



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
INSTITUTO DE GEOLOGÍA**

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA  
CUENCA LOS ALISOS (*BASIN AND RANGE*),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO.**

**Tesis que para optar el grado de  
Doctor en Ciencias**

**Presenta**

**Francisco Javier Grijalva Noriega**

**Tutor**

**Dr. César Jacques Ayala  
INSTITUTO DE GEOLOGÍA**

**MÉXICO, D.F. DICIEMBRE DE 2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. César Jacques Ayala por dirigirme en este trabajo, y haberme brindado su apoyo y amistad.

A los sinodales Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca, Dr. Rogelio Monreal Saavedra, Dr. Jaime Roldán Quintana y Dr. Jorge Ramírez Hernández, por todos sus valiosos comentarios que enriquecieron y mejoraron este trabajo.

A todos aquellos maestros, compañeros de profesión, amigos e inclusive estudiantes y administrativos, y algún que otro enemigo, que de alguna manera estuvieron involucrados en el desarrollo de este trabajo.

A las dos grandes instituciones de la Universidad Nacional Autónoma de México (Instituto de Geología) y de la Universidad de Sonora (Departamento de Geología), por haberme formado con las herramientas para desarrollarme como geólogo, Investigador y docente; además de haberme brindado el mejor ambiente de trabajo.

Y..... por supuesto

..... primero a Dios por haberme permitido concluir este episodio de mi vida profesional

..... a mi chapita y los dos flacos que tengo como familia, de la cual me siento más que orgulloso, por su amor, comprensión, motivación y paciencia que siempre me han regalado....son los mejores!!!!!!!

..... a mis padres, por haberme dado esto.....una vida.....y.....también a todos y cada uno de mis familiares.

<b>ÍNDICE</b>	
<b>RELACIÓN DE FIGURAS</b>	iii
<b>RELACIÓN DE TABLAS</b>	vi
<b>RESUMEN</b>	vii
<b>ABSTRACT</b>	ix
<b>I.- INTRODUCCIÓN</b>	1
I.1.- Generalidades	1
I.2.- Área de estudio	3
I.3.- Objetivos	3
I.4.- Metas	4
I.5.- Metodología	6
I.5.1.- Trabajo de Campo	7
I.5.2.- Integración	8
<b>II.- ESTRATIGRAFÍA</b>	11
II.1.- Basamento	13
II.1.1.- Riolita El Pinito	13
II.1.2.- Conglomerado Cocóspera	15
II.1.3.- Ensamble Intrusivo El Jaralito	16
II.2.- Relleno Sedimentario (Cenozoico)	18
II.2.1.- Formación Báucarit	18
II.2.2.- Aloformación Ímuris	20
II.2.2.1.- Designación de la Unidad	21
II.2.2.2.- Descripción de la Unidad	21
II.2.2.2.1.- Alomiembro Inferior	23
II.2.2.2.2.- Alomiembro Superior	28
II.2.2.3.- Espesor de la Unidad	29
II.2.2.4.- Edad y Correlación de la Unidad	30
<b>III.- LITOFACIES DE LA ALOFORMACIÓN ÍMURIS</b>	34
III.1.- Gravas Masivas con Textura Incluida (Gmm)	34
III.2.- Gravas Estratificadas con Textura Sostenida (Gh)	36
III.3.- Gravas con Estratificación Cruzada (Gp)	38
III.4.- Arenas Estratificadas (Sh)	39
III.5.- Arenas Lenticulares (Sl)	40
III.6.- Limos Arenosos (Fl)	42
III.7.- Limos (F)	43
III.8.- Sedimentos Carbonatados (P)	43
<b>IV.- ASOCIACIÓN DE LITOFACIES Y AMBIENTE DE DEPÓSITO</b>	46
IV.1.- Análisis de Clastos de la Aloformación Ímuris	55
<b>V.- EVOLUCIÓN DE LA CUENCA LOS ALISOS</b>	61
<b>VI.- GEOFÍSICA</b>	64
VI.1.- Gravimetría	64
VI.1.1.- Perfil 1-1'	70
VI.1.2.- Perfil 2-2'	72
VI.1.3.- Perfil 3-3'	73
VI.1.4.- Perfil 4-4'	76

VI.1.5.- Perfil F-F'	78
VI.1.6.- Perfil G-G'	79
VI.1.7. Perfil 1A-1A'	80
VI.1.8.- Filtros	82
VI.1.9.- Plano de Profundidad al Basamento	84
VI.2.- Sondeos Eléctricos Verticales	86
VI.2.1.- Sección Geoeléctrica A-A'	86
VI.2.2.- Sección Geoeléctrica B-B'	89
VI.2.3.- Sección Geoeléctrica C-C'	91
VI.2.4.- Sección Geoeléctrica D-D'	92
<b>VII.- DISCUSIÓN</b>	96
<b>VIII.- CONCLUSIONES</b>	105
<b>IX.- REFERENCIAS</b>	108
<b>ANEXO I (DATOS GRAVIMÉTRICOS)</b>	116
<b>ANEXO II (SECCIONES GRAVIMÉTRICAS COMPLEMENTARIAS)</b>	122
<b>ANEXO 3 (SECCIONES MEDIDAS)</b>	131
<b>ANEXO 4 (TABLAS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES)</b>	145

**RELACIÓN DE FIGURAS**

Fig. 1	Localización del área de estudio en el marco de la provincia fisiográfica del <i>Basin and Range</i>	4
Fig. 2	Topografía e hidrografía general del área de estudio	5
Fig. 3	Vista panorámica de la sierra El Pinito, viendo al este.	6
Fig. 4	Vista panorámica de la sierra Cíbuta, viendo al NW	7
Fig. 5	Escala de Wentworth para los diferentes tamaños de grano de los sedimentos donde se muestra la nomenclatura utilizada en este trabajo. Modificada de Prothero (2001)	8
Fig. 6	Equipo utilizado en el levantamiento gravimétrico en el área de estudio. A) Gravímetro CG-3 de Scintrex. B) GPS TRIMBLE GL-4600	9
Fig. 7	Columna estratigráfica esquemática de la Cuenca Ímuris-Cíbuta	11
Fig. 8	Geología superficial de la cuenca Ímuris-Cíbuta	12
Fig. 9	Discordancia erosional entre la aloformación Ímuris y la Riolita el Pinito en las inmediaciones del rancho Agua Caliente.	14
Fig. 10	Aloformación Ímuris cubriendo la falla normal del límite oriental de la cuenca en la cañada Las Rastras. Vista hacia el sur.	14
Fig. 11	Detalle de las características polimícticas del conglomerado Cocóspera. Cz = caliza, Tb = toba lítica, Ri = riolita, Q = cuarcita, Ar = arenisca	15
Fig. 12	Discordancia angular entre la Aloformación Ímuris y conglomerado Cocóspera en la porción sur de la sierra El Pinito	16
Fig. 13	Discordancia erosional entre el granito del ensamble intrusivo El Jaralito y la Aloformación Ímuris	17
Fig. 14	Afloramiento de la Formación Báucarit sobre el cambio de terracería Nogales-Sáric. Vista hacia el SW	19
Fig. 15	Discordancia angular entre el conglomerado del Mioceno (Formación Báucarit) y los sedimentos de la Aloformación Ímuris en las inmediaciones del Rancho El Toro. Vista hacia el NW.	19
Fig. 16	Ejemplo de una clasificación aloestratigráfica dentro de un sistema aluvial-lacustre en una cuenca de graben. Redibujada de <i>North American Commission on Stratigraphic Nomenclature</i> (2005).	20
Fig. 17	Localización de los diferentes sitios donde se llevó a cabo la medición de secciones.	22
Fig. 18	Panorámica del afloramiento del alomembro inferior de la Aloformación Ímuris en la cañada La Emilia. Vista hacia el NW.	23
Fig. 19	Afloramiento de una secuencia de disminución en el tamaño de grano hacia arriba en el sitio ST1 con arenas en la base (2.10 metros) y lodos en la cima (1.60 metros).	24
Fig. 20	Afloramiento de la secuencia arenosa con estratificación cruzada plana en el sitio ST2-SC1 con intercalaciones de lentes de grava en la cima.	25
Fig. 21	Detalle de la capa basal de grava masiva en la sección ST7-SC2	26
Fig. 22	Afloramiento de gravas de textura sostenida en la sección ST3-SC2.	27
Fig. 23	Panorámica viendo al NE del inicio de la cañada La Emilia (izquierda). Afloramiento de grava de textura sostenida del alomembro superior en la sección ST6-SC3 (derecha).	29
Fig. 24	Columnas medidas compuestas de tres sitios, donde se muestra el espesor máximo de la aloformación Ímuris en la sección arroyo los Janos.	30
Fig. 25	Distribución de cuencas del Plio-Pleistoceno en el N-NE de Sonora y S-SW de Arizona.	31
Fig. 26	Localización de las principales cuencas en Sonora y adyacentes en Arizona donde se ha reportado mastofauna plio-pleistocena. También se incluye la cuenca estudiada Los Alisos.	33
Fig. 27	Tabla de correlación de la Aloformación Ímuris con unidades descritas en diferentes cuencas cenozoicas de la región en Sonora y Arizona	33

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO**

Fig. 28	Litofacies Gmm1 donde se encuentran guijones de riolita de hasta 1.5 m.	35
Fig. 29	Litofacies Gmm1 representada por gravas monolíticas de riolita de textura incluida y estratificación gradual inversa.	35
Fig. 30	Litofacies Gmm2 representada por gravas polilíticas donde sobresalen clastos subredondeados de granito (G) y riolita (R)	36
Fig. 31	Litofacies Gh representada por gravas monolíticas de riolita de textura sostenida y moderadamente clasificadas. Viendo hacia el NW	37
Fig. 32	Imbricación de clastos en la litofacies Gh. La inclinación de la pluma que sirve de escala representa el ángulo de reposo, a partir del cual se obtienen los datos de paleocorrientes.	37
Fig. 33	Litofacies Gh representada por gravas monolíticas de riolita esquistosa La línea punteada representa el ángulo de reposo general de la imbricación.	38
Fig. 34	Gravas con estratificación cruzada plana de mediana escala de la Litofacies Gp	39
Fig. 35	Arenas gruesas a gravosas con estratificación cruzada plana de mediana escala de la litofacies Sh1. La línea punteada representa el ángulo de la estratificación cruzada.	40
Fig. 36	Capas medias de arenas de la Litofacies Sh2.	41
Fig. 37	Estratos lenticulares arenosos de la litofacies SI intercalados en la litofacies Gh	41
Fig. 38	Afloramiento de limos arenosos que caracterizan la Litofacies FI	42
Fig. 39	Afloramiento de limos de la litofacies F. incluyendo una capa de arena fina en la porción superior. Vista hacia el NW.	43
Fig. 40	Nódulos calcáreos en arenas finas a medias que caracterizan a la litofacies P1	44
Fig. 41	Horizonte de grava cementado por calcita que caracteriza a la litofacies P2. La línea punteada representa el contacto basal de la capa.	44
Fig. 42	Representación esquemática de un ambiente de abanico aluvial, indicando las porciones del abanico próximo, medio y distante en que se divide este ambiente. Modificado de Spearing (1974)	46
Fig. 43	Litofacies Gh de depósitos de gravedad dentro del abanico próximo. Fotografía tomada en la Cañada La Emilia. Vista hacia el NE..	47
Fig. 44	Asociación de litofacies Gh+SI en el sitio ST6-SC2, representando la porción más distante del abanico próximo	47
Fig. 45	Secuencia de disminución del tamaño de grano hacia arriba que determinan la asociación de litofacies Gp+Sh1 en el abanico medio	48
Fig. 46	Superficie limítrofe de 5to. orden que establece la asociación de las litofacies Gp+Sh2 en el abanico medio.	49
Fig. 47	Horizonte cementado por calcita de la litofacies P1 dentro de la litofacies Sh2	49
Fig. 48	Representación de las direcciones preferenciales de paleocorrientes en el sitio SC3-ST3, obtenidas de la imbricación de clastos en gravas y estatificación cruzada en arenas.	50
Fig. 49	Depósitos de planicie de inundación en el abanico distante, con el desarrollo de la litofacies FI coronada por P2	51
Fig. 50	Distribución de la relación porcentual de las asociaciones de litofacies dominantes en el alomembro inferior de la Aloformación Ímuris en la Cuenca Los Aliso	52
Fig. 51	Distribución espacial de las asociaciones de litofacies dominantes en el alomembro inferior de la Aloformación Ímuris en la Cuenca Los Alisos	53
Fig. 52	Modelo de clasificación ternario de abanicos aluviales propuesto por Stanistreet y McCarthy (1993). Modificado de estos autores.	54
Fig. 53	Representación esquemática de los abanicos aluviales de la clasificación presentada en la Figura 53. A) Dominados por flujo de detritos, B) dominados por sistemas fluviales trenzados, y C) Dominados por sistemas fluviales sinuosos. Modificada de Stanistreet y McCarthy (1993).	54
Fig. 54	Localización de los sitios de muestreo de clastos en los diferentes cuadrantes dentro de la Cuenca Los Alisos	56
Fig. 55	Composición de clastos de gravas en el cuadrante SE de la cuenca Los Alisos	57

