of Northern Sonora, in Norwest México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, UNAM, V.15, No.2, p. 145-156.

**Consejo de Recursos Minerales (2004).** Carta Geológico-Minera Hermosillo, Sonora H12-8. Esc. 1:250,000, Consejo de Recursos Minerales.

**Coronado Peralta, R., 2003,** Profundidad del basamento y espesor del relleno sedimentario en la zona urbana de Hermosillo, Sonora a partir de secciones gravimétricas, Universidad de Sonora, Departamento de Geología, tesis de maestría, 62 p.

**Crane, R. (1997),** A Simplified Approach to Image Processing: Classical and Modern Techniques in C, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 317 pp. ISBN: 0-13-226416-1.

**Damon, P.E.; Shafiqullah Muhammad; Roldan-Quintana, Jaime; and Cochemé, J.J., 1983,** El Batolito Laramide (90-40 Ma) de Sonora, *en* Grijalva-Noriega, F. J., and Roldan-Quintana, J, 1998, An Overview of the Cenozoic Tectonic and Magmatic Evolution of Northern Sonora, in Norwest México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, UNAM, V.15, No.2, p. 145-156.

**Garcia-Abdeslem, J., 1992,** Gravitational attraction of a rectangular prism with depth-dependent density: Geophysics, 57, 470-473.

**Garcia-Abdeslem, J., Atienza B., Martín., 2001,** A method to compute terrain corrections for gravimeter stations using a digital elevation model: Geophysics, 66, 1110-1115.

**Grant, F.S., West, G.F., 1965,** Interpretation Theory in Applied Geophysics, International series in the earth sciences, McGraw-Hill, 577 p.

**Grijalva-Noriega, F. J., and Roldan-Quintana, J, 1998,** An Overview of the Cenozoic Tectonic and Magmatic Evolution of Northern Sonora, in Norwest México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, UNAM, V.15, No.2, p. 145-156.

**Grijalva-Noriega, F.J., 2002,** Evolución de la tectónica distensiva Cenozoica en Sonora, Vol. Depto. Geol. Unison, Vols. 15,16,17, p. 63 – 84.

**GYMSA, 1990,** Determinación del potencial de explotación del acuífero La Victoria como fuente de abastecimiento a la Cd. De Hermosillo.

**Hammer, Sigmund, 1939,** Terrain corrections for gravimeter stations, *Geophysics*, 4, 184-194.

**Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 2002,** Carta topográfica, segunda edición, 1: 50 000, Hermosillo, Sonora H12D41.

**McDowell, F.W.; Roldan-Quintana, Jaime; Amaya-Martínez, Ricardo; and González-León, C.M., 1994,** The Tarahumara formation-a neglected component of the Laramide magmatic arc in Sonora, *en* Grijalva-Noriega, F. J., and Roldan-Quintana, J, 1998, An Overview of the Cenozoic Tectonic and Magmatic Evolution of Northern Sonora, in Norwest México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, UNAM, V.15, No.2, p. 145-156.

**McDowell, F.W., Clabaugh, S.E., 1979,** Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico, *en* Grijalva-Noriega, F. J., and Roldan-Quintana, J, 1998, An Overview of the Cenozoic Tectonic and Magmatic Evolution of Northern Sonora, in Norwest México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, UNAM, V.15, No.2, p. 145-156.

**Orozco-Garza, Jesús, 2002,** Petrología de los diques de lamprofido en el área de Hermosillo, Sonora, México: contribución a la evolución magmática del Terciario de Sonora central, Universidad de Sonora, Departamento de Geología, tesis de maestría.



**Paterson, R. Norman., Reeves, V. Colin., 1985,** Applications of gravity and magnetic surveys: The state of the art in 1985: *Geophysics*, 50, 2558-2594.

**Pitas, I. (2000),** Digital Image Processing Algorithms and Applications, John Wiley and Sons, New York, 419 pp. ISBN: 0-471-37739-2.

**Stewart, J. H., Roldán-Quintana, J., 1994,** Map showing late Cenozoic extensional tilt patterns and associated structures in Sonora and adjacent areas, Mexico: 1:1,000,000: en Grijalva-Noriega, F. J., and Roldan-Quintana, J, 1998, An Overview of the Cenozoic Tectonic and Magmatic Evolution of Northern Sonora, in *Norwest México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, UNAM, V.15, No.2, p. 145-156.

**Talwani, M., Worzel, J., Landisman, M., 1959,** Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone: *Journal of Geophysical Research*, v. 64, p. 49-59.

**Técnicas Modernas en Ingeniería, S.A., 1977.** Informe final del “Estudio Geohidrológico de las cuencas altas de los ríos Sonora, Zanjón y San Miguel” (para la dirección de aguas subterráneas, SARH).

**Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., And Keys, D.A., 1976,** Applied Geophysics: Cambridge University Press, 860 p.

**Valenzuela Rentería, M., 2003,** Sistema riedel en la evolución tectónica Terciaria de Sonora, México. Universidad de Sonora, Departamento de Geología, tesis de maestría, 95 p.

**W. L. Bandy, J. Ortega-Ramirez, J. M. Maillol, A. Valiente-Banuet and J. A. Rodriguez, 2002,** Geometry of the El Fresnal basin, northern Chihuahua, Mexico, as inferred from three-dimensional gravity modeling.: *Geofísica Internacional*, V.41, Num. 2, pp. 103-120.

**Wiggin, Ender (2001),** Elementary Digital Filtering,  
<http://www.gamedev.net/reference/articles/article1068.asp>, (09/20/2001).

**ANEXO 1**  
**BASES DE DATOS**



Sección 'A' Coyotita - Molinito

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE A	50489.084	3232327.014	392.169	3974.297	0.000	0.000	0.000	1.082	0.000	1.081	0.000	0.000
A-2	505117.679	3231986.602	351.627	3982.105	7.808	-12.511	0.207	0	4.537	0.041	-0.200	-10.156
A-3	506214.206	3231874.042	332.808	3986.275	11.978	-18.319	0.276	0	6.642	0.577	-0.300	-15.234
A-4	507176.637	3232491.714	312.541	3989.848	15.550	-24.573	-0.100	0	8.910	-0.213	-0.500	-25.390
A-5	508193.394	3232472.754	299.300	3992.970	18.673	-28.659	-0.089	0	10.392	0.317	-0.600	-30.468
A-6	509226.208	3232390.404	287.890	3995.285	20.988	-32.180	-0.039	0	11.668	0.437	-0.800	-40.624
A-7	510226.742	3232196.811	277.987	3997.310	23.013	-35.237	0.079	0	12.777	0.632	-1.000	-50.779
A-8	511220.173	3231972.172	270.841	3996.510	22.213	-37.442	0.216	0	13.576	-1.436	-1.667	-84.592
A-9	512148.776	3231747.064	260.620	3992.940	18.643	-40.596	0.353	0	14.720	-6.880	-6.667	-338.368
A-10	513172.339	3231651.937	261.384	3986.628	12.331	-40.360	0.411	0	14.634	-12.984	-12.500	-634.440
A-11	514129.961	3231116.113	273.905	3978.750	4.453	-36.496	0.738	0	13.233	-18.072	-17.222	-874.118
A-12	515140.325	3231471.944	268.045	3975.655	1.358	-38.305	0.521	0	13.889	-22.537	-21.389	-1085.598
A-13	516159.913	3231422.275	273.364	3972.875	-1.422	-36.663	0.551	0	13.294	-24.240	-22.778	-1156.092
A-14	517160.656	3231359.705	276.168	3972.690	-1.607	-35.798	0.589	0	12.980	-23.836	-21.944	-1113.795
A-15	518189.600	3231320.540	262.712	3979.098	4.800	-39.950	0.613	0	14.486	-20.051	-17.778	-902.315
A-16	519222.733	3231274.063	265.612	3983.238	8.941	-39.055	0.641	0	14.161	-15.312	-12.778	-648.539
A-17	520161.634	3231453.562	263.405	3986.110	11.813	-39.737	0.532	0	14.408	-12.983	-10.278	-521.651
A-18	521147.536	3231750.386	265.653	3986.188	11.891	-39.043	0.351	0	14.157	-12.644	-9.444	-479.355
A-19	522184.304	3231673.331	269.457	3986.530	12.233	-37.869	0.398	0	13.731	-11.507	-8.056	-408.862
A-20	523248.175	3231701.765	271.660	3989.140	14.843	-37.189	0.381	0	13.485	-8.481	-4.861	-246.727
A-21	524236.131	3231538.516	286.141	3988.318	14.021	-32.720	0.480	0	11.864	-6.355	-2.500	-126.888
A-22	525132.622	3231224.216	268.808	3992.555	18.258	-38.069	0.672	0	13.804	-5.336	-1.111	-56.395
A-23	525913.306	3231270.408	272.124	3992.225	17.928	-37.046	0.644	0.605	13.433	-4.436	0.000	0.000

Sección 'B' Coyotita Sur

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE B	506540.857	3230692.134	329.712	4079.018	0.000	0.000	0.000	0.993	0.000	0.993	0.000	0.000
B-2	507441.601	3229864.183	305.992	4083.083	4.065	-7.320	0.533	0	2.654	-0.068	-0.833	-42.296
B-3	509012.189	3230498.464	284.929	4087.428	8.410	-13.820	0.125	0	5.011	-0.274	-0.714	-36.254
B-4	510351.693	3229625.248	270.027	4086.343	7.325	-18.419	0.686	0	6.679	-3.729	-3.929	-199.396
B-5	511550.809	3230383.949	257.552	4086.505	7.488	-22.269	0.198	0	8.074	-6.508	-6.429	-326.284

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
B-6	512936.424	3229735.862	255.580	4079.745	0.727	-22.877	0.615	0	8.295	-13.239	-12.643	-641.691
B-7	514377.915	3230075.059	268.857	4072.148	-6.870	-18.780	0.397	0	6.809	-18.443	-17.619	-894.259
B-8	515898.586	3230365.638	268.930	4067.113	-11.905	-18.757	0.210	0	6.801	-23.651	-22.476	-1140.784
B-9	517158.129	3229999.463	258.679	4071.598	-7.420	-21.921	0.446	0	7.948	-20.947	-19.643	-996.978
B-10	518705.766	3230149.781	259.130	4078.125	-0.892	-21.782	0.349	0	7.898	-14.427	-12.857	-652.567
B-11	519918.210	3230018.139	258.887	4082.250	3.233	-21.857	0.434	0	7.925	-10.265	-8.452	-429.003
B-12	521219.070	3230533.981	258.508	4085.120	6.102	-21.974	0.102	0	7.967	-7.802	-5.714	-290.030
B-13	522045.251	3229925.386	260.327	4085.210	6.193	-21.412	0.493	0	7.764	-6.962	-4.667	-236.858
B-14	523774.106	3229668.508	258.776	4087.308	8.290	-21.891	0.659	0	7.937	-5.005	-2.381	-120.846
B-15	525942.223	3230644.792	282.059	4084.380	5.363	-14.706	0.030	1.099	5.332	-2.882	0.000	0.000