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO**

Fig. 56	Composición de clastos de gravas en el cuadrante NE de la cuenca Los Alisos	57
Fig. 57	Composición de clastos de gravas del cuadrante SW de la cuenca Los alisos. A) ST16; B) ST3 y ST5; C) ST14.	58
Fig. 58	Composición de clastos de gravas en el cuadrante NW de la cuenca Los alisos	59
Fig. 59	Distribución de la composición de clastos en la cuenca Los Alisos.	60
Fig. 60	Modelo esquemático para la sedimentación del Conglomerado Báucarit	62
Fig. 61	Modelo esquemático para la sedimentación de la aloformación Ímuris	63
Fig. 62	Distribución de las estaciones y secciones gravimétricas dentro de la cuenca Loa Alisos	65
Fig. 63	Mapa de Anomalía de Bouguer Completa para la cuenca Los Alisos.	66
Fig. 64	Mapa de Anomalía Residual para la cuenca Los Alisos	67
Fig. 65	Mapa de Anomalía Residual para la cuenca Los Alisos y localización de sub-cuencas	68
Fig. 66	Modelo del perfil 1-1' en la cuenca Los Alisos	71
Fig. 67	Modelo del perfil 2-2' en la cuenca Los Alisos	72
Fig. 68	Modelo del perfil 3-3' en la cuenca Los Alisos	74
Fig. 69	Contacto por falla entre la Riolita El Pinito y el Conglomerado Cocóspera, cubiertos discordantemente por la Aloformación Ímuris en la cañada La Emilia	75
Fig. 70	Fotografía aérea mostrando la localización de la estación gravimétrica 269 y el afloramiento de la falla principal. Rh = Riolita El Pinito, Am1 y Am2= Aloformación Ímuris, Qal = Aluvión	75
Fig. 71	Presencia de la aloformación Ímuris cubriendo la falla que determina el límite oriental de la cuenca en la sierra El Pinito, en las inmediaciones de la estación 169 del perfil 3-3'. Vista hacia el SE.	76
Fig. 72	Modelo del perfil 4-4' en la Cuenca Los Alisos.	77
Fig. 73	Modelo del perfil F-F' en la Cuenca Los Alisos	78
Fig. 74	Modelo del perfil G-G' en la Cuenca Los Alisos.	80
Fig. 75	Modelo del perfil 1A-1A' en la Cuenca Los Alisos	81
Fig. 76	Plano de "continuidad hacia arriba 3000 m" de la Cuenca Los Alisos. La raya roja discontinua representa el límite oriental de la cuenca..	83
Fig. 77	Plano de profundidad al basamento interpretado para la Cuenca los Alisos	85
Fig. 78	Localización de SEVS y secciones geoelectricas en la cuenca Los alisos	87
Fig. 79	Perfil y modelo interpretado de los SEV's 31 (A) y 51 (B) que integran la sección geofísica-geológica A-A'	88
Fig. 80	Modelo de resistividades de la Sección Geolétrica A-A'	88
Fig. 81	Perfil y modelo interpretado de los SEV's 32 (A), 33 (B) y 34 (C) que integran la sección Geofísica-Geológica B-B'	89
Fig. 82	Mod Modelo de resistividades de la Sección Geolétrica B-B'	90
Fig. 83	Perfil y modelo interpretado de los SEV's 35 (A), 36 (B) y 37 (C) que integran la sección geofísica-geológica C-C'	91
Fig. 84	Modelo de resistividades de la Sección Geolétrica C-C'	92
Fig. 85	Perfil y modelo interpretado de los SEV's 1 (A), 3 (B), 4 (C) y 6 (D) que integran la sección Geofísica-Geológica D-D'	93
Cont.	Perfil y modelo interpretado de los SEV's 1 (A), 3 (B), 4 (C) y 6 (D) que integran la sección Geofísica-Geológica D-D'	94
Fig. 85	sección Geofísica-Geológica D-D'	
Fig. 86	Modelo de resistividades de la Sección Geolétrica D-D'	95
Fig. 87	Evolución esquemática de la cuenca Los Alisos durante el Cenozoico tardío	96
Fig. 88	Evolución estructural de la Cuenca Los Alisos a partir de una serie de fallas individuales que se integran y crecen hasta formar una cuenca de medio-graben. Modificada de Gauthorpe y Leeder (2000).	100
Fig. 89	Evolución sedimentaria de la Cuenca Los Alisos con el desarrollo de ambientes de abanico aluvial, fluvial y lacustre. Modificada de Gauthorpe y Leeder (2000).	101
Fig. 90	Distribución esquemática de las cuencas continentales cenozoicas en el norte -noreste de Sonora, mostrando a profundidad la presencia de una posible falla de	102



detachment  
Fig. 91 Distribución de disponibilidad de agua subterránea de las diferentes cuencas hidrológicas de México. Modificada de CONAGUA (2009) 103

### RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1	Esquema de litofacies definidas en el área de estudiada	45
Tabla 2	Sitios de conteo de clastos que se integran en cada uno de los cuadrantes de la cuenca para el análisis de procedencia de clastos.	55
Tabla 3	Densidades utilizadas para las distintas litologías modeladas en el estudio gravimétrico de la Cuenca Los Alisos.	70
Tabla 4	Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil 1-1' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit.	71
Tabla 5	Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil 2-2' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit.	73
Tabla 6	Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil 3-3' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit.	74
Tabla 7	Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil 4-4' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit.	77
Tabla 8	Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil F-F' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit	79
Tabla 9	Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil G-G' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit.	81
Tabla 10	Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil 1A-1A' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit	82

## RESUMEN

Para entender la evolución de una cuenca sedimentaria es necesario contar con información del subsuelo, de tal forma que permita identificar los dos principales atributos, su geometría y las características de sedimentación de su relleno sedimentario. En este trabajo se presenta información obtenida de integrar la geología superficial de la cuenca Los Alisos, con la interpretación en el subsuelo a partir del análisis de datos gravimétricos y resistivos.

Se introduce informalmente el nombre de Aloformación Ímuris para referirse a una secuencia detrítica no consolidada del Plio-Pleistoceno, la cual representa el relleno sedimentario de la cuenca, y se divide en dos alomiembros. El alomiembro inferior está constituido por gravas, desde gránulos hasta guijas de subangulosas a subredondeadas, textura sostenida e incluida y con una clasificación mala a moderada; localmente se observa estratificación gradual normal e inversa, e imbricación de clastos; también incluye arenas de grano medio a grueso y color pardo medio a pardo rojizo, con estratificación cruzada, laminaciones paralelas y nódulos de calcita, así como lodos laminares con nódulos de calcita y minerales evaporíticos (yeso). El alomiembro superior es litológicamente más sencillo ya que está constituido por gravas de guijarros a guijas subredondeadas, de textura sostenida y con clasificación moderada. Las discontinuidades que delimitan esta alounidad están representadas por discordancias angulares y erosionales en la base de la unidad, una superficie de erosión interna, así como la superficie de erosión actual en la cima.

El esquema de litofacies definido y las asociaciones entre éstas dentro de la Aloformación Ímuris, establecen ambientes de abanico aluvial como sistema de depósito de esta unidad. En el abanico aluvial próximo se tienen depósitos dominados por la acción de la gravedad como flujos de detritos, avalanchas y caídos de rocas; el abanico medio está dominado por depósitos asociados a corrientes canalizadas, de desborde y en planicies de inundación, mientras que en el abanico distante se tienen depósitos de planicies de inundación y el desarrollo de una sedimentación local areno-arcillosa dentro de ambientes fluviolacustres.

El modelado de secciones gravimétricas en el área estudiada permitió proponer la presencia de tres subcuencas: la Subcuenca Agua Zarca, en el norte, presenta el espesor mayor para la Aloformación Ímuris alcanzando los 660 m; la Subcuenca Cibuta en la porción central, tiene un espesor de sedimentos de hasta de 567 m, y la Subcuenca Ímuris en la parte sur, con espesores interpretados entre 313 y 427 m. La configuración resultante para la cuenca sugiere una geometría de medio-graben, con la porción activa hacia la parte oriental, donde se identificó una falla normal con un azimut de 178° y

buzando al SW 75°, así como la presencia de una serie de fallas escalonadas con orientación similar que afectan al basamento en el subsuelo.

Las profundidades interpretadas a partir de la gravimetría son congruentes con aquellas definidas a partir de la reinterpretación de 12 sondeos eléctricos verticales. Además, las secciones geoelectricas modeladas permiten proponer la presencia de una secuencia areno-arcillosa en cada una de las subcuencas, las cuales se interpretan como sistemas lacustres desarrollados a partir de un drenaje endorreico que inicialmente estuvo presente dentro de la cuenca.

La Cuenca Los Alisos en la porción septentrional de Sonora es un rasgo morfológico alargado con orientación NNW-SSE que se desarrolló y evolucionó a partir del Mioceno medio. Durante la etapa temprana de distensión terciaria en Sonora se llevó a cabo el depósito de la Formación Báucarit sobre un basamento pre-miocénico, posteriormente esta cuenca fue reactivada durante el Plio-Pleistoceno por una etapa tardía de distensión, permitiendo el depósito de la Aloformación Ímuris de manera discordante sobre la primera.

## ABSTRACT

To understand the evolution of a sedimentary basin, it is necessary to have information from the subsurface, so that it allows to identify the two main attributes, its geometry and the characteristics of the sedimentary fill. This work presents information obtained from integrating the surface geology with interpretations of the subsurface geology based on an analysis of resistivity and gravity data. The studied area is the Los Alisos Basin, a NNW-SSE elongated morphological feature in the northern portion of Sonora.

The Ímuris Alloformation is here informally introduced to refer to a non-consolidated clastic sequence of Plio-Pleistocene age, which represents the sedimentary fill of the basin, and it is divided into two allomembers. The lower allomember is composed of subangular to subrounded gravels, from granules to cobbles, dominantly clast-supported with a poorly to moderate sorting; locally presents normal and reverse gradual stratification, and clast imbrication. This member also includes beds of reddish brown to medium brown medium grained sand, with cross stratification, parallel laminations and calcite nodules; as well as beds of laminated mud, and sulfate minerals (gypsum). The upper allomember is lithologically less complicated since it is composed of gravel, pebbles to cobbles, clast-supported texture and with moderate sorting. The discontinuities that delimit this allostratigraphic unit are represented by erosional and angular unconformities at the base of the unit, an internal erosion surface, as well as a modern erosion surface on the top.