Sección 'C' San Pedro Norte - Molinito

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE C	507725.498	3227798.751	332.070	4080.739	0.000	0.000	0.000	0.544	0.000	0.544	0.000	0.000
C-2	509129.857	3228194.647	293.697	4084.585	3.846	-11.842	-0.254	0	4.294	-3.956	-3.911	-198.484
C-3	510814.492	3228532.912	263.452	4086.150	5.411	-21.176	-0.471	0	7.678	-8.557	-7.598	-385.626
C-4	512197.261	3228649.596	251.927	4084.068	3.329	-24.732	-0.546	0	8.968	-12.982	-11.453	-581.275
C-5	513688.127	3228820.141	252.292	4078.848	-1.892	-24.619	-0.655	0	8.927	-18.239	-15.922	-808.114
C-6	515136.565	3228866.125	258.744	4073.710	-7.029	-22.628	-0.684	0	8.205	-22.137	-19.022	-965.484
C-7	516490.307	3228442.377	261.897	4071.928	-8.812	-21.655	-0.413	0	7.852	-23.028	-19.218	-975.408
C-8	517534.814	3228536.676	250.490	4075.698	-5.041	-25.176	-0.473	0	9.129	-21.562	-17.095	-867.659
C-9	519146.551	3228541.657	253.755	4080.730	-0.009	-24.168	-0.476	0	8.763	-15.890	-10.894	-552.920
C-10	520433.643	3228782.811	253.556	4085.570	4.831	-24.229	-0.631	0	8.785	-11.244	-5.587	-283.549
C-11	522323.367	3228619.213	254.986	4087.868	7.129	-23.788	-0.526	0	8.625	-8.560	-1.955	-99.242
C-12	523598.880	3228685.556	263.951	4086.565	5.826	-21.022	-0.569	0.886	7.622	-7.256	0.000	0.000

Sección 'D' TEC - San Juan de Pinos

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE D	508201.339	3226737.643	308.368	4083.028	0.000	0.000	0.000	0.571	0.000	0.571	0.000	0.000
D-2	509512.405	3226974.744	281.408	4086.493	3.465	-8.320	-0.152	0	3.017	-1.991	-1.957	-99.304
D-3	510793.753	3226794.952	259.457	4086.635	3.607	-15.094	-0.037	0	5.473	-6.051	-5.556	-281.974
D-4	511574.908	3227194.730	252.365	4085.920	2.892	-17.283	-0.294	0	6.267	-8.418	-7.246	-367.792
D-5	512746.420	3227114.680	247.513	4082.633	-0.395	-18.780	-0.242	0	6.809	-12.608	-10.918	-554.139



Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
D-6	513933.614	3227189.254	245.357	4079.688	-3.340	-19.445	-0.290	0	7.051	-16.025	-13.841	-702.482
D-7	515392.852	3226575.114	244.378	4075.645	-7.383	-19.747	0.104	0	7.160	-19.866	-17.150	-870.440
D-8	516488.110	3226957.352	246.005	4074.847	-8.181	-19.245	-0.141	0	6.978	-20.589	-17.271	-876.570
D-9	517324.223	3227311.325	246.524	4076.562	-6.466	-19.085	-0.369	0	6.920	-19.000	-15.145	-768.684
D-10	518144.329	3226649.571	246.055	4078.692	-4.336	-19.230	0.057	0	6.973	-16.537	-12.198	-619.116
D-11	519402.835	3227084.569	249.945	4080.822	-2.206	-18.029	-0.223	0	6.537	-13.921	-8.986	-456.062
D-12	520440.474	3227024.597	249.876	4083.100	0.072	-18.051	-0.184	0	6.545	-11.619	-5.604	-284.425
D-13	521423.044	3227034.566	252.653	4084.845	1.817	-17.194	-0.191	0	6.234	-9.334	-3.889	-197.381
D-14	522735.301	3226965.210	256.841	4085.047	2.019	-15.901	-0.146	0	5.766	-8.263	-1.691	-85.818
D-15	523602.339	3227500.285	269.659	4083.887	0.859	-11.946	-0.490	0	4.331	-7.246	-0.242	-12.260
D-16	524850.187	3227781.184	321.662	4072.495	-10.534	4.103	-0.671	0.893	-1.488	-7.696	0.000	0.000

Sección 'E' Electra

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE E	508473.266	3225494.108	300.217	3982.326	0.000	0.000	0.000	0.607	0.000	0.607	0.000	0.000
E-2	509250.772	3225405.693	275.014	3986.203	3.876	-7.778	0.057	0	2.820	-1.024	-1.208	-61.299
E-3	510496.025	3225687.753	256.875	3986.555	4.229	-13.375	-0.124	0	4.850	-4.421	-4.179	-212.093
E-4	511505.499	3225515.952	246.531	3985.808	3.481	-16.567	-0.014	0	6.007	-7.093	-6.546	-332.238
E-5	512445.575	3225879.969	243.297	3982.470	0.144	-17.566	-0.248	0	6.369	-11.300	-10.024	-508.778
E-6	513426.871	3225810.993	242.704	3979.115	-3.211	-17.749	-0.204	0	6.435	-14.728	-13.043	-662.025
E-7	514429.043	3225871.722	245.902	3975.863	-6.463	-16.762	-0.243	0	6.078	-17.390	-15.217	-772.362

Sección 'F' Agroquimicos

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE F	508597.273	3224600.593	300.912	3982.916	0.000	0.000	0.000	0.569	0.000	0.569	0.000	0.000
F-2	509584.194	3224625.302	265.824	3988.485	5.569	-10.828	-0.016	0	3.926	-1.349	-1.522	-77.236
F-3	510623.059	3224810.053	252.715	3988.398	5.481	-14.874	-0.135	0	5.393	-4.134	-3.841	-194.930
F-4	511570.499	3224576.342	241.925	3987.825	4.909	-18.203	0.016	0	6.600	-6.678	-5.821	-295.459
F-5	512602.663	3224665.495	239.771	3983.015	0.099	-18.868	-0.042	0	6.841	-11.969	-10.628	-539.428
F-6	513658.774	3224355.084	236.895	3978.838	-4.079	-19.756	0.158	0	7.163	-16.513	-14.734	-747.843
F-7	514597.260	3225325.734	244.374	3976.185	-6.731	-17.448	-0.466	0	6.326	-18.318	-16.014	-812.819
F-8	515646.949	3225205.373	238.539	3975.048	-7.869	-19.248	-0.388	0	6.979	-20.526	-17.754	-901.089
F-9	516566.396	3225486.419	241.061	3975.548	-7.369	-18.470	-0.569	0	6.697	-19.710	-16.425	-833.661
F-10	517397.610	3225385.559	242.000	3978.408	-4.508	-18.180	-0.504	0	6.592	-16.601	-12.802	-649.765
F-11	518561.366	3225156.209	244.124	3981.800	-1.116	-17.525	-0.357	0	6.354	-12.643	-8.454	-429.090

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
F-12	519437.560	3224846.780	246.436	3983.033	0.117	-16.811	-0.158	0	6.096	-10.757	-5.942	-301.589
F-13	521130.470	3224781.282	265.920	3982.030	-0.886	-10.799	-0.116	0	3.915	-7.885	-2.657	-134.857
F-14	522050.472	3224608.543	260.689	3984.055	1.139	-12.413	-0.005	0	4.501	-6.778	-1.087	-55.169
F-15	523052.815	3224827.682	280.548	3979.818	-3.099	-6.284	-0.146	0	2.279	-7.250	-1.087	-55.169
F-16	523584.484	3225478.825	273.339	3981.633	-1.284	-8.509	-0.564	0.631	3.085	-6.640	0.000	0.000

Sección 'G' Blockmex

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE G	508685.808	3223548.665	281.893	3985.280	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.500	0.000	0.000
G-2	509719.655	3223613.071	257.483	3987.215	1.935	-7.533	-0.041	0	2.731	-2.908	-2.957	-150.070
G-3	510768.622	3223623.349	242.904	3988.233	2.952	-12.032	-0.048	0	4.363	-4.765	-4.471	-226.934
G-4	511691.330	3223748.555	236.027	3986.843	1.562	-14.154	-0.128	0	5.132	-7.588	-6.947	-352.602
G-5	512184.251	3223763.463	234.240	3985.525	0.245	-14.706	-0.138	0	5.332	-9.266	-8.173	-414.826
G-6	512810.603	3223319.641	234.669	3981.193	-4.088	-14.573	0.147	0	5.284	-13.230	-11.779	-597.838
G-7	513731.137	3222999.200	232.361	3977.203	-8.077	-15.286	0.353	0	5.542	-17.468	-15.577	-790.610
G-8	514999.860	3223341.168	236.394	3972.817	-12.463	-14.041	0.133	0	5.091	-21.280	-18.918	-960.201
G-9	515672.236	3223674.845	236.218	3972.683	-12.598	-14.095	-0.081	0	5.111	-21.663	-18.990	-963.861
G-10	516623.338	3223053.360	237.302	3972.913	-12.368	-13.761	0.318	0	4.990	-20.821	-17.572	-891.877
G-11	516746.992	3223730.421	238.384	3973.543	-11.738	-13.427	-0.117	0	4.869	-20.413	-16.827	-854.054
G-12	517578.937	3223986.582	240.689	3976.448	-8.832	-12.716	-0.281	0	4.611	-17.219	-13.221	-671.043
G-13	518692.445	3223907.938	243.421	3980.268	-5.013	-11.872	-0.231	0	4.305	-12.811	-8.510	-431.908
G-14	519691.565	3223478.098	259.958	3979.400	-5.880	-6.769	0.045	0	2.454	-10.149	-5.481	-278.178
G-15	520636.683	3224017.642	267.331	3981.020	-4.260	-4.494	-0.301	0	1.629	-7.426	-2.404	-122.008
G-16	521663.418	3223862.063	270.276	3980.918	-4.363	-3.585	-0.201	0	1.300	-6.849	-1.418	-71.985
G-17	522550.605	3223608.531	269.562	3981.028	-4.253	-3.805	-0.038	0	1.380	-6.716	-0.841	-42.703
G-18	523717.042	3223750.936	280.983	3978.683	-6.598	-0.281	-0.130	0	0.102	-6.906	-0.673	-34.162
G-19	524771.363	3223841.028	288.129	3976.918	-8.363	1.924	-0.188	0	-0.698	-7.324	-0.649	-32.942
G-20	525107.930	3223500.029	288.273	3976.708	-8.573	1.969	0.031	0.253	-0.714	-7.033	0.000	0.000

Sección 'H' Ej. La Victoria - Las Zayas

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE H	507391.077	3222317.597	318.176	3977.250	0.000	0.000	0.000	0.800	0.000	0.800	0.000	0.000
H-2	508493.104	3222566.981	276.862	3984.830	7.580	-12.750	-0.160	0	4.623	-0.707	-1.130	-57.344



Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
H-3	509538.191	3222343.169	251.348	3986.560	9.310	-20.623	-0.016	0	7.478	-3.852	-3.894	-197.653
H-4	510628.688	3222315.685	238.086	3985.778	8.528	-24.716	0.001	0	8.962	-7.225	-6.851	-347.722
H-5	511565.644	3222322.216	231.614	3984.465	7.215	-26.713	-0.003	0	9.686	-9.815	-9.014	-457.529
H-6	512656.509	3222428.100	232.061	3980.763	3.512	-26.575	-0.071	0	9.636	-13.498	-12.380	-628.340
H-7	513406.287	3222007.390	230.858	3976.678	-0.573	-26.946	0.199	0	9.771	-17.549	-16.298	-827.213
H-8	514134.685	3221631.416	231.684	3972.988	-4.262	-26.691	0.441	0	9.678	-20.835	-18.942	-961.421
H-9	515090.235	3221924.050	234.529	3970.045	-7.205	-25.813	0.253	0	9.360	-23.406	-20.649	-1048.047
H-10	515671.221	3221920.784	235.405	3969.645	-7.605	-25.543	0.255	0	9.262	-23.632	-21.274	-1079.769
H-11	517073.348	3221968.762	242.715	3970.693	-6.557	-23.287	0.224	0	8.444	-21.177	-18.029	-915.058
H-12	518028.572	3221980.709	247.983	3973.335	-3.915	-21.662	0.216	0	7.854	-17.506	-14.014	-711.305
H-13	519083.767	3222274.979	254.931	3976.975	-0.275	-19.517	0.027	0	7.077	-12.688	-8.894	-451.429
H-14	520125.243	3222326.997	264.165	3978.870	1.620	-16.668	-0.006	0	6.044	-9.010	-4.856	-246.456
H-15	521135.022	3222333.560	271.810	3978.593	1.342	-14.309	-0.010	0	5.188	-7.788	-3.341	-169.591
H-16	522106.840	3222514.421	279.307	3978.570	1.320	-11.995	-0.126	0	4.349	-6.452	-1.611	-81.745
H-17	523137.265	3222451.177	287.271	3976.825	-0.425	-9.537	-0.086	0	3.458	-6.590	-1.322	-67.104
H-18	524080.611	3222132.893	326.059	3969.365	-7.885	2.433	0.119	0.546	-0.882	-5.670	0.000	0.000

Sección 'I' R. Guayaacanes - Club de Tiro

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE I	506825.964	3221107.712	288.700	4095.421	0.000	0.000	0.000	0.981	0.000	0.981	0.000	0.000
I-2	507926.132	3221025.458	256.023	4100.775	5.354	-10.084	0.053	0	3.673	-1.004	-1.923	-97.606
I-3	508895.769	3220995.436	244.420	4100.968	5.546	-13.665	0.072	0	4.977	-3.069	-3.726	-189.112
I-4	510002.469	3221044.846	232.149	4099.975	4.554	-17.452	0.040	0	6.356	-6.501	-6.947	-352.602
I-5	510841.197	3220933.360	231.909	4097.380	1.959	-17.526	0.112	0	6.383	-9.071	-9.327	-473.390
I-6	511907.636	3221055.593	229.444	4095.230	-0.191	-18.286	0.033	0	6.660	-11.784	-11.779	-597.838
I-7	512855.173	3220605.697	229.768	4091.178	-4.244	-18.186	0.322	0	6.624	-15.484	-15.216	-772.309
I-8	513913.567	3220633.268	230.615	4086.220	-9.201	-17.925	0.305	0	6.529	-20.293	-19.832	-1006.564
I-9	514854.756	3220769.823	231.390	4083.038	-12.383	-17.686	0.217	0	6.442	-23.411	-22.548	-1144.433
I-10	515813.868	3220603.186	234.866	4082.458	-12.963	-16.613	0.324	0	6.051	-23.202	-22.163	-1124.912
I-11	516766.611	3220352.793	241.818	4082.115	-13.306	-14.468	0.485	0	5.270	-22.020	-20.721	-1051.707
I-12	517816.546	3220131.833	244.431	4084.408	-11.013	-13.661	0.626	0	4.976	-19.073	-17.524	-889.437
I-13	518801.333	3220142.051	246.686	4087.303	-8.119	-12.966	0.620	0	4.722	-15.742	-14.014	-711.305
I-14	519846.881	3220755.329	254.879	4090.320	-5.101	-10.437	0.226	0	3.801	-11.511	-9.495	-481.931
I-15	520795.259	3220921.257	257.287	4093.108	-2.313	-9.694	0.120	0	3.531	-8.357	-6.274	-318.440
I-16	521811.698	3220938.547	264.687	4093.588	-1.834	-7.410	0.109	0	2.699	-6.436	-3.870	-196.433

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
1-17	522740.095	3221144.337	312.276	4087.103	-8.318	7.276	-0.024	0.831	-2.650	-2.885	0.000	0.000
Sección 'J' Gasolinera												
Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE J	508417.858	3219491.559	241.049	4098.883	0.000	0.000	0.000	0.532	0.000	0.532	0.000	0.000
J-2	509420.260	3219495.970	223.708	4099.200	0.317	-5.351	-0.003	0	1.940	-3.097	-3.365	-170.811
J-3	510459.157	3219412.236	226.027	4095.885	-2.998	-4.636	0.051	0	1.681	-5.902	-5.793	-294.039
J-4	511539.536	3219308.585	225.791	4092.953	-5.930	-4.709	0.117	0	1.707	-8.814	-8.438	-428.247
J-5	512413.207	3219354.015	226.604	4089.890	-8.993	-4.458	0.088	0	1.616	-11.746	-11.106	-563.676
J-6	513449.910	3219580.078	227.093	4086.703	-12.180	-4.307	-0.057	0	1.562	-14.982	-14.038	-712.525
J-7	514596.888	3219452.006	229.194	4081.423	-17.460	-3.658	0.025	0	1.327	-19.767	-18.462	-937.020
J-8	515377.410	3219571.244	235.601	4079.698	-19.185	-1.681	-0.051	0	0.610	-20.308	-18.750	-951.661
J-9	516406.735	3219322.598	238.512	4080.310	-18.573	-0.783	0.108	0	0.284	-18.964	-17.067	-866.255
J-10	517487.846	3219117.376	239.131	4082.333	-16.550	-0.592	0.240	0	0.215	-16.688	-14.423	-732.047
J-11	518433.793	3218880.073	248.016	4082.733	-16.150	2.150	0.392	0	-0.780	-14.388	-11.971	-607.599
J-12	519398.620	3219414.699	250.723	4085.413	-13.470	2.985	0.049	0	-1.082	-11.518	-8.846	-448.989
J-13	520410.592	3219439.928	255.584	4087.238	-11.645	4.486	0.033	0	-1.626	-8.753	-5.769	-292.819
J-14	52242.605	3219452.720	269.566	4086.618	-12.265	8.800	0.025	0	-3.191	-6.631	-3.438	-174.471
J-15	523452.311	3219692.004	283.661	4084.425	-14.458	13.150	-0.129	0	-4.768	-6.205	-2.644	-134.209
J-16	524648.031	3219048.139	305.258	4081.688	-17.195	19.815	0.285	0.586	-7.185	-3.695	0.000	0.000

Sección 'K' Coloso Alto

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE K	508562.983	3218419.888	228.369	4099.375	0.000	0.000	0.000	0.264	0.000	0.264	0.000	0.000
K-2	509398.096	3217952.461	219.944	4097.533	-1.842	-2.600	0.300	0	0.943	-3.200	-3.193	-162.076
K-3	510727.058	3217719.287	221.534	4092.620	-6.755	-2.109	0.449	0	0.765	-7.650	-7.412	-376.186
K-4	511696.833	3218022.109	223.015	4090.615	-8.760	-1.652	0.255	0	0.599	-9.558	-9.076	-460.636
K-5	512671.831	3217571.488	223.418	4088.583	-10.793	-1.528	0.544	0	0.554	-11.222	-10.437	-529.731
K-6	513705.836	3217981.993	230.139	4083.953	-15.423	0.546	0.281	0	-0.198	-14.793	-13.782	-699.484
K-7	514685.894	3218162.119	232.702	4080.813	-18.563	1.337	0.165	0	-0.485	-17.545	-16.185	-821.467
K-8	516225.341	3217854.955	235.785	4081.080	-18.295	2.289	0.362	0	-0.830	-16.474	-14.958	-759.196
K-9	517338.672	3217616.923	237.473	4082.463	-16.913	2.809	0.515	0	-1.019	-14.607	-12.891	-654.273
K-10	518588.684	3217920.580	243.694	4083.253	-16.122	4.729	0.320	0	-1.715	-12.788	-10.840	-550.204



Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
K-11	519550.518	3217644.585	248.702	4084.095	-15.280	6.275	0.497	0	-2.275	-10.783	-8.571	-435.045
K-12	520783.276	3217668.775	257.554	4084.873	-14.503	9.006	0.482	0	-3.266	-8.280	-5.849	-296.854
K-13	522099.674	3218045.606	268.633	4085.200	-14.175	12.425	0.240	0	-4.505	-6.015	-3.193	-162.076
K-14	523332.868	3218072.886	282.974	4082.575	-16.800	16.851	0.223	0	-6.110	-5.836	-2.857	-145.015
K-15	524667.648	3217774.551	314.450	4078.325	-21.050	26.565	0.414	0.548	-9.632	-3.156	0.000	0.000

Sección 'L' Col. Ranchito - R. Las Cruces

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE L	507815.150	3217142.972	229.259	4090.545	0.000	0.000	0.000	0.278	0.000	0.278	0.000	0.000
L-2	509228.594	3216719.516	216.599	4087.880	-2.665	-3.907	0.272	0	1.417	-4.884	-4.465	-226.628
L-3	510458.443	3216666.286	218.012	4084.533	-6.012	-3.471	0.306	0	1.259	-7.919	-6.822	-346.237
L-4	512420.770	3216747.865	225.952	4078.580	-11.965	-1.021	0.253	0	0.370	-12.362	-10.589	-537.455
L-5	513872.220	3216916.181	223.850	4075.633	-14.913	-1.669	0.145	0	0.605	-15.831	-13.349	-677.523
L-6	515013.468	3216781.353	232.716	4072.663	-17.883	1.067	0.232	0	-0.387	-16.971	-13.814	-701.130
L-7	516460.965	3217092.802	237.579	4072.488	-18.057	2.568	0.032	0	-0.931	-16.389	-12.682	-643.687
L-8	518132.713	3216973.174	241.859	4072.950	-17.595	3.888	0.109	0	-1.410	-15.008	-10.667	-541.389
L-9	519453.672	3216805.092	249.391	4073.655	-16.890	6.213	0.217	0	-2.253	-12.713	-7.674	-389.517
L-10	521103.701	3216748.699	259.592	4074.555	-15.990	9.361	0.253	0	-3.394	-9.771	-4.186	-212.464
L-11	522476.724	3216931.391	269.851	4073.235	-17.310	12.527	0.136	0	-4.542	-9.190	-2.946	-149.512
L-12	524220.816	3216505.155	277.001	4071.343	-19.203	14.733	0.409	0	-5.342	-9.402	-2.605	-132.200
L-13	525177.521	3216812.874	298.309	4068.715	-21.830	21.309	0.212	0.558	-7.726	-7.478	0.000	0.000