The lithofacies scheme defined within the Ímuris Alloformation, and the relationships among them, establish an alluvial fan as the sedimentary environment of deposit. The proximal alluvial fan is represented by gravity dominated deposits as debris flow, landslides and fallen rocks; the midfan is dominated by deposits associated with channelized streams overflow and flood plains; while the distal fan are floodplain deposits, and sandy-clay of local lacustrine environments.

Gravimetric sections interpretations in the studied area allowed to propose the presence of three sub-basins into the subsurface: the Agua Zarca sub-basin, in the northern portion, presents 660 m of thickness for the Ímuris Aloformation; the Cibuta sub-basin, in the central portion, has a thickness of sediments up to 567 m; and the Ímuris sub-basin, in the south, with interpreted thicknesses of sedimentary fill between 313 m and 427 m. The resulting basin configuration suggests a geometry of a half-graben with an active zone towards the east, where a high angle NNW-SSE normal fault was identified; in the same way, the basement of the basin is affected by the presence of faults aligned with similar orientation.

Interpreted depths from gravimetry are consistent with those defined from the reinterpretation of 12 vertical electrical soundings. Additionally, modeled geoelectric sections suggest the presence of sandy-clay sediments into each of the sub-basins, which were interpreted as lake depositional systems developed from an internal drainage that was initially present within the basin.

The Los Alisos Basin was developed and evolved since the Middle Miocene. During the early stage of tertiary distension in Sonora, the Baucarit Formation was deposited on a pre-Miocene basement, this basin was subsequently reactivated during the Plio-Pleistocene by a late stage of distension, allowing the Ímuris Alloformation to deposit unconformably over the Baucarit.

## I. INTRODUCCIÓN

### I.1 GENERALIDADES

La evolución de cualquier cuenca sedimentaria está controlada principalmente por dos factores: (a) el entorno tectónico bajo el cual se desarrolla, y (b) los ambientes de depósito que dan lugar a su relleno sedimentario. La única forma de entender y explicar dicha evolución, es a partir de la definición de los dos atributos más importantes de la cuenca: su estratigrafía y su estructura.

En la evolución de una cuenca en distensión, sus características estructurales, es decir, el tipo de fallas que la generan y la geometría resultante, tienen una influencia directa en la distribución y espesor de las unidades estratigráficas individuales, por lo que ambos elementos están muy relacionados (Schlische y Anders, 1996; Withjack et al., 2002). Sin embargo, el relleno sedimentario también puede ser afectado por otros factores, tales como la tasa de aporte de sedimentos, la topografía, el clima, etc. Por tal motivo, debemos de reconocer con certidumbre las características de los ambientes sedimentarios desarrollados a partir de las litofacies y geometrías estratigráficas que éstos producen, toda vez que un nuevo ciclo de sedimentación generado por cambios climáticos, puede ser malinterpretado como una reactivación de la actividad distensiva (Schlische y Olsen, 1990).

Cada uno de los estados que componen el noroeste de México tiene su propia problemática y una evolución geológica, aunque asociada, diferente. Sin embargo, podemos decir que el análisis integral de cuencas cenozoicas, es sin lugar a dudas una de las líneas de investigación que determina una metodología lo suficientemente flexible e integradora, de tal forma que puede ser aplicada en cada una de las regiones de esta porción de México para la resolución de problemas específicos sobre la geología cenozoica. Así mismo, el estudio sobre la evolución geológica de esta porción de México durante este tiempo, puede redundar en un mejor conocimiento de los recursos naturales con que contamos y la manera de descubrirlos.

Uno de los principales rasgos fisiográficos desarrollados durante el Cenozoico tardío en Sonora es, sin lugar a dudas, la distribución de una serie de cuencas y sierras dispuestas paralelamente bajo una orientación general NNW-SSE, las cuales fueron generadas durante la distensión terciaria que afectó el NW de México (Grijalva-Noriega, 2002), dentro de lo que se conoce como la porción sur de la Provincia del *Basin and Range* de Norteamérica. Bajo este contexto, se ha establecido que dichas cuencas presentan una geometría de graben y semi-graben (Stewart y Roldán-Quintana, 1994; Connell et al., 2005) y, aunque superficialmente así lo parecen, éstas no han sido caracterizadas mediante su estructura y estratigrafía, ni se han hecho estudios para interpretar su

evolución, ya sea estructural o de la sedimentación. Uno de los principales problemas en este contexto, es desconocer elementos tan importantes como lo es el espesor y las características del relleno sedimentario, así como la distribución y la geometría del basamento de las cuencas continentales cenozoicas en Sonora.

Si bien es cierto que para Arizona y otros estados en los EEUU de América se tienen caracterizadas cuencas *Basin and Range* a partir de su estructura en el subsuelo y de los sedimentos que determinan su relleno sedimentario (Menges y Pearthree, 1989; Thompson et al, 1989; Smith et al., 2001; Gettings, 2002; Houser et al, 2004; Langenheim y Wirt, 2005, entre otros), los estudios de este tipo en Sonora se restringen a la cuenca San Bernardino en el noreste del estado principalmente por su asociación a la Falla Pitáycachi, en donde, por un lado, estudios geofísicos aislados requieren de mayor certidumbre para caracterizar su estructura (Montaño-Jiménez et al, 1993; Pearthree et al, 1990), y por el otro, se enfocan a la caracterización estructural de la falla antes mencionada (Suter y Contreras, 2002; Suter, 2008). Carreón-Pallares (2002) en su trabajo sobre la historia tectónica del yacimiento de Milpillas en el Distrito Minero de Cananea, hace un estudio muy general sobre lo que denomina el “graben de Cuitaca”, sin llegar a caracterizar esta cuenca cenozoica de manera suficiente.

Cabe hacer mención que para la porción estadounidense de las cuencas de los ríos Santa Cruz y San Pedro en el sur de Arizona, las cuales continúan dentro de territorio nacional, se presentan bien documentados los planos de isopropundidades del basamento a partir de estudios geofísicos (Arizona Department of Water Resources, 1990). También para estas cuencas, las características estratigráficas de los sedimentos cenozoicos que las rellenan están claramente descritos; por ejemplo, mientras que para la porción del sureste de Arizona se tiene a la Formación St. David como la más representativa del relleno sedimentario de las cuencas continentales del Cenozoico Tardío desde el punto de vista estratigráfico y sedimentológico (Slate y otros, 1996; Smith, 1994), en Sonora no existe una unidad estratigráfica formal que pueda ser considerada como tal.

Por otra parte, Sosa-León (2000) sugiere, apoyado en la geología superficial, que las características estructurales de las cuencas continentales cenozoicas en la porción centro-oriental de Sonora no evolucionan solamente a partir de fallas normales de ángulo alto, sino que éstas últimas pueden presentar características lítricas a profundidad o componentes de desplazamiento lateral. Sin embargo, no se ha generado información directa o geofísica del subsuelo que pueda apoyar estas interpretaciones. Ante este desconocimiento de las características de las cuencas continentales cenozoicas en Sonora, se hace necesario desarrollar estudios que coadyuven a conocer y entender cuál ha sido su evolución a través del tiempo geológico.

Los resultados de llevar a cabo el análisis de una cuenca continental de este tipo no solo se limitan a caracterizar el aspecto académico de su evolución, ya que en la actualidad, la importancia de estas cuencas en Sonora radica en el hecho de que contienen zonas acuíferas granulares importantes para los principales centros urbanos del estado, y dado que en la última década las principales fuentes de abastecimiento superficial de agua (presas) se han visto en niveles críticos, el agua subterránea se vuelve un tópico importante dentro de esta región de México. Determinar la estructura y la geometría de la cuenca, así como el caracterizarla desde la perspectiva estratigráfica, definiendo los sistemas de depósito del relleno sedimentario y su distribución en el subsuelo, principalmente con la determinación de los elementos texturales de los sedimentos (tamaño de grano, clasificación, etc.) y estratigráficos (secuencias, discordancias, etc.), aportará información que seguramente será una herramienta muy importante en el conocimiento del modelo conceptual hidrogeológico de las mismas, lo cual repercutirá en contar con un esquema mejor de exploración y un mejor aprovechamiento y administración del recurso agua.

## **I.2 ÁREA DE ESTUDIO**

El área que comprende el presente trabajo es una cuenca intermontana alargada con orientación NNW-SSE, la cual se localiza en la porción septentrional del estado de Sonora, dentro de la porción sur de la denominada Provincia Fisiográfica Cuencas y Sierras (*Basin and Range Physiographic Province*) de Norteamérica (Figura 1), cuya característica morfológica principal es el desarrollo de cuencas estructurales paralelas limitadas por sierras. El área de estudio, a la cual se le denomina Cuenca Los Alisos, tiene una amplitud de entre 10 y 20 km, con una longitud de 40 km, siendo el río Los Alisos-Bambuto, que fluye hacia el sur, su principal elemento hidrográfico (Figura 2).

La Sierra El Pinito, con elevaciones de hasta 2500 msnm, representa el límite oriental de la cuenca (Figura 3), mientras que el límite occidental lo establecen las Sierras Cíbuta (Figura 4) y Guacomea, con elevaciones máximas de 1700 msnm. Ímuris y Cíbuta son los poblados más importantes, unidos por la Carretera Federal No.15 que atraviesa de norte a sur la porción central del área estudiada. La elevación mínima de la cuenca es de 880 msnm.

## **I.3 OBJETIVOS**

El desarrollo de este trabajo pretende lograr dos objetivos fundamentales:



- (1) Caracterizar la estratigrafía y estructura de la cuenca estudiada, integrando información geológica superficial y del subsuelo, poniendo énfasis en el relleno sedimentario superior de la misma; y
- (2) Conocer la evolución de esta cuenca en el contexto de la tectónica cenozoica del noroeste de México.

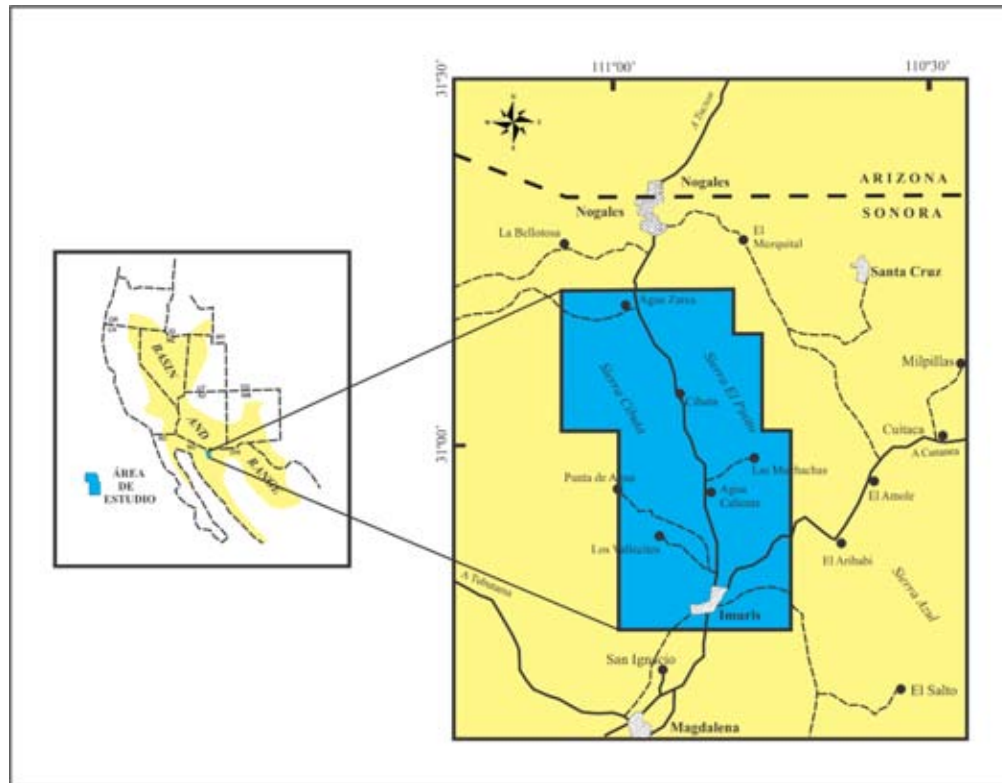


Figura 1 Localización del área de estudio en el marco de la provincia fisiográfica del *Basin and Range*.