Sección 'M' Vertedor Sur

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE M	507950.594	3215640.126	224.641	4097.086	0.000	0.000	0.000	0.267	0.000	0.267	0.000	0.000
M-2	509068.324	3215321.950	215.100	4096.038	-1.048	-2.944	0.204	0	1.068	-2.721	-2.720	-138.079
M-3	510088.491	3215265.051	218.658	4091.483	-5.604	-1.846	0.240	0	0.669	-6.540	-6.211	-315.250
M-4	511275.595	3215742.157	221.150	4089.093	-7.994	-1.077	-0.065	0	0.391	-8.746	-8.323	-422.435
M-5	512524.003	3215528.007	226.968	4086.255	-10.831	0.718	0.072	0	-0.260	-10.301	-9.453	-479.810
M-6	513464.407	3215393.619	229.978	4084.688	-12.399	1.647	0.158	0	-0.597	-11.191	-10.037	-509.444
M-7	514630.932	3215591.201	233.970	4082.288	-14.798	2.879	0.031	0	-1.044	-12.932	-11.491	-583.212
M-8	515987.010	3215224.853	239.060	4083.863	-13.224	4.450	0.266	0	-1.613	-10.121	-8.385	-425.587
M-9	516974.683	3215285.586	243.212	4082.430	-14.656	5.731	0.227	0	-2.078	-10.776	-8.696	-441.350

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
M-10	517961.768	3215070.996	247.147	4081.458	-15.629	6.945	0.365	0	-2.518	-10.837	-8.460	-429.370
M-11	518898.899	3215033.854	248.304	4081.890	-15.196	7.302	0.389	0	-2.648	-10.153	-7.453	-378.300
M-12	523266.378	3215596.379	269.664	4081.878	-15.209	13.894	0.028	0	-5.038	-6.324	-3.304	-167.713
M-13	524402.694	3215355.021	276.777	4077.638	-19.449	16.089	0.183	0	-5.834	-9.010	-5.714	-290.030
M-14	525661.259	3214992.335	286.904	4076.993	-20.093	19.214	0.415	0	-6.967	-7.431	-3.901	-197.977
M-15	526448.515	3215483.364	299.433	4077.743	-19.344	23.081	0.101	0.621	-8.369	-3.910	0.000	0.000

Sección 'N' Cerro Cementera - R. Las Cruces

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE N	506645.386	3214226.235	242.733	4085.563	0.000	0.000	0.000	0.462	0.000	0.462	0.000	0.000
N-2	507951.244	3214125.336	217.170	4088.460	2.898	-7.889	0.065	0	2.860	-2.066	-1.815	-92.111
N-3	509226.764	3213841.126	217.437	4084.820	-0.742	-7.806	0.247	0	2.831	-5.471	-4.469	-226.832
N-4	510265.867	3213425.390	218.623	4081.333	-4.230	-7.440	0.514	0	2.698	-8.459	-6.790	-344.634
N-5	510346.796	3213832.255	219.860	4081.145	-4.418	-7.059	0.253	0	2.559	-8.664	-6.272	-318.317
N-6	511588.467	3214658.509	225.008	4078.728	-6.835	-5.470	-0.277	0	1.983	-10.599	-7.444	-377.845
N-7	513159.779	3213990.283	230.212	4076.013	-9.550	-3.864	0.151	0	1.401	-11.862	-8.025	-407.295
N-8	514465.529	3213557.434	235.175	4074.053	-11.510	-2.332	0.429	0	0.846	-12.568	-7.926	-402.282
N-9	515938.328	3214193.445	238.260	4075.628	-9.935	-1.380	0.021	0	0.501	-10.794	-5.432	-275.707
N-10	517145.703	3214478.022	243.038	4073.805	-11.758	0.094	-0.161	0	-0.034	-11.859	-5.790	-293.879
N-11	518383.237	3213991.514	247.968	4072.700	-12.863	1.616	0.151	0	-0.586	-11.682	-4.840	-245.630
N-12	519933.890	3213755.154	255.532	4072.495	-13.068	3.950	0.302	0	-1.432	-10.248	-2.617	-132.841
N-13	521673.726	3213599.091	253.835	4073.118	-12.445	3.426	0.402	0	-1.242	-9.859	-1.519	-77.073
N-14	523121.692	3214266.397	267.816	4071.535	-14.028	7.741	-0.026	0	-2.807	-9.119	0.000	0.000
N-15	524277.960	3213962.752	272.838	4067.600	-17.963	9.290	0.169	0.432	-3.369	-11.440	-1.605	-81.459

Sección 'O' Col. Las Lomas - R. Las Cruces

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE O	505272.661	3213165.679	268.234	4080.507	0.000	0.000	0.000	0.639	0.000	0.639	0.000	0.000
O-2	506745.410	3212924.208	233.901	4085.715	5.209	-10.595	0.155	0	3.842	-1.390	-1.333	-67.674
O-3	508061.265	3212904.940	222.154	4084.758	4.251	-14.220	0.167	0	5.156	-4.646	-3.951	-200.515
O-4	509438.783	3212811.464	223.040	4081.663	1.156	-13.947	0.227	0	5.057	-7.507	-6.111	-310.171
O-5	510573.700	3212325.809	227.420	4079.945	-0.562	-12.595	0.539	0	4.567	-8.051	-10.914	-553.921
O-6	511576.512	3211869.848	228.058	4079.525	-0.981	-12.398	0.831	0	4.496	-8.053	-5.284	-268.188



Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
O-7	512693.397	3212729.911	227.316	4077.010	-3.496	-12.627	0.279	0	4.579	-11.266	-7.802	-396.016
O-8	514392.999	3212740.243	234.459	4073.813	-6.694	-10.423	0.273	0	3.779	-13.065	-8.889	-451.158
O-9	515698.034	3212417.243	239.970	4075.350	-5.157	-8.722	0.480	0	3.163	-10.236	-5.519	-280.094
O-10	517304.938	3212992.942	245.504	4073.968	-6.539	-7.014	0.111	0	2.543	-10.899	-5.370	-272.574
O-11	518841.740	3212768.582	254.231	4070.840	-9.666	-4.321	0.255	0	1.567	-12.166	-5.938	-301.398
O-12	520319.070	3212667.932	258.699	4072.288	-8.219	-2.943	0.319	0	1.067	-9.775	-2.864	-145.373
O-13	521590.580	3212235.054	272.132	4071.210	-9.296	1.203	0.597	0.304	-0.436	-7.629	0.000	0.000
O-14	522997.605	3212866.545	267.836	4069.655	-10.851	-0.123	0.192	0.307	0.045	-10.431	-2.123	-107.777

Sección 'P' Cerro Piedra Bola - Mazatan

Estación	Longitud	Latitud	Elev	Gobs	Gobs-Base	C.E.	C.L.	C.T.	C.B.	A.B.	RES	Z
BASE P	504959.430	3211881.979	238.251	3378.037	0.000	0.000	0.000	0.630	0.000	0.630	0.000	0.000
P-2	505504.132	3211721.948	240.238	3377.015	-1.022	0.613	0.102	0	-0.222	-0.529	-0.617	-31.330
P-3	506038.760	3211522.440	236.979	3375.432	-2.605	-0.393	0.230	0	0.142	-2.625	-2.235	-113.416
P-4	506560.739	3211376.727	237.021	3374.465	-3.572	-0.380	0.323	0	0.138	-3.491	-2.617	-132.841
P-5	507073.769	3211292.342	236.077	3373.465	-4.572	-0.671	0.377	0	0.243	-4.622	-3.395	-172.317
P-6	507685.799	3211309.291	234.352	3372.152	-5.885	-1.203	0.367	0	0.436	-6.286	-4.457	-226.205
P-7	508191.999	3211317.378	234.089	3371.385	-6.652	-1.284	0.361	0	0.466	-7.109	-4.691	-238.111
P-8	508727.256	3211331.496	234.636	3371.412	-6.625	-1.116	0.352	0	0.405	-6.984	-4.173	-211.793
P-9	509204.825	3211342.452	235.046	3371.580	-6.457	-0.989	0.345	0	0.359	-6.742	-3.420	-173.570
P-10	509678.563	3211361.938	232.631	3372.440	-5.597	-1.734	0.333	0	0.629	-6.370	-2.531	-128.455
P-11	510283.293	3211373.890	234.738	3371.862	-6.175	-1.084	0.325	0	0.393	-6.541	-2.222	-112.789
P-12	510806.688	3211388.282	231.768	3372.085	-5.952	-2.001	0.316	0	0.725	-6.911	-2.111	-107.150
P-13	511292.845	3211398.778	229.552	3372.317	-5.720	-2.684	0.309	0	0.973	-7.122	-1.852	-93.991
P-14	511855.331	3211418.439	227.600	3372.500	-5.537	-3.287	0.297	0	1.192	-7.336	-1.580	-80.206
P-15	512375.776	3211411.720	227.111	3370.537	-7.500	-3.438	0.301	0	1.247	-9.390	-3.160	-160.412
P-16	512922.260	3211426.342	229.429	3368.595	-9.442	-2.723	0.292	0	0.987	-10.886	-4.111	-208.660
P-17	513679.006	3211446.064	230.818	3367.455	-10.582	-2.294	0.279	0	0.832	-11.765	-4.543	-230.592
P-18	514662.810	3211486.600	232.525	3367.537	-10.500	-1.767	0.253	0	0.641	-11.373	-3.654	-185.476
P-19	515254.868	3211485.670	236.736	3366.632	-11.405	-0.468	0.254	0	0.170	-11.449	-3.210	-162.918
P-20	515783.474	3211498.700	240.327	3366.845	-11.192	0.641	0.245	0	-0.232	-10.538	-1.840	-93.365
P-21	516357.138	3211530.203	248.602	3366.520	-11.517	3.194	0.225	0	-1.158	-9.256	0.000	0.000
P-22	516981.362	3211544.029	261.212	3364.572	0.000	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0.000	0.000
P-23	517435.421	3211556.518	255.487	3364.925	0.353	-1.767	-0.008	0	0.641	-0.781	-0.847	-42.989
P-24	517888.904	3211567.662	258.865	3363.862	-0.710	-0.724	-0.015	0	0.263	-1.187	-1.314	-66.703