#### I.4 METAS

Para alcanzar los objetivos anteriormente propuestos, se lograron las siguientes metas específicas:

- (1) Cartografía superficial del relleno sedimentario de la cuenca propuesta, en función de la geomorfología, estratigrafía, estructura y sistemas de depósito que se generaron dentro de ésta.
- (2) Caracterización del comportamiento del relleno sedimentario en el subsuelo y la geometría de la cuenca, que incluye: espesor, rasgos estructurales, elementos estratigráficos, profundidades y tipo de basamento.
- (3) Interpretación estructural y estratigráfica de la cuenca en el subsuelo.

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO

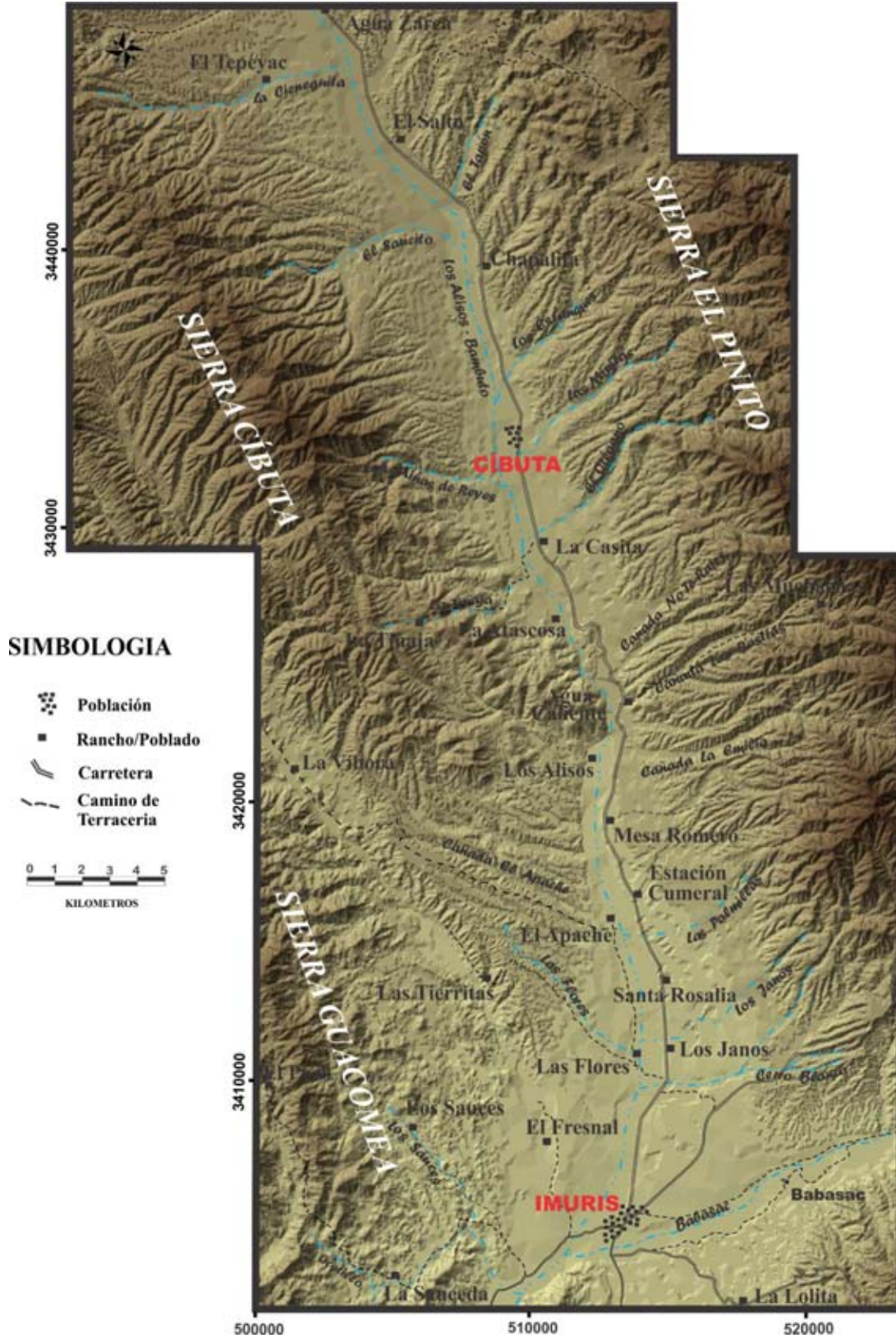


Figura 2 Topografía e hidrografía general de la Cuenca Los Alisos.

- (4) Integración de la información geológica superficial con la del subsuelo con el fin de poder establecer su evolución.
- (5) Caracterización de la cuenca en función de sus similitudes y/o diferencias con otras definidas en esta región de México y el sur de Arizona.
- (6) Determinación de su evolución en el contexto de la tectónica cenozoica del noroeste de México.



**Figura 3** Vista panorámica de la Sierra El Pinito. Viendo hacia el este.

## **I.5 METODOLOGÍA**

El desarrollo de este trabajo siguió la metodología convencional, la cual se divide en tres fases:

### **I.5.1. Preliminar**

Se recopiló información de trabajos previos que se tienen escritos sobre el área de estudio, así como la evaluación de la misma con el fin de determinar su utilidad.

A partir de imágenes de satélite y fotografías aéreas se logró: I) desarrollar la cartografía geomorfológica de la cuenca; II) determinar los límites físicos de la cuenca y la localización de estructuras geológicas que afecten a las rocas del basamento; III) programar las áreas específicas para llevar a cabo el trabajo de campo.



Figura 4 Vista panorámica de la Sierra Cíbuta. Viendo al NW

### I.5.2. Trabajo de campo

Se llevó a cabo la medición de 33 secciones con el fin de identificar los principales elementos físicos de la porción superficial de la cuenca (espesor del relleno sedimentario, descripción litológica, contactos estratigráficos y/o estructurales, elementos texturales, estructuras primarias, etc.), lo cual fue determinante para proponer el sistema de depósito generado dentro de la cuenca. Para este trabajo se tomó como base el esquema de litofacies fluviales presentado por Miall (1996); sin embargo, la definición de las diferentes litofacies que se describen para estos sedimentos, corresponde a un esquema adaptado para las características específicas de éstos. Este análisis se hace tomando en cuenta las características físicas más importantes que presentan los sedimentos en las diferentes secciones medidas: tamaño de grano (Figura 5), color, grado de litificación, estructuras sedimentarias primarias, relaciones verticales, horizontales y composición de clastos.

Se efectuó un programa de conteo de clastos en varias secciones, incluyendo el tamaño de grano y su composición lítica, encaminado a determinar la procedencia de éstos; además de coleccionar muestras con el fin de obtener material susceptible de ser fechado: fósiles, paleosuelos, material fino para palinología, rocas volcánicas, etc.; sin embargo, en esto último no se tuvo éxito.

mm	256	128	64	32	16	8	4	2	1	.5	.25	.125	.063	.031	.0156	.0078	.0039
Phi	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEDIMENTOS	Guijones	Guijas			Guijarros			Gránulos	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Limo grueso	Limo fino	Arcilla gruesa	Arcilla fina
	GRAVAS								ARENAS					LODOS			
ROCAS	CONGLOMERADOS Y BRECHAS								ARENISCAS					LUTITAS			

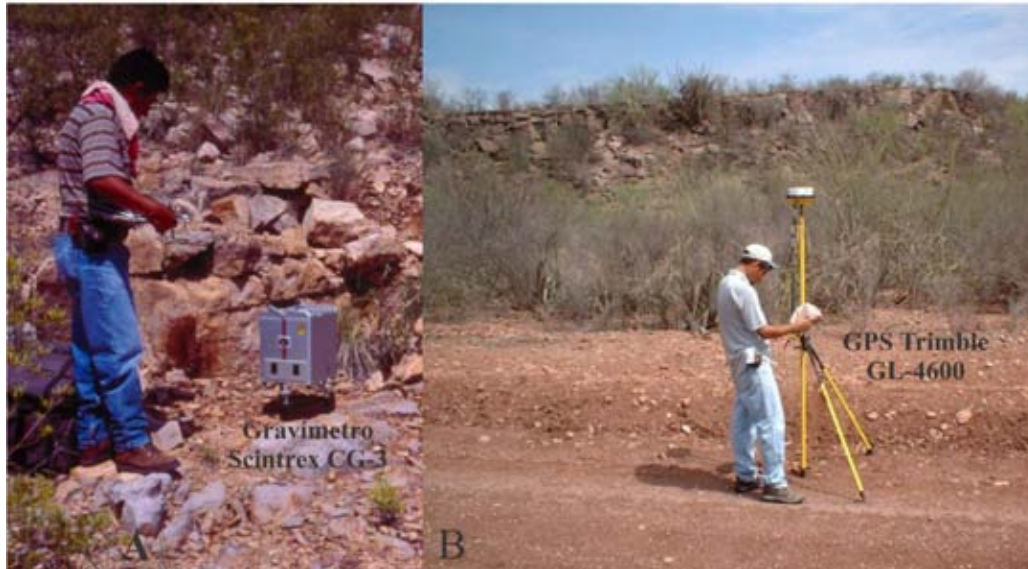
**Figura 5** Escala de Wentworth para los diferentes tamaños de grano de los sedimentos donde se muestra la nomenclatura utilizada en este trabajo. Modificada de Prothero (2001).

El trabajo gravimétrico dentro del área de estudio consistió del levantamiento de 210 estaciones con separación entre 1 y 2 km, como parte del proyecto CONACYT “Cuencas Hidrológicas del Norte de Sonora: Estudio Geofísico de las cuencas de: Sonoyta, Caborca, Santa Ana y Nogales, Edo. de Sonora”, del cual fue responsable el Dr. César Jacques Ayala, y tesista el presente autor. Las lecturas de los valores relativos de gravedad en cada estación se realizaron con un gravímetro CG-3 de Scintrex (Figura 6A), completamente automatizado y cuyas características generales son: resolución de 5 microGals, desviación Standard de < 10 microGals y un rango de operación de 8000 miligals (mGals). El posicionamiento geográfico de las estaciones se efectuó utilizando un GPS de alta precisión, el cual cuenta con 2 antenas modelo TRIMBLE 4600 LS de 1 frecuencia (Figura 6B). Después de hacer el levantamiento de campo de modo estático y dinámico (*stop and go*) y de procesar los datos obtenidos, el error típico en la medida de la longitud, latitud y elevación de este sistema es del orden de milímetros. Como parte del procesado de los datos, aquellos obtenidos en este trabajo se ‘estandarizaron’ con la estación fija de referencia satelital PGPS, ubicada en Hermosillo, Sonora, y ligada a la Red Geodésica Nacional Activa de INEGI.

### **I.5.3. Integración**

La cartografía geomorfológica, las descripciones físicas de las secciones medidas, y las relaciones estratigráficas definidas entre las unidades del relleno sedimentario del área de estudio y su basamento, permitió establecer que utilizar unidades aloestratigráficas para el tratamiento de los sedimentos es más práctico en este tipo de estudios, ya que la variabilidad en cuanto a sus características físicas resultaría en un

esquema de nomenclatura litoestratigráfico más confuso. Se integraron las descripciones físicas de los sedimentos, desarrollando un esquema de litofacies y sus asociaciones, con la interpretación del ambiente de depósito bajo el cual dichos sedimentos fueron acumulados.



**Figura 6** Equipo utilizado en el levantamiento gravimétrico en el área de estudio. A) Gravímetro CG-3 de Scintrex. B) GPS TRIMBLE GL-4600.

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, topografía, etc. Para lograr lo anterior, los datos obtenidos fueron procesados en una hoja EXCEL con las ecuaciones establecidas para cada una de éstas, mientras que la corrección por topografía se obtuvo a partir del método descrito por García-Abdeslem y Martín-Atienza (2001), el cual calcula la atracción gravitacional en el sitio de observación, producida por un estrato de densidad uniforme, cuya base corresponde con el nivel del mar y su cima incluye la topografía, la cual se define con el modelo digital del área de estudio. Una vez que se obtuvo la anomalía de Bouguer completa, la base de datos (Anexo I) se integró al software WingLink® de Geosystem para la interpretación gravimétrica.

En este trabajo también se reinterpretaron 12 SEV realizados con anterioridad en el área de estudio; 8 efectuados por investigadores del CESUES (2006) utilizando equipo Geopulse y Saris, y 4 más por el gobierno del Estado de Sonora (Durazo-Fimbres y Herrera-Urbina, 1990), levantados con Geoelec MT-5 (Anexo II). En ambos levantamientos se utilizaron aperturas máximas de AB/2 de 300 m, empleando un arreglo tetraelectrónico tipo Schlumberger, con lo que la profundidad de penetración promedio de

estos sondeos fue de 250 metros. El procesamiento de estos datos se llevó a cabo inicialmente en una hoja EXCEL para determinar el ajuste por traslape en los diferentes SEV, y posteriormente en el módulo de análisis de resistividad del software WingLink®, donde se obtuvo su modelo y se desarrollaron las secciones de resistividad, con las cuales se interpretaron las secciones geoelectricas descritas en este trabajo.

Con toda la información recabada en los puntos anteriores, se establece la evolución de la cuenca. Esto es, la variación espacio-temporal de los ambientes sedimentarios del relleno de la cuenca, y las estructuras que jugaron un papel preponderante en su formación. Así mismo, se llevó a cabo la comparación regional con otras cuencas del estado y de Arizona en EEUU.

## II ESTRATIGRAFÍA

La cartografía geológica superficial del área de estudio permite establecer las características estratigráficas de las diferentes unidades. Las rocas más antiguas que determinan los límites físicos de la Cuenca Los Alisos son mesozoicas y están representadas por unidades jurásicas que son intrusionadas por cuerpos ígneos del Cretácico Tardío – Paleoceno, conocidos también como “intrusivos laramídicos”. Estas rocas, junto a una secuencia conglomerática del Cretácico Superior, son consideradas en este trabajo como el basamento de la cuenca (Figuras 7 y 8). El relleno sedimentario de la Cuenca Los Alisos está formado por la secuencia detrítica del Mioceno de la Formación Báucarit, y por depósitos predominantemente areno-gravosos más jóvenes, aquí denominados Aloformación Ímuris.

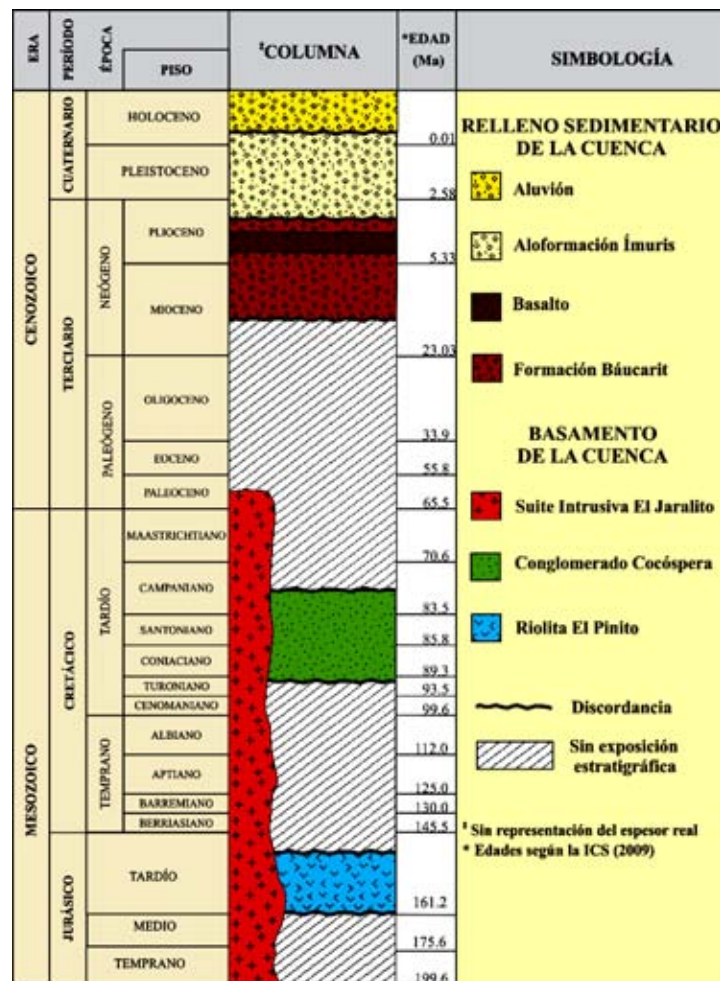


Figura 7 Columna estratigráfica esquemática de la Cuenca Los Alisos



ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO

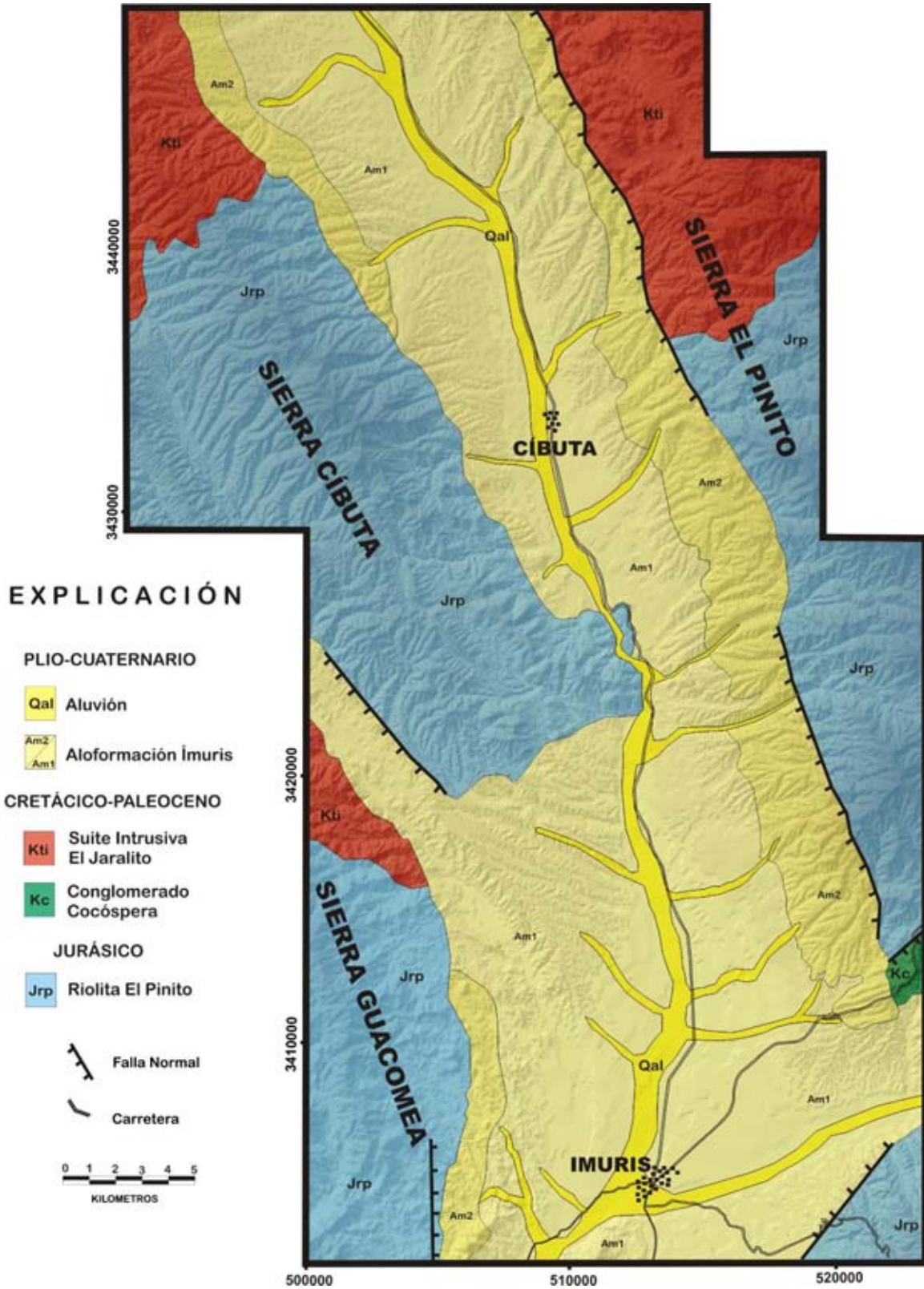


Figura 8 Geología superficial de la cuenca Los Alisos.

## II.1 BASAMENTO (MESOZOICO)

### II.1.1 Riolita El Pinito

Gilmont (1979) identificó en la Sierra El Pinito a esta unidad como una secuencia volcanosedimentaria constituida por riolitas, tobas y areniscas de cuarzo. Representa la litología más ampliamente distribuida en el área de estudio, con afloramientos principales en las porciones centro y sur de la Sierra El Pinito, sur de la Sierra Cíbuta, y en la Sierra Guacomea, donde se tiene metamorfizada.

Las riolitas son de color gris rosado y presentan varias texturas en muestra de mano, desde porfídicas hasta equigranulares, fluidales y amigdalares. Mineralógicamente predominan el cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa; aunque éstos últimos se observan con una alteración sericitica muy intensa bajo el microscopio. Una de las características principales de estas riolitas es que son afectadas por dos familias de fracturamiento ( $140^{\circ}$  NE  $86^{\circ}$  y  $50^{\circ}$  NW  $88^{\circ}$ ), lo que da una forma cúbica muy característica a los bloques erosionados.

Las tobas son principalmente líticas de color gris claro a gris rosado, aunque localmente en la Sierra El Pinito se tienen afloramientos de tobas de cristales con aspecto soldado. Por su parte, las areniscas de cuarzo son de grano medio a fino, de color gris medio en muestra de mano y con una típica textura de “sal y pimienta” en superficie fresca por una abundancia de óxidos de hierro en su composición. Se presentan en estratos medios a masivos, llegando a presentar estratificación cruzada plana de mediana escala. Petrográficamente son arenitas bien clasificadas con textura sostenida; la mineralogía esencial está dominada por cuarzo monocristalino con extinción ondulante (92%), microclina alterada a sericita y arcilla (7%) y fragmentos de roca volcánica félsica (1%). Es común encontrar sobrecrecimiento de cuarzo, contactos cóncavo-convexos y localmente suturados, así como minerales pesados (principalmente óxidos de hierro).