P-25	518417.481	3211580.571	261.674	3362.472	-2.100	0.143	-0.023	0	-0.052	-2.033	-2.240	-113.714
P-26	519350.797	3211606.412	267.547	3361.907	-2.665	1.955	-0.040	0	-0.709	-1.459	-1.721	-87.366
P-27	519856.418	3211620.062	269.100	3362.500	-2.072	2.434	-0.049	0	-0.883	-0.569	-0.902	-45.763
P-28	520351.572	3211633.609	267.771	3362.972	-1.600	2.024	-0.057	0	-0.734	-0.367	-0.765	-38.829
P-29	520902.896	3211627.052	267.661	3363.812	-0.760	1.990	-0.053	0	-0.722	0.455	0.000	0.000
P-30	521404.303	3211656.839	274.677	3362.860	0.000	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0.000	0.000
P-31	522153.824	3211674.719	266.548	3363.457	0.597	-2.509	-0.011	0	0.910	-1.013	-1.076	-54.637
P-32	522665.213	3211774.934	266.856	3362.410	-0.450	-2.413	-0.076	0	0.875	-2.064	-2.188	-111.064
P-33	523186.074	3211861.353	268.788	3361.100	-1.760	-1.817	-0.131	0	0.659	-3.049	-3.247	-164.805
P-34	523699.726	3211934.483	272.003	3359.650	-3.210	-0.825	-0.178	0	0.299	-3.914	-4.182	-212.276
P-35	524752.101	3212104.507	275.433	3358.817	-4.043	0.233	-0.287	0	-0.085	-4.181	-4.529	-229.891
P-36	525289.245	3212185.913	277.881	3358.922	-3.938	0.989	-0.339	0	-0.359	-3.646	-4.059	-206.007
P-37	525807.374	3212261.557	280.808	3359.435	-3.425	1.892	-0.387	0	-0.686	-2.606	-3.106	-157.640
P-38	526480.022	3212368.613	283.807	3360.315	-2.545	2.818	-0.456	0	-1.022	-1.205	-1.776	-90.165
P-39	527014.430	3212459.444	288.107	3360.780	-2.080	4.144	-0.514	0	-1.503	0.048	-0.618	-31.349
P-40	527509.886	3212530.540	292.669	3360.627	-2.233	5.552	-0.559	0	-2.013	0.747	0.000	0.000
P-41	528013.357	3212587.674	294.578	3360.377	-2.483	6.142	-0.596	0	-2.227	0.836	0.000	0.000
P-42	528510.827	3212689.436	295.892	3359.530	-3.330	6.547	-0.661	0	-2.374	0.182	-0.706	-35.827
P-43	529098.242	3212782.358	299.098	3359.490	-3.370	7.536	-0.720	0	-2.733	0.713	-0.235	-11.942
P-44	529592.855	3212849.258	306.557	3357.440	-5.420	9.838	-0.763	0	-3.567	0.088	-0.941	-47.770
P-45	530062.251	3212921.516	309.998	3357.880	-4.980	10.900	-0.809	0	-3.952	1.158	0.000	0.000
P-46	530527.773	3212996.347	313.196	3356.657	-6.203	11.887	-0.857	0	-4.310	0.517	-0.659	-33.439
P-47	531037.210	3213070.787	318.884	3355.865	-6.995	13.642	-0.905	0	-4.947	0.796	-0.471	-23.885
P-48	531473.939	3213147.591	322.623	3354.605	-8.255	14.796	-0.954	0	-5.365	0.222	-1.100	-55.831
P-49	531992.473	3213222.188	334.592	3352.270	-10.590	18.490	-1.002	0.400	-6.704	0.594	0.000	0.000



**ANEXO 2**  
**PERFILES GRAVIMÉTRICOS**

### Sección A.

La sección 'A' inicia en la Sierra del Bachoco y termina en el Cerro El Molinito, en la margen derecha del Río Sonora, con una longitud total de 21.72 Km. Esta constituida por un total de 23 estaciones gravimétricas, con espaciamento medio de 1000 m.

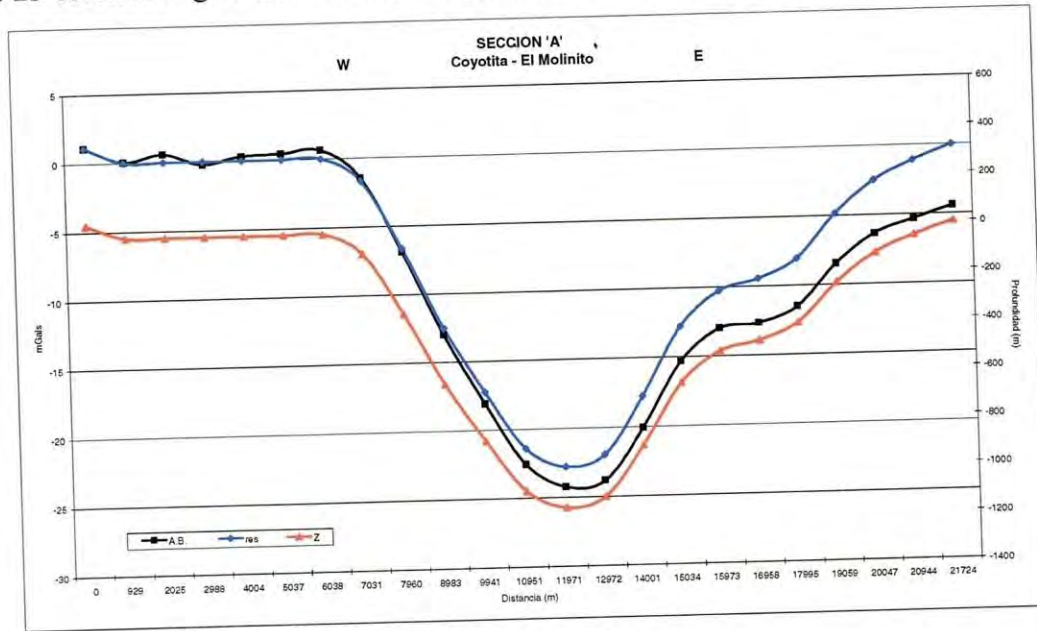


Figura 3.2.- Sección gravimétrica 'A'.

### Sección B.

Inicia en la Sierra del Bachoco y termina en el cerro Santa Gertrudis. Se extiende 19 Km. y cuenta con 15 estaciones con espaciamento medio de 1130 m.

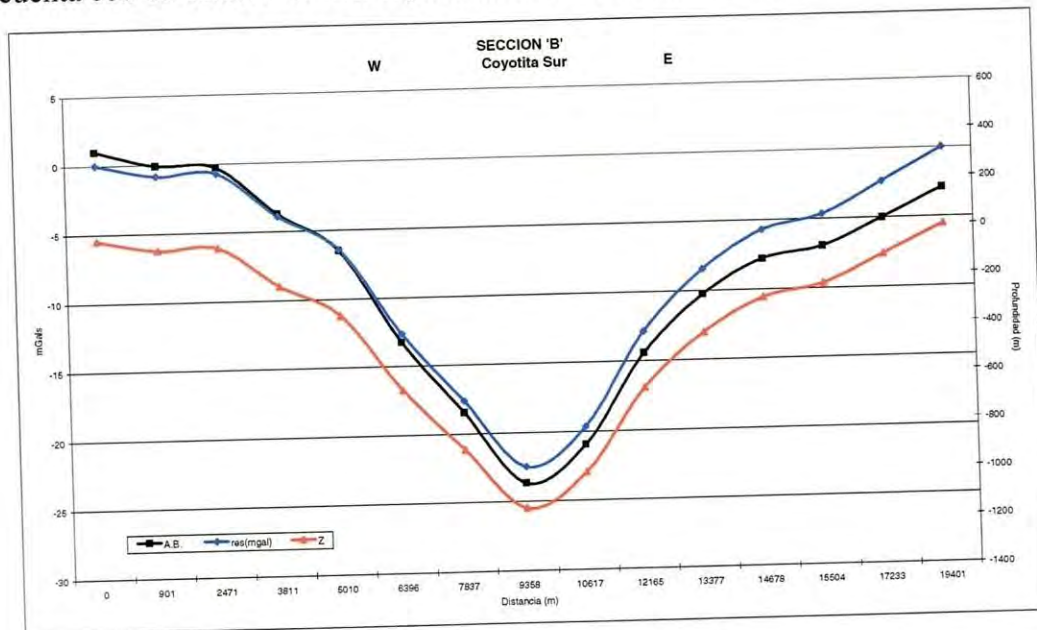


Figura 3.3.- Sección gravimétrica 'B'.



### Sección C.

Inicia en la Sierra del Bachoco, y termina en el ejido Fructuoso Mendez. Tiene una extensión de 16 Km., y 12 estaciones con espaciamento medio de 1440 m.

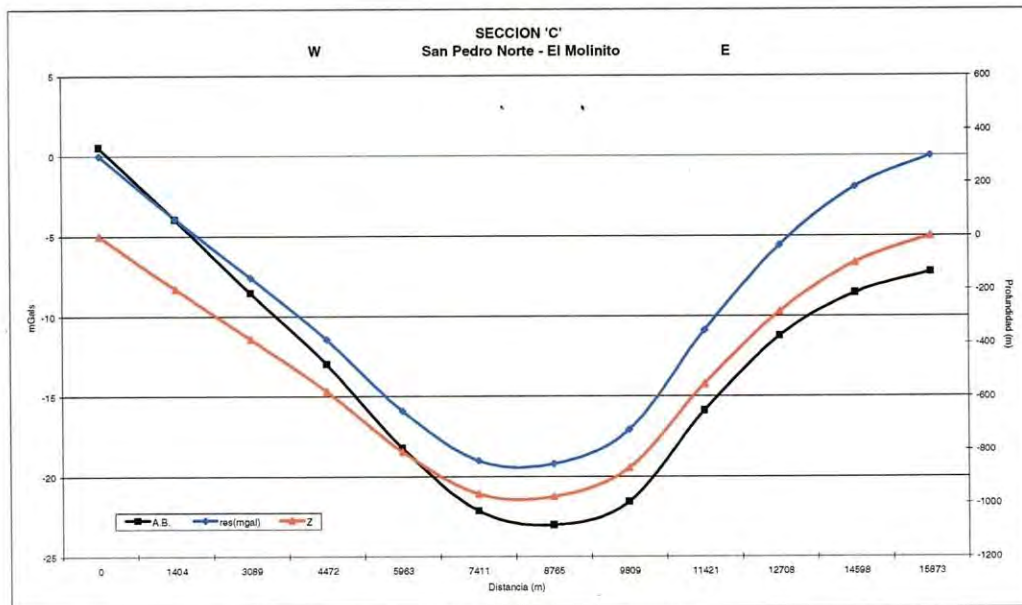


Figura 3.4.- Sección gravimétrica 'C'.

### Sección D.

Inicia en El Crucero y finaliza en el Cerro Las Animas. Se extiende 16 Km. con un total de 16 estaciones y espaciamento medio de 1184 m.

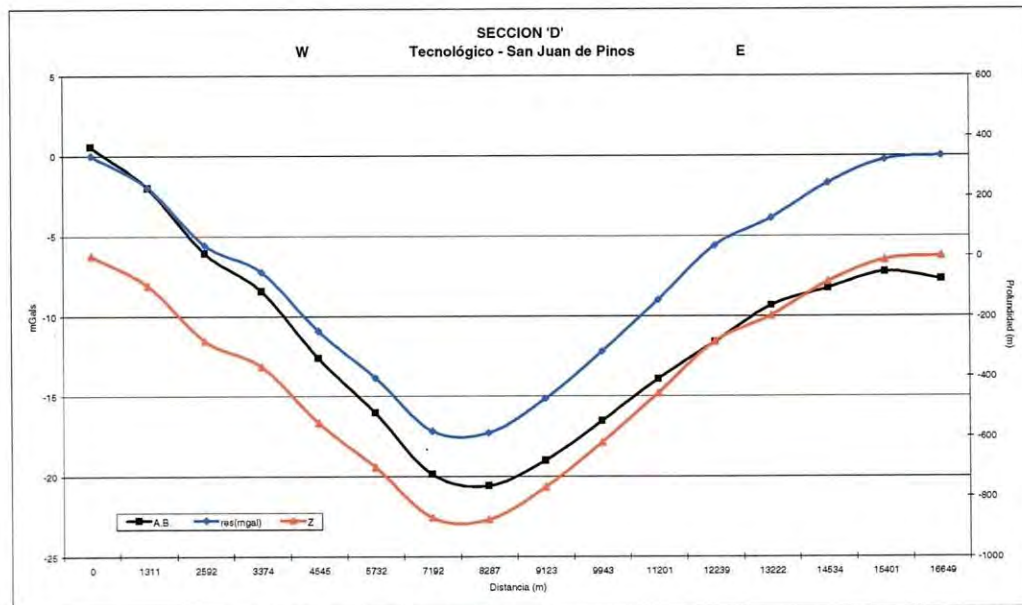


Figura 3.5.- Sección gravimétrica 'D'.