Esta secuencia es de edad jurásica (Grijalva-Noriega, 1995) y representa el desarrollo de un arco volcánico continental durante este tiempo con el desarrollo de dunas de arena (Riggs y Haxel, 1990). En la Sierra Cíbuta, su contacto superior con la aloformación Ímuris está representado por una discordancia erosional (Figura 9), sin embargo, en el límite oriental de la cuenca, en la Sierra El Pinito, dicha aloformación se tiene cubriendo a una falla normal de ángulo alto con actitud de  $178^{\circ}$  SW  $75^{\circ}$  (Figura 10).



Figura 9 Discordancia erosional entre la Aloformación Ímuris y la Riolita el Pinito en las inmediaciones del Rancho Agua Caliente.



Figura 10 Aloformación Ímuris cubriendo la falla normal del límite oriental de la cuenca en la cañada Las Rastras. Vista hacia el sur.

En la porción suroeste de área estudiada aflora una unidad de roca esquistosa milonitizada de color gris verdoso a gris oscuro, que petrográficamente muestra una asociación mineral de cuarzo + muscovita + granate + sillimanita. Se ha establecido que estas rocas tienen como protolito a la Riolita El Pinito (Saúl Herrera Urbina, com. per. 2009), y una edad para metamorfismo de  $28.6 \pm 0.8$  Ma (Herrera-Urbina et al., 1995), asociando éste último al desarrollo de los “*Metamorphic Core Complex*” en la región (Nourse et al., 1994, Wong y Gans, 2003). El contacto entre esta zona esquistosa de la Riolita El Pinito y la aloformación Ímuris es una discordancia erosional, como se observa en el Arroyo Los Sauces al oeste de la ciudad de Ímuris.

### II.1.2 Conglomerado Cocóspera

El Conglomerado Cocóspera fue descrito por Gilmont (1979) como una secuencia detrítica continental dominada por capas de conglomerado que superficialmente se presentan con una coloración gris verdoso muy característica. Aflora ampliamente en la porción sur de la Sierra El Pinito, pero en el área de estudio su extensión es muy pequeña y se limita a la porción sureste (Figura 8). Esta unidad está constituida por un ortoconglomerado polimictico de clastos subredondeados a redondeados de riolita, caliza, arenisca y toba (Figura 11), intercalado por estratos de paraconglomerado, arenisca, lutita y toba riolítica y andesítica.

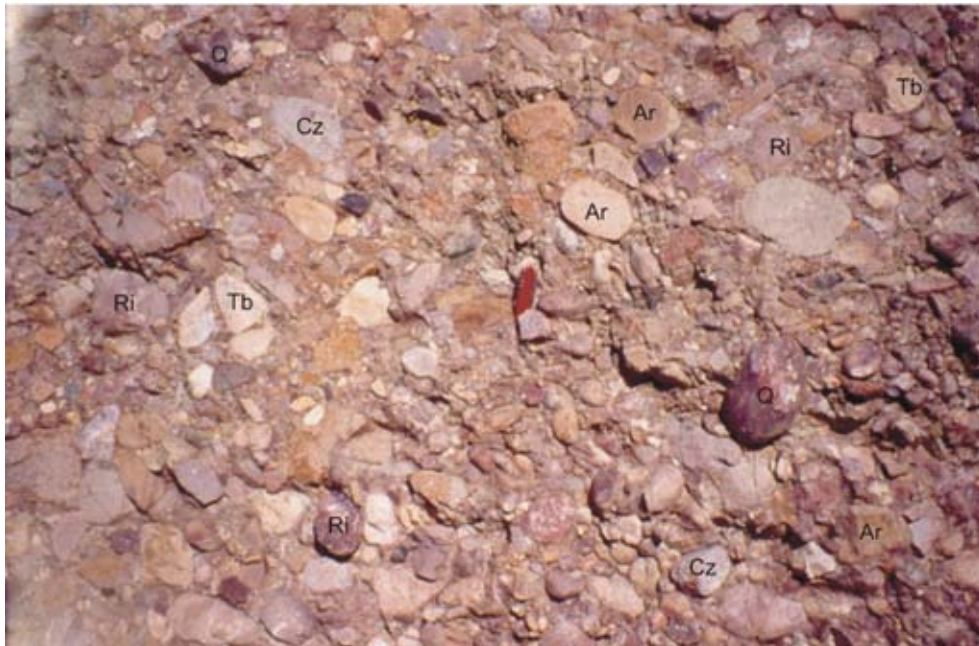


Figura 11 Detalle de las características polimicticas del Conglomerado Cocóspera. Cz = caliza, Tb = toba lítica, Ri = riolita, Q = cuarcita, Ar = arenisca

Con base en un estudio palinológico, Gilmont (1979) originalmente consideró a esta unidad como parte del Terciario, y posteriormente fue asignada al Jurásico por Nourse et al. (1994) a partir de su litocorrelación con el Conglomerado Glance del Grupo Bisbee. Sin embargo, la presencia de clastos de caliza con ostreas y orbitolínidos, así como estar cubierta por la Formación Mesa del Cretácico Tardío, permiten ubicarla con mayor certidumbre dentro del Cretácico Superior (Grijalva-Noriega, 1996). Recientemente fue fechada una toba andesítica dentro de esta unidad por Lawton et al. (2008), cuyo afloramiento se tiene a unos 10 km al este del área de estudio dentro de la Sierra El Pinito, resultando una edad de  $93.3 \pm 0.7$  Ma (Turoniano).

El ambiente de depósito interpretado para esta unidad es el de abanico aluvial. El contacto superior con el relleno sedimentario de la cuenca es una discordancia angular, la cual aflora claramente en el Km 168 de la carretera Ímuris - Agua Prieta (Figura 12), unos 5 km al este del límite suroriental del área de estudio.

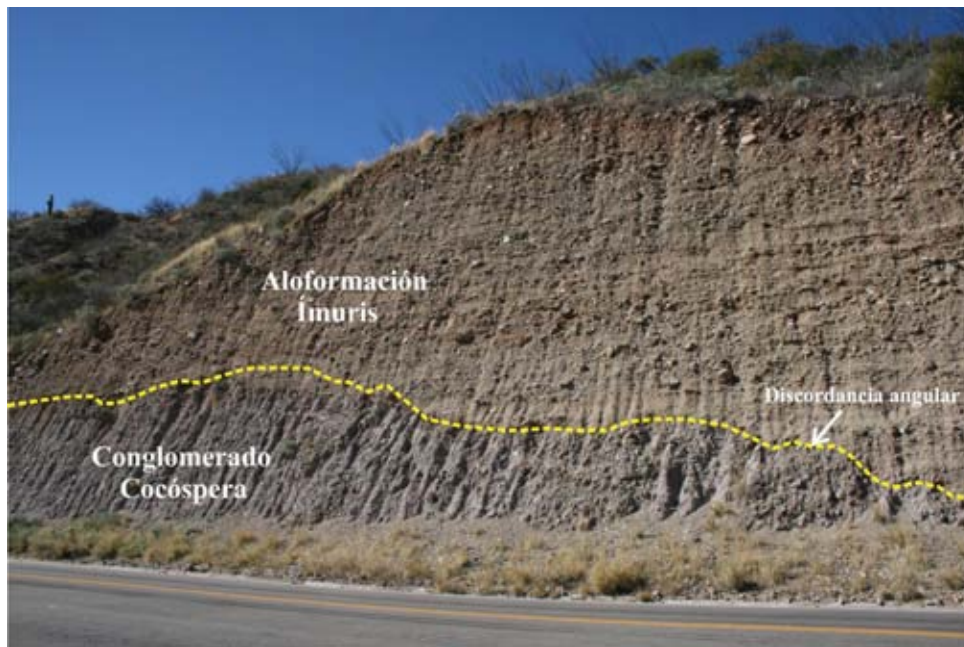


Figura 12 Discordancia angular entre la Aloformación Ímuris y El Conglomerado Cocóspera en la porción sur de la Sierra El Pinito.

### II.1.3 Ensamble Intrusivo El Jaralito

Esta unidad litodémica fue introducida a la literatura geológica por Grijalva-Noriega y Roldán-Quintana (1998) para englobar a todos aquellos cuerpos no estratificados intrusivos de Sonora cuya edad varía del Cretácico Tardío al Paleoceno y que comúnmente son tratados en la mayoría de los trabajos como “intrusivos laramídicos”.

En el área de estudio esta unidad está formada por rocas félsicas de composición granito-granodiorita que se encuentran aflorando ampliamente en la porción nororiental de la Sierra Guacomea, norte de la Sierra Cíbuta y norte de la Sierra El Pinito. Texturalmente son rocas equigranulares y pueden a llegar a presentarse muy deleznable debido al intemperismo. La mineralogía dominante es: cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasas sódicas a intermedias; como accesorios dominantes se tienen biotita y hornblenda.

Aunque no se tienen fechamientos radiométricos de estos cuerpos intrusivos dentro del área de estudio, sus relaciones estratigráficas y de intrusión permiten considerarla como parte del ensamble El Jaralito. Otro tanto puede decirse de la granodiorita Cuitaca que aflora al este del área de estudio, la cual se fechó por U/Pb en 64 Ma (Anderson y Silver, 1977).

En la parte norte de la sierra Guacomea, los sedimentos de la aloformación Ímuris cubren a estos cuerpos intrusivos mediante una discordancia erosional, claramente visible dentro del área estudiada lo largo de la Cañada Las Flores (Figura 13). Al norte de la sierra El Pinito, esta aloformación se encuentra cubriendo una falla normal que delimita el afloramiento de estos intrusivos en el límite nor-oriental de la cuenca.



**Figura 13** Discordancia erosional entre el granito del ensamble intrusivo El Jaralito y la Aloformación Ímuris, en la cañada Las Flores. Vista al S.

## II.2 RELLENO SEDIMENTARIO (CENOZOICO)

El relleno sedimentario de la cuenca Los Alisos está formado por dos unidades cenozoicas detríticas: (1) La Formación Báucarit que registra la sedimentación temprana dentro de la cuenca, y aunque no aflora en el área estudiada, está presente en el subsuelo de la misma; y (2) la Aloformación Ímuris, que es el registro de la sedimentación más tardía y cuyos afloramientos tienen una extensión amplia.

### II.2.1. Formación Báucarit

Originalmente propuesta por Dumble (1900) y formalizada por King (1939), la Formación Báucarit es la unidad litoestratigráfica detrítica mayormente documentada en la literatura geológica del Terciario sedimentario de Sonora. Se identifica en gran parte de la geografía sonorensis, principalmente en los límites occidentales de las cuencas terciarias en distensión. Esta unidad no presenta afloramientos superficiales dentro del área de estudio, pero sí se identificó en el subsuelo de la cuenca, a partir de una perforación exploratoria realizada por la Compañía Minera PEÑOLES.

A lo largo del camino de terracería hacia el poblado de Sáric, justo al noroeste de la cuenca en estudio, esta unidad cubre discordantemente a la riolita El Pinito, y en el rancho El Toro, a unos 5 km al norte del límite septentrional, la Formación Báucarit está formada por un conglomerado con intercalaciones de arenisca de color pardo rojizo en estratos medianos y un basalto vesicular y amigdalario de color gris oscuro a negro. El conglomerado es polimíctico dominado por clastos de andesita, cuarcita, conglomerado y riolita; mientras que la arenisca presenta una composición lítica a arcósica. Los estratos de esta unidad tienen una actitud de  $171^\circ \text{ NE } 38^\circ$  (Figura 14)

La Formación Báucarit se interpreta como el depósito de cuencas desarrolladas durante el período de distensión continental en Sonora entre los 26 y 16 Ma (Ferrari et al., 2005), por lo que su rango de edad es del Mioceno Temprano a Medio. En las inmediaciones de la localidad de San Felipe, en el centro de Sonora, Roldán-Quintana (1979) fechó isotópicamente (K/Ar) una andesita basáltica intercalada en la Formación Báucarit en  $21.7 \pm 0.41$  Ma. Así mismo, González-León et al. (2010) reportan para esta formación en la cuenca de Arizpe de Sonora, una serie de edades Ar/Ar entre  $24.2 \pm 0.2$  Ma y  $18.6 \pm 0.2$  Ma

La Formación Báucarit es correlacionable con la Formación Nogales, una unidad conglomerático-arenosa definida dentro de la Cuenca del Río Santa Cruz en las inmediaciones de ciudad de Nogales, Arizona en EEUU (Simons, 1974), y para la cual se reportan fechas isotópicas ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) entre 13.23 Ma y 17.38 Ma (Houser et al., 2004). Así mismo, esta unidad es cronocorrelacionable con las formaciones Magdalena y

Tubutama (Grijalva-Noriega y Roldán-Quintana, 1998), las cuales afloran al sur y suroeste respectivamente de la Cuenca Los Alisos. El contacto de la Formación Báucarit con los sedimentos de la aloformación Ímuris se tiene mediante una discordancia angular (Figura 15)



Figura 14 Afloramiento de la Formación Báucarit sobre el camino de terracería Nogales-Sáric. Vista hacia el SW.

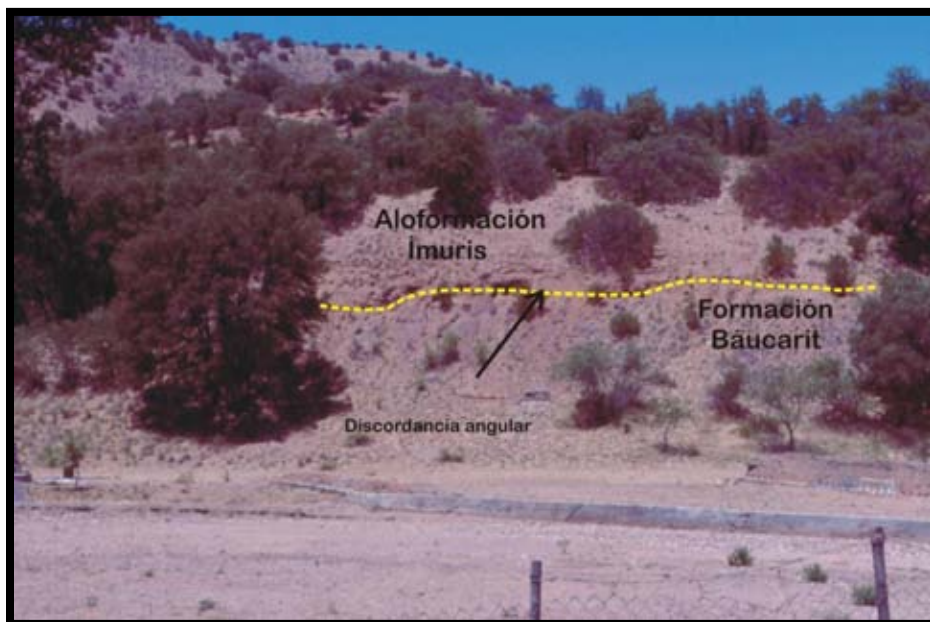


Figura 15 Discordancia angular entre el conglomerado del Mioceno (Formación Báucarit) y los sedimentos de la aloformación Ímuris en las inmediaciones del Rancho El Toro. Vista hacia el NW.



## II.2.2 Aloformación Ímuris

Los cuerpos sedimentarios que forman el relleno sedimentario tardío en la cuenca presentan características físicas muy variables tanto en sentido vertical como lateral, debido principalmente a los patrones cíclicos de depósito. Si a estos cuerpos se les diera un tratamiento litoestratigráfico, resultarían un conjunto de unidades numerosas y complejamente relacionadas, por lo que en este trabajo, esta secuencia detrítica es tratada como una unidad aloestratigráfica.

La clasificación aloestratigráfica permite discriminar unidades con base en las discontinuidades mayores que evidencian interrupciones en la sedimentación. El Código de Nomenclatura Estratigráfica de Norteamérica (*North American Commission on Stratigraphic Nomenclature*, 2005) establece que uno de los propósitos de definir una unidad aloestratigráfica es caracterizar un depósito limitado por discontinuidades, el cual puede presentar una heterogeneidad litológica (Art. 58a). En síntesis, la clasificación aloestratigráfica permite agrupar litologías diferentes pero genéticamente relacionadas y separadas de otras por discontinuidades (Figura 16). En este contexto, las unidades aloestratigráficas se pueden considerar equivalentes a las unidades limitadas por discontinuidades (*Unconformity Bounded Units*) contempladas dentro de la Guía Estratigráfica Internacional, donde la unidad fundamental es el Syntema (Murphy y Salvador, 1999)

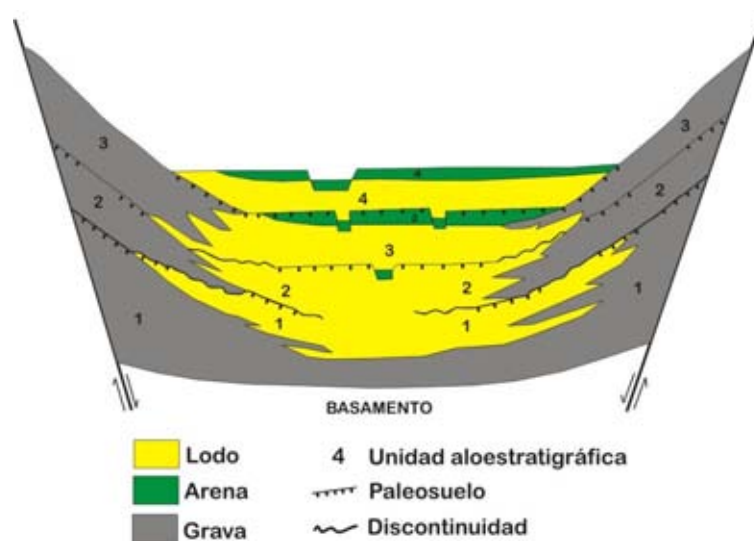


Figura 16 Ejemplo de una clasificación aloestratigráfica dentro de un sistema aluvial-lacustre en una cuenca de graben. Redibujada de *North American Commission on Stratigraphic Nomenclature* (2005).

La clasificación aloestratigráfica ha sido utilizada en trabajos relacionados con la estratigrafía de depósitos fluviales, donde se ha mostrado su idoneidad para el estudio de secuencias del Cenozoico Superior (Autin, 1992; Straffin et al., 1999; Herrero et al., 2004; Bell et al., 2005; Sinha et al., 2005). En México, la aloestratigrafía se ha utilizado muy poco, por ejemplo, se aplicó para agrupar las secuencias de lechos rojos continentales jurásicos (Rueda-Gaxiola et al., 1999), así como para los sedimentos cenozoicos en el subsuelo del delta del Río Sonora (Rodríguez-Torres et al., 2000).

Las discontinuidades mayores que se presentan dentro del relleno sedimentario en cuencas continentales se desarrollan debido a ajustes periódicos del sistema fluvial, causados principalmente por cambios considerables en el nivel base, en el gradiente de la pendiente o en las características de la relación agua/sedimento en las descargas (Miall, 1996). Para el caso de las discontinuidades que delimitan la aloformación definida en este trabajo, y que han sido identificadas dentro del área estudiada e interpretadas a partir de la geofísica, están determinadas por: 1) Una discordancia basal (erosional y angular) entre el relleno sedimentario tardío de la cuenca con el basamento de la misma y el relleno sedimentario temprano de la Formación Báucarit; 2) una superficie de erosión ampliamente distribuida a lo largo de la cuenca y muy bien marcada dentro del relleno sedimentario tardío, la cual delimita a los dos alomiembros; y 3) la superficie de erosión actual.

#### **II.2.2.1 Designación de la unidad**

La Aloformación Ímuris, propuesta en este trabajo, toma su nombre del poblado de Ímuris, asentamiento humano más importante dentro del área estudiada. Está formada por una secuencia detrítica caracterizada por intercalaciones de estratos de grava, arena y lodo pobremente consolidados, y con algunas capas de grava anómalamente consolidadas debido al proceso de cementación por carbonato de calcio. Se considera al arroyo Los Janos como localidad más importante de afloramiento de esta aloformación.

#### **II.2.2.2 Descripción de la unidad**

La caracterización litológica y descripción de la Aloformación Ímuris se hace con base a 33 secciones medidas (Anexo 1) en diferentes sitios a lo largo del área de estudio (Figura 17). A partir de una discontinuidad regional interna esta unidad es dividida en dos alomiembros, y debido a la variedad litológica que ésta presenta, la descripción de ambos se basa en las secciones que mejor determinan esta heterogeneidad.

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE), NORTE DE SONORA, MÉXICO

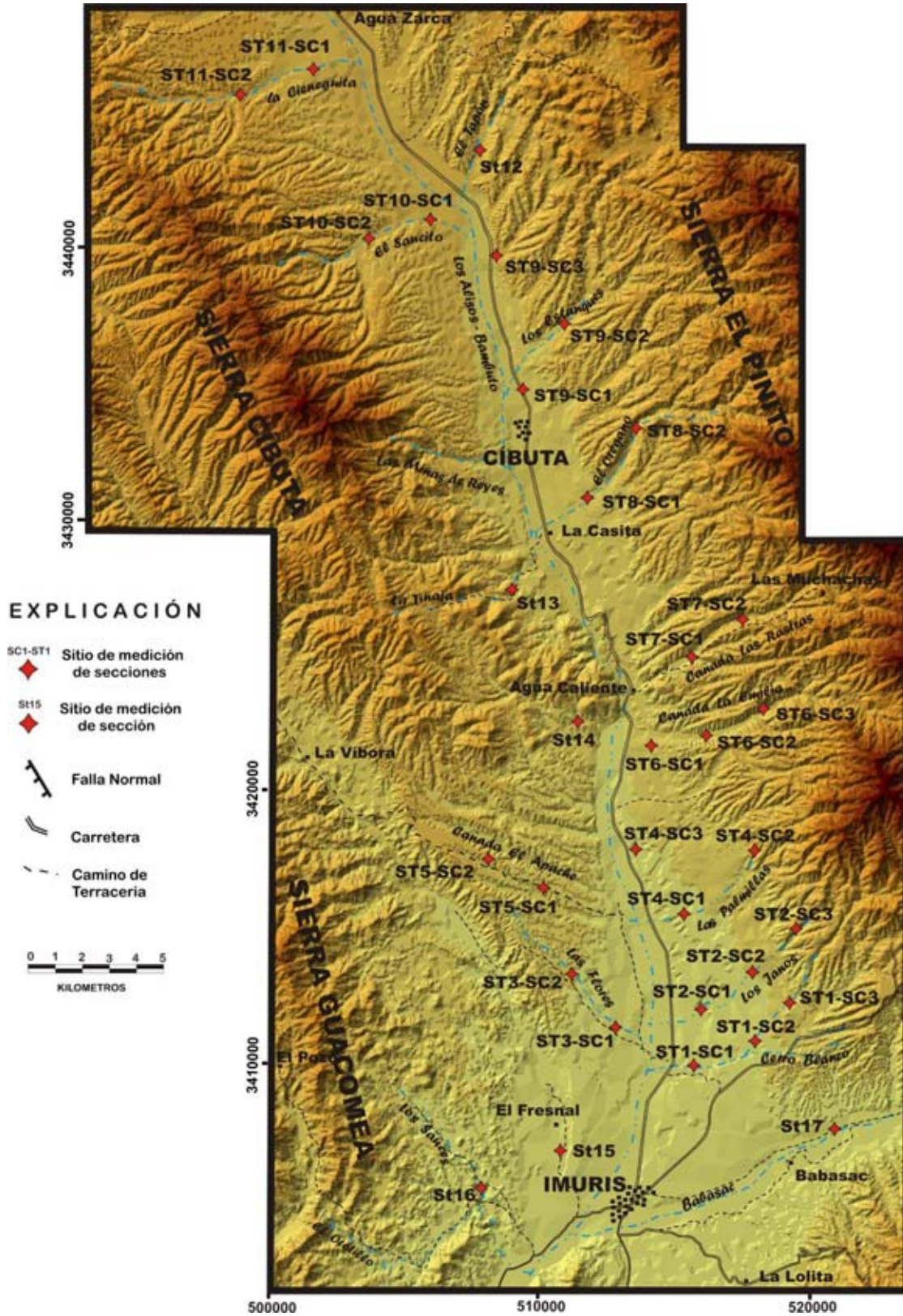


Figura 17 Localización de los diferentes sitios donde se llevó a cabo la medición de secciones.