### Sección E.

Inicia en la sierra del Bachoco y cuenta con un total de 7 estaciones, sin embargo el procesamiento de los datos se llevó a cabo considerando las estaciones 7 a 16 del perfil D con lo que suman 17, finalizando en el cerro Las Animas con un espaciamiento medio de 963 m.

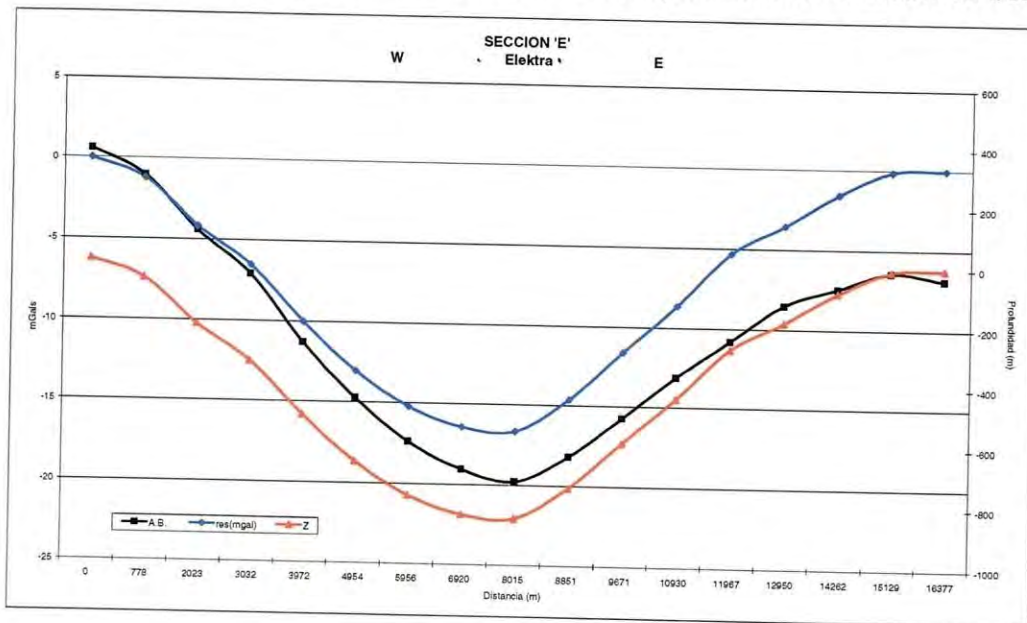


Figura 3.6.- Sección gravimétrica 'E'.

### Sección F.

Se extiende 15 Km. desde la carretera federal MEX 15, cercana a los cerros Santa Gertrudis. Cuenta con 16 estaciones gravimétricas y un espaciamiento medio de 936 m.

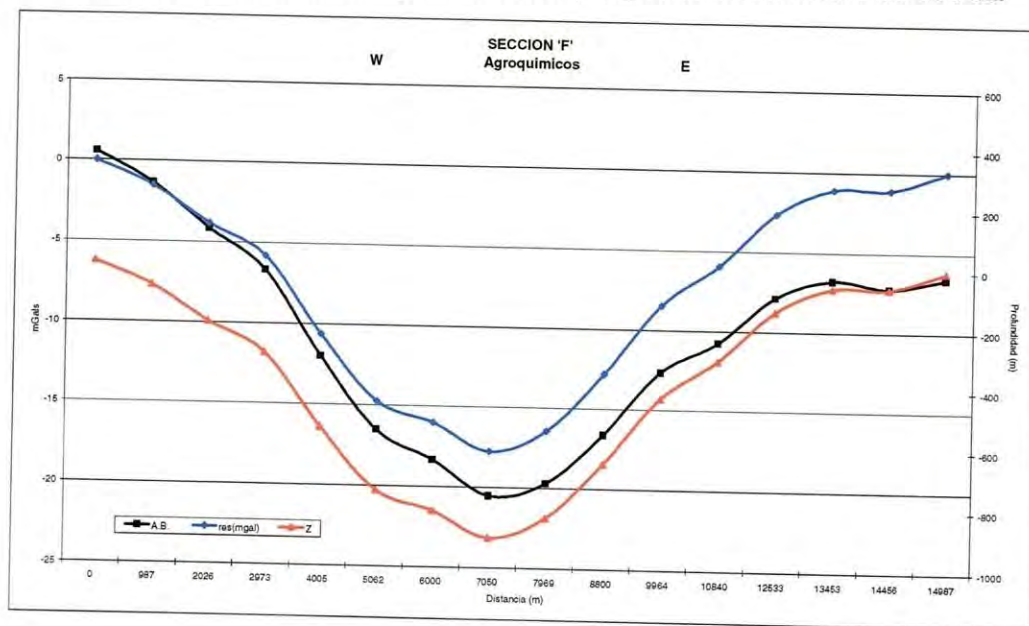


Figura 3.7.- Sección gravimétrica 'F'.



### Sección G.

Inicia en Industria Block Méx, y finaliza en las cercanías del rancho Las Zayas. Se extiende 16.42 Km. con un total de 20 estaciones con espaciamiento medio de 821 m.

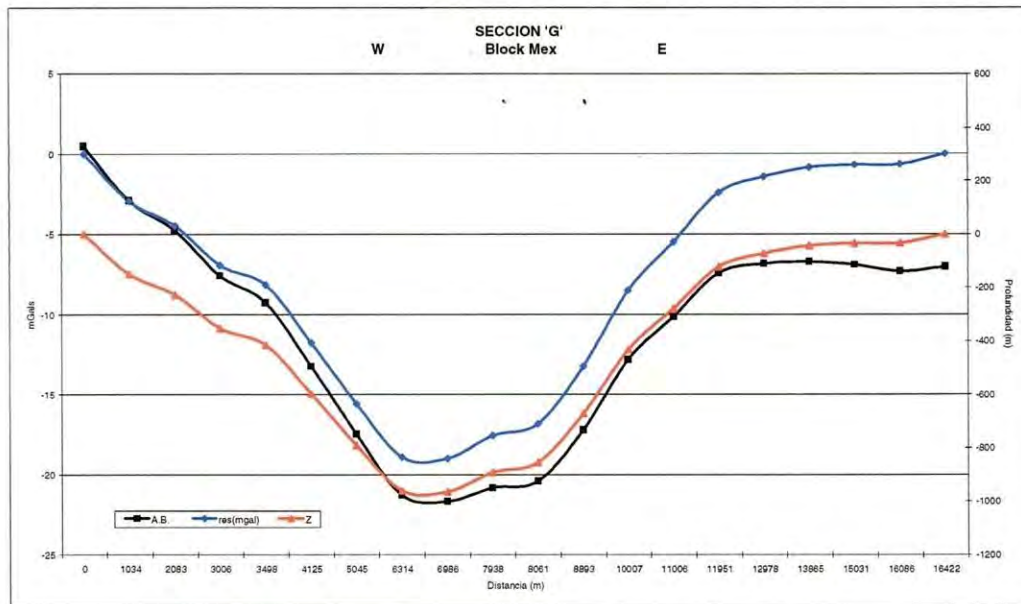


Figura 3.8.- Sección gravimétrica 'G'.

### Sección H.

Inicia en residencial La Hacienda y finaliza en la sierra Los Leyva. Tiene una longitud de 16.68 Km. y 18 estaciones con espaciamiento medio de 926 m.

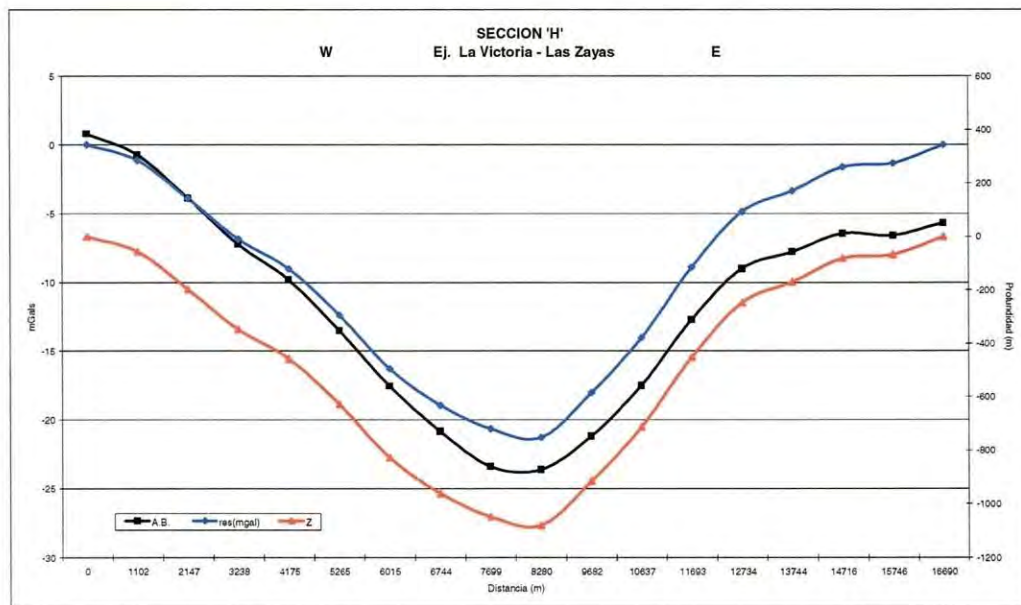


Figura 3.9.- Sección gravimétrica 'H'.

### Sección I.

Inicia en el Rancho Los Guayacanes y finaliza en la sierra Los Leyva. Su extensión es de 15.91 Km. con 17 estaciones con espaciamiento medio de 935 m.

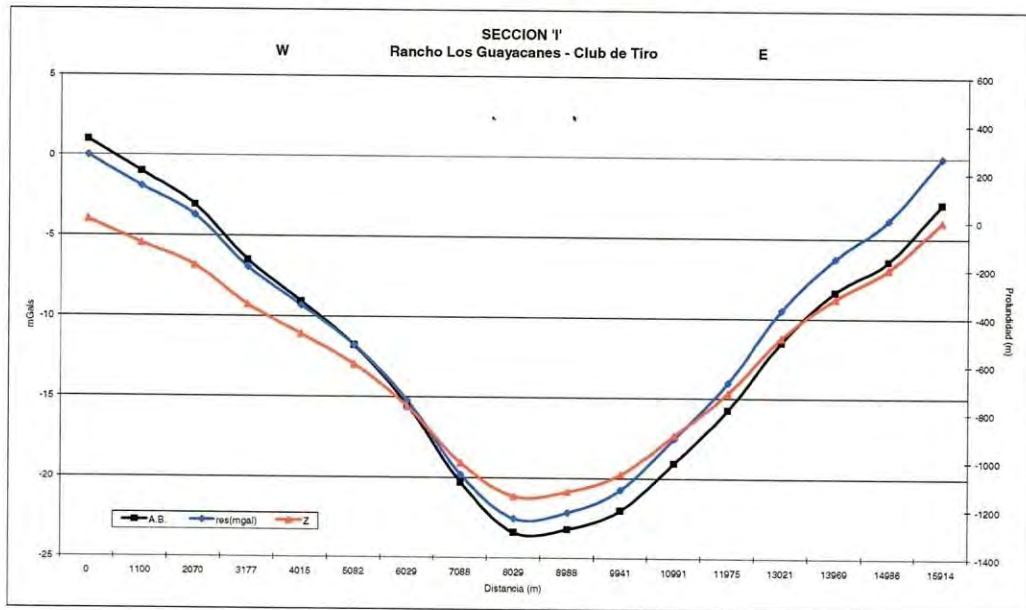


Figura 3.10.- Sección gravimétrica 'I'.

### Sección J.

Inicia en un afloramiento sobre la carretera MEX 15 y termina en la sierra Los Leyva. Su extensión es de 16.23 Km. y 16 estaciones con espaciamiento medio de 1014 m.

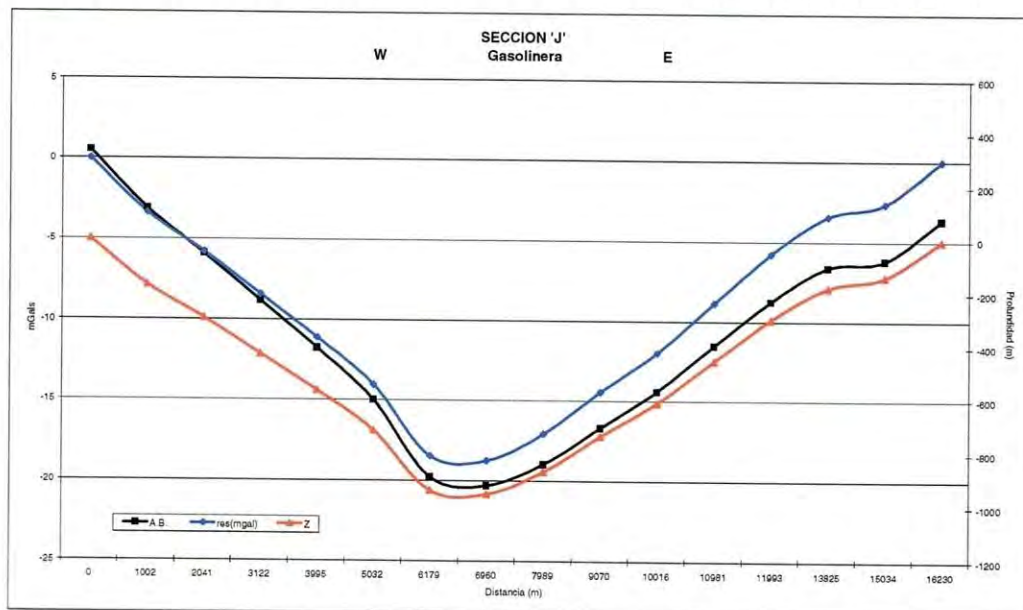


Figura 3.11.- Sección gravimétrica 'J'.



### Sección K.

Inicia en los cerros del Coloso Alto y finaliza en la sierra Los Leyva. Su extensión es de 18 Km. con 15 estaciones con espaciamento medio de 1058 m.

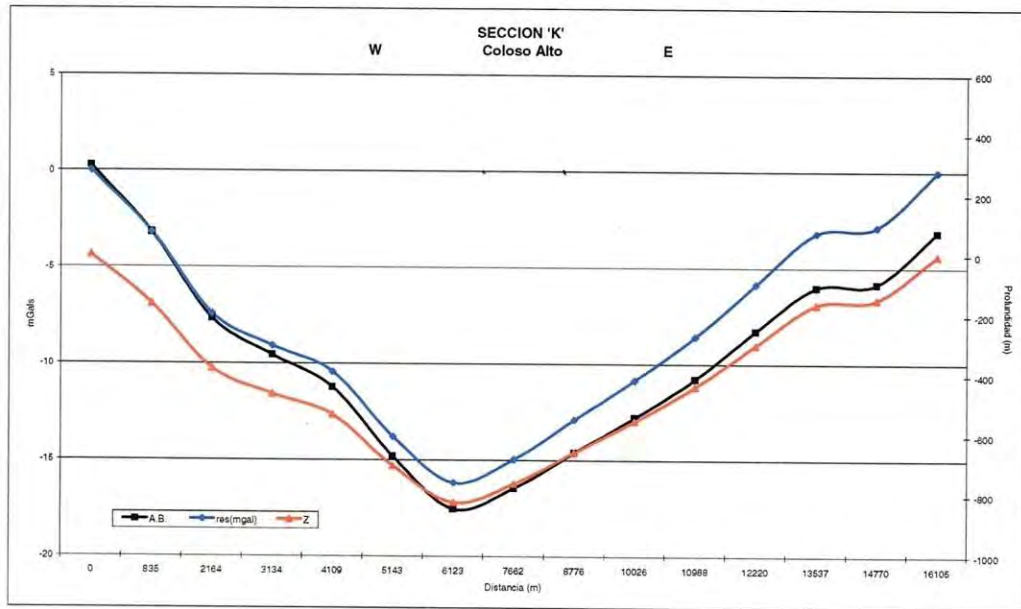


Figura 3.12.- Sección gravimétrica 'K'.

### Sección L.

Inicia en la colonia Ranchito y finaliza en la sierra Los Leyva. Su extensión es de 19.48 Km. y 13 estaciones con espaciamento medio de 1391 m.

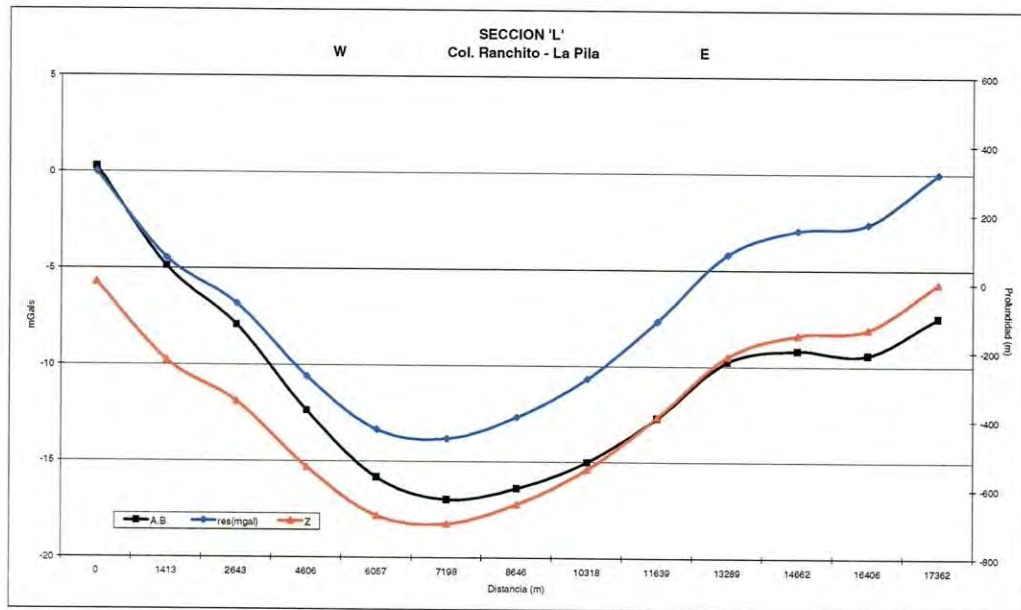


Figura 3.13.- Sección gravimétrica 'L'.

### Sección M.

Inicia en el vertedor de la presa A. Rodríguez L. y finaliza en la sierra Los Leyva. Su extensión es de 18.49 Km. y 15 estaciones con espaciamento medio de 915 m.

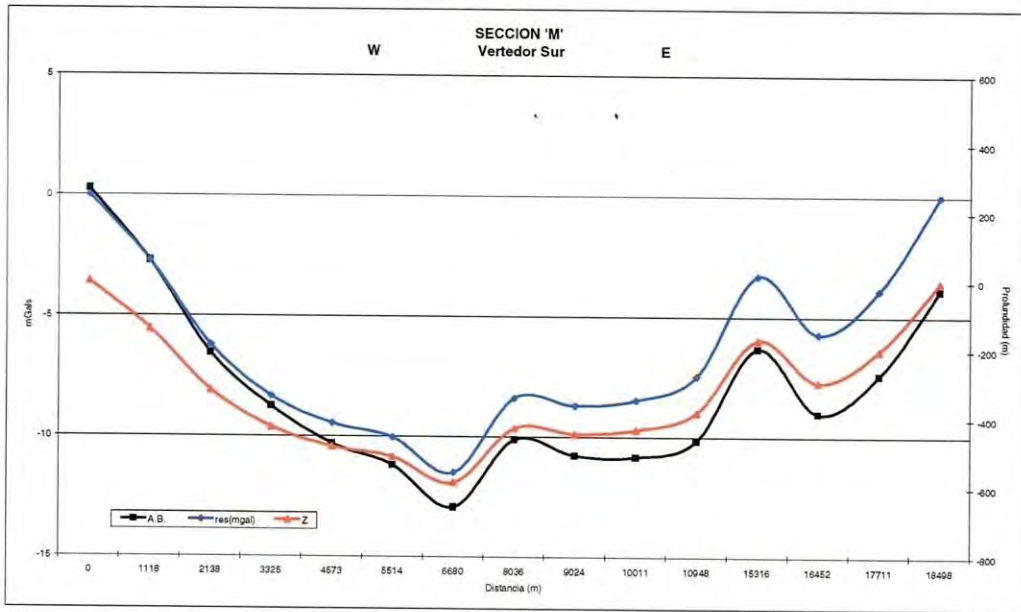


Figura 3.14.- Sección gravimétrica 'M'.

### Sección N.

Inicia en los cerros de la cementera y finaliza en la sierra Los Leyva. Su extensión es de 18.58 Km. y 15 estaciones con espaciamento medio de 1161 m.

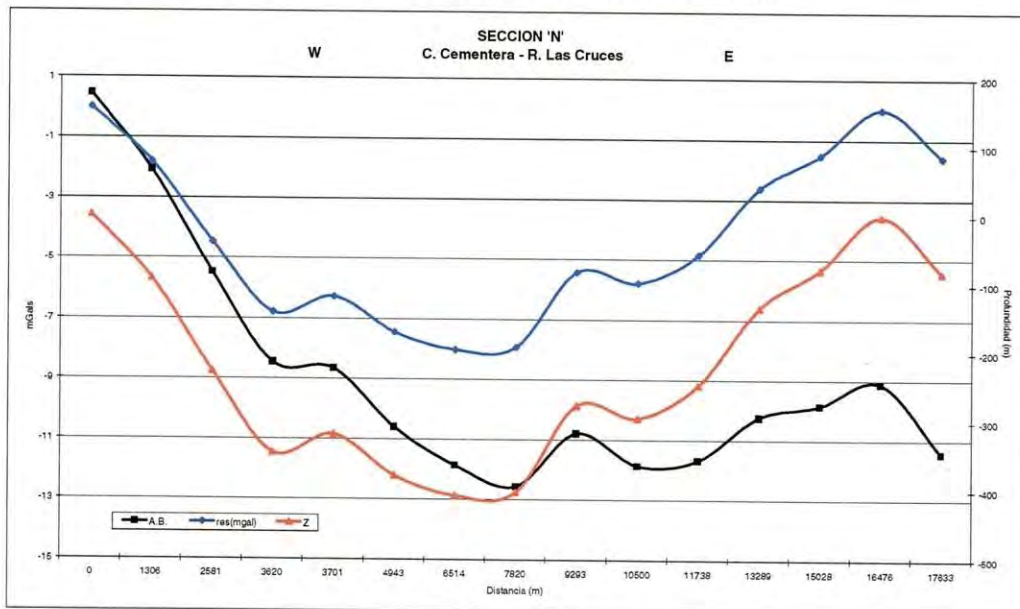


Figura 3.15.- Sección gravimétrica 'N'.



### Sección O.

Inicia en la colonia Las Lomas y finaliza en la sierra Los Leyva. Su extensión es de 17.30 Km. y 15 estaciones con espaciamento medio de 1153 m.

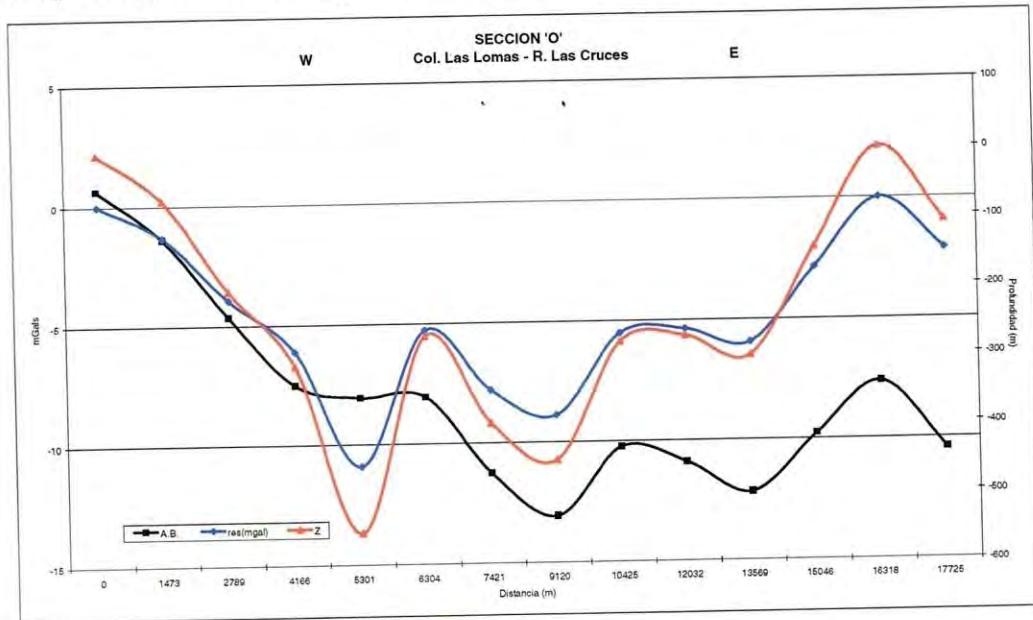


Figura 3.16.- Sección gravimétrica 'O'.

### Sección P.

Inicia en el cerro Piedra Bola y finaliza en un afloramiento al Este del área de estudio, Su extensión es de 27 Km. con 49 estaciones con espaciamento de 500 m.

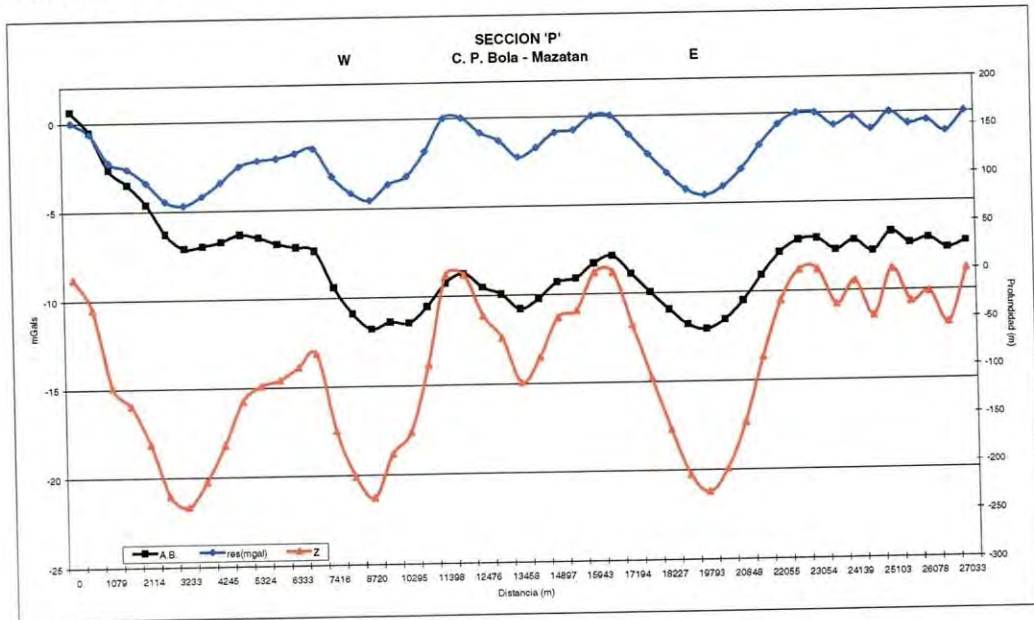
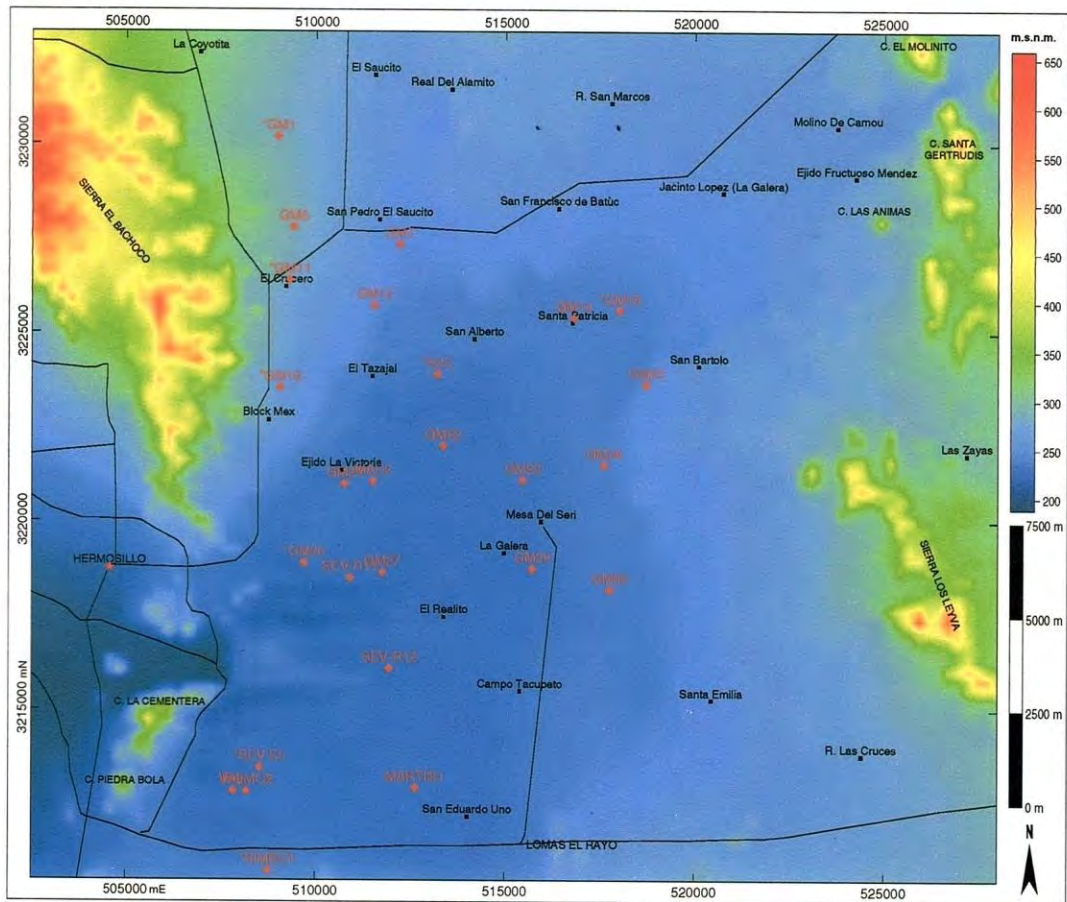


Figura 3.17.- Sección gravimétrica 'P'.

**ANEXO 3**  
**SONDEOS ELÉCTRICOS**



En la figura se muestra la localización de los sondeos eléctricos verticales que se analizaron para el área San Pedro – Mesa del Séri en el presente trabajo.



En la tabla siguiente se presenta la base de datos de los sondeos eléctricos verticales considerados en este estudio. En ella se muestran las coordenadas, elevación, profundidad de penetración y resistividades de cada uno de los sondeos. También se indican los sondeos seleccionados los cuales coinciden con la profundidad calculada con el método gravimétrico.

SEV	X	Y	Elevación	Profundidad	Resistividad
B-3	507820	3212858	225	345.420	899.810
*BIMBO1	508747	3210749	225	181.150	1662.700
*GM1	509000	3230200	288	99.480	1537.490
*GM11	509300	3226400	287	65.740	282.900
GM12	511530	3225730	250	225.000	
GM14	516800	3225400	240	423.000	
*GM15	518000	3225600	243	436.450	668.630
*GM16	509050	3223550	270	104.000	1453.830
GM20	518700	3223650	250	230.000	
GM21	510750	3221000	228	260.310	8794.480
GM22	513350	3222000	230	357.000	2925.040
GM23	515450	3221100	228	650.000	
GM24	517600	3221500	242	322.000	
*GM26	509680	3218900	220	319.760	7966.240
GM27	511750	3218650	218	414.400	3314.530
GM29	515710	3218750	234	480.000	
GM30	517750	3218200	239	474.870	436.010
GM6	509400	3227800	290	78.900	446.630
GM7	512200	3227350	245	390.000	
MAD2	511501	3221065	223	92.000	2557.140
MARTIN1	512626	3212933	225	148.300	1224.690
*S2C	513200	3223900	236	384.000	1393.890
*SEV S5	508525	3213477	220	191.620	7074.360
SEV-R11	510888	3218504	230	111.570	5281.250
SEV-R12	511940	3216107	230	57.110	4657.270
VALMO2	508173	3212843	225	117.700	118.600
* Sondeos considerados en la interpretación					

Rio T. 1530