### ***II.2.2.2.1 Alomiembro Inferior***

Este alomiembro está constituido por gravas y arenas no consolidadas que presentan intercalaciones locales de lodos y algunos horizontes de gravas de guijarros cementados por calcita. Las secciones más representativas de este alomiembro se encuentran localizadas principalmente en las porciones topográficas más bajas de la cuenca, por lo que sus afloramientos se tienen formando principalmente terrazas alargadas dispuestas en las partes más próximas al sistema fluvial axial del río Los Alisos (Figura 18). La descripción específica de las secciones más representativas es la siguiente:



**Figura 18** Panorámica del floramiento del alomiembro inferior de la Aloformación Ímuris en la cañada La Emilia. Vista hacia el NW.

### ***ST1-SC1 (Arroyo Cerro Blanco)***

En esta sección el alomiembro inferior está representado por dos secuencias arenosas de disminución en el tamaño de grano hacia arriba que son coronadas por arena media y lodo. La base de la sección es un horizonte delgado (10 cm) de gránulos bien cementado por carbonato de calcio, sobre el cual se tiene una capa de 1 m de espesor de arena de grano fino a medio de color café rojizo, que incluye gravas redondeadas con eje mayor de 0.8 cm en promedio, aunque algunas llegan a alcanzar los 3 y 5 cm. Sobre esta arena se tiene una secuencia de disminución en el tamaño de grano hacia arriba con un espesor de 2.90 m que inicia con una arena gravosa de color café claro y clastos pequeños de riolita, cuarcita y arenisca de 1.5 cm de eje mayor en promedio. La porción superior de esta

secuencia son arenas de grano medio a fino con algunos clastos pequeños incluidos y capas delgadas (10 cm) de lodo con laminaciones (Figura 19). Lateralmente a esta sección se tiene una segunda secuencia muy similar a la anterior con un espesor de 1.60 m.



**Figura 19** Afloramiento de una secuencia de disminución en el tamaño de grano hacia arriba en el sitio ST1-SC1 con arenas en la base (2.10 metros) y lodos en la cima (1.60 metros).

### ***ST2-SC1 (Arroyo Los Janos)***

El alomiento inferior aquí está representado por una secuencia arenosa de grano medio a grueso y gravosa (Figura 20), la cual presenta clastos de gravas subredondeadas de 5 cm de diámetro. La base de la sección es un paquete de 1 m de espesor de una arena de grano medio a grueso de color café claro que es sobreyacida por 2.80 m de arena de grano medio a fino con laminaciones y estratificación cruzada plana de ángulo bajo, cuyo ángulo de reposo presenta una actitud de  $215^{\circ}/23^{\circ}$ . Hacia la cima de la sección se tienen intercalaciones de horizontes lenticulares de gravas de 10 cm de espesor y 12 m de

extensión lateral, cuyos clastos subredondeados a subangulosos con ejes mayores de 7 cm, presentan una composición dominada por riolitas (85%), areniscas de cuarzo (10%) y conglomerado (5%).



**Figura 20** Afloramiento de la secuencia arenosa con estratificación cruzada plana en el sitio ST2-SC1 con intercalaciones de lentes de gravas en la cima. El afloramiento tiene un espesor de 12.20 m.

En la porción superior, estos horizontes lenticulares de gravas se intercalan en mayor proporción y presentan una continuidad lateral de hasta 18 m. El espesor medido para este alomembro es de 9.05 m.

### ***ST7-SC2 (Cañada Las Rastras)***

La base de esta sección está constituida por un paquete masivo de grava subredondeada con clasificación mala y textura sostenida (Figura 21). Los clastos, que son monolíticos de

riolita y muy pocos de cuarcita, presentan un promedio de 10 cm en el eje mayor, mientras que para los clastos mayores se tiene en un rango de entre 15 y 18 cm. Es muy evidente la imbricación de clastos con un ángulo de reposo hacia el NE ( $25^{\circ}/20^{\circ}$ ). En la parte superior de la sección estas gravas se intercalan con capas medias de arena gravosa a gruesa de color pardo oscuro, que incluye horizontes delgados de gravas con eje mayor de 8 cm. Estos horizontes de gravas, que contienen clastos mejor redondeados y de diámetros más pequeños (5-8 cm), determinan la base de secuencias de disminución en el tamaño de grano hacia arriba. El espesor medido es de 5.75 m.



**Figura 21** Detalle de la capa basal de gravas masivas en la sección ST7-SC2

### ***ST3-SC2 (Arroyo Las Flores)***

El alomamiento inferior en el arroyo Las Flores está representado por una sección que inicia con un paquete de 9.70 m de espesor de grava con textura sostenida, estratificación gruesa y matriz arenosa. Los clastos mayores de estas gravas alcanzan hasta 25 cm pero con 7 cm de eje mayor en promedio (Figura 22); mientras que su composición está caracterizada por riolitas de textura porfídica (65%), granito (25%), roca metamórfica (7%) y andesita (3%). En esta porción de la sección se intercalan lentes de arena gruesa de 25 cm de espesor y hasta 3 metros de longitud. La sección continúa con una capa gruesa de 1.40 m de espesor de arena de grano grueso a medio de color café rojizo que presenta

estratificación cruzada plana. La parte superior está dominada por un paquete de grava muy similar a la de la porción inferior, con la diferencia de que no aparecen los horizontes lenticulares de arena, y en las gravas se tiene imbricación de clastos mayores con un ángulo de reposo de  $305^{\circ}/28^{\circ}$ . El espesor medido es de 13.10 m.



Figura 22 Afloramiento de gravas de textura sostenida en la sección ST3-SC1.

### ***St-15 (Rancho El Fresnal)***

El alomiento inferior en las inmediaciones del rancho El Fresnal en la porción SW del área estudiada está caracterizado por una sección de 16.45 m de espesor. La base es una alternancia de arena de grano fino de color café claro y lodo de 4.15 m que presenta una bioturbación importante. Le sobryace un paquete de arena de grano fino, color café claro y con estratificación media. La arena presenta laminaciones paralelas y localmente se tienen nódulos de carbonato de calcio y cristales de yeso. La cima de la sección es un paquete de arena de grano medio a grueso de color café rojizo con la presencia local de nódulos de carbonato de calcio de 3 cm de diámetro, y que hacia la porción superior presenta un carácter gravoso con clastos de roca metamórfica de hasta 5 cm de eje mayor.



### ***St-14 (Rancho Los Alisos)***

Este sitio se localiza al oeste del rancho Los Alisos en la porción central del área estudiada. En este sitio el alomiembro inferior presenta un espesor medido de 8.30 m. La base es un paquete de grava con textura sostenida, clasificación mala y estratificación gruesa; la matriz es arenosa gruesa y sus clastos mayores presentan ejes mayores de hasta 1.10 m, dominando la riolita en la composición de éstos. A partir de una capa de grava de textura sostenida con clastos de 13 cm de eje mayor en promedio que se tiene a los 5.80 m, la sección continua como un paquete de grava de textura sostenida en donde se puede observar: una disminución hacia arriba en el tamaño de los clastos, una imbricación de clastos pobremente desarrollada, y la presencia local de horizontes lenticulares de arena de grano grueso de color café medio a rojizo

#### ***II.2.2.2 Alomiembro Superior***

Este alomiembro tiene afloramientos más restringidos y es más monótono litológicamente que el alomiembro inferior, ya que en las diferentes secciones donde éste se presenta, está constituido por una secuencia de grava que localmente contiene intercalaciones lenticulares de arena. Una de las características distintivas de este alomiembro es que tanto el tamaño como la forma de los clastos no son uniformes en las diferentes secciones. Sus afloramientos principales se tienen dominando las inmediaciones del límite oriental de la cuenca y muy localmente aparece en la porción SW del área estudiada. Generalmente aparece sobre el alomiembro inferior a partir de una superficie de erosión muy bien marcada. Para el alomiembro inferior, solo se hace la descripción de las dos secciones más características.

### ***ST6-SC2 (Cañada La Emilia)***

En esta sección dentro de la cañada La Emilia, el alomiembro superior está representado por capas masivas de grava con textura sostenida y clasificación de moderada a pobre (Figura 23 B). Presentan una disminución en el tamaño de los clastos hacia arriba, en donde el tamaño promedio en la base es de 24 cm, mientras que en la cima se tienen con 12 cm en promedio; aún cuando localmente se presentan clastos con el eje mayor de hasta 1.10 m. La composición de los clastos está constituida por riolita (85%), arenisca de cuarzo (10%) y conglomerado (5%). La forma de los clastos es subredondeada; sin embargo, en la porción superior de la sección, se pueden observar clastos con un mejor redondeamiento.

Aun cuando en esta sección el espesor medido del alomiembro superior fue de 2.68 m, es claro como hacia el límite de la cuenca se presentan secuencias en donde el espesor claramente excede las decenas de metros (Figura 23 A).

### *St-15 (Rancho El Fresnal)*

En este sitio, el alomiembro superior está representado por 1.56 m de espesor de una grava de textura sostenida, cuya composición de clastos está dominada por roca metamórfica y locales clastos de pegmatita y granito. Los clastos presentan una esfericidad baja y son principalmente subredondeados. El eje mayor de los clastos tiene un promedio de 12 cm.



**Figura 23** Panorámica viendo al N en la cañada La Emilia (A) con un espesor aproximado de 35 m. Afloramiento de gravas del alomiembro superior en la sección ST6-SC2 (B) con un espesor de 2.68 m. La línea punteada marca la discontinuidad limítrofe entre ambos alomiembros. Am1 = alomiembro inferior, Am2 = alomiembro superior.

#### **II.2.2.3 Espesor de la unidad**

Para efectos de determinar el espesor de la aloformación Ímuris se desarrollaron 3 secciones compuestas, aprovechando la horizontalidad de las capas de los sedimentos de esta unidad. A partir de éstas se establece que el espesor máximo expuesto en el área de estudio es de 110 m, encontrándose éste en la sección compuesta del sitio ST2 del Arroyo Los Janos (Figura 24) en la porción SE de la cuenca; mientras que los espesores mínimos entre 3 y 5 m se tienen en la porción NW (ST13) sobre el Arroyo La Tinaja. Sin embargo, el modelado de las secciones gravimétricas presentadas en el Apartado de Geofísica, donde se discrimina el espesor de esta unidad a partir de conocer su contacto discordante con la Formación Baúcarit y su diferencia de densidades, permite interpretar

un espesor total máximo, incluyendo su continuidad en el subsuelo, de 550 m para esta unidad.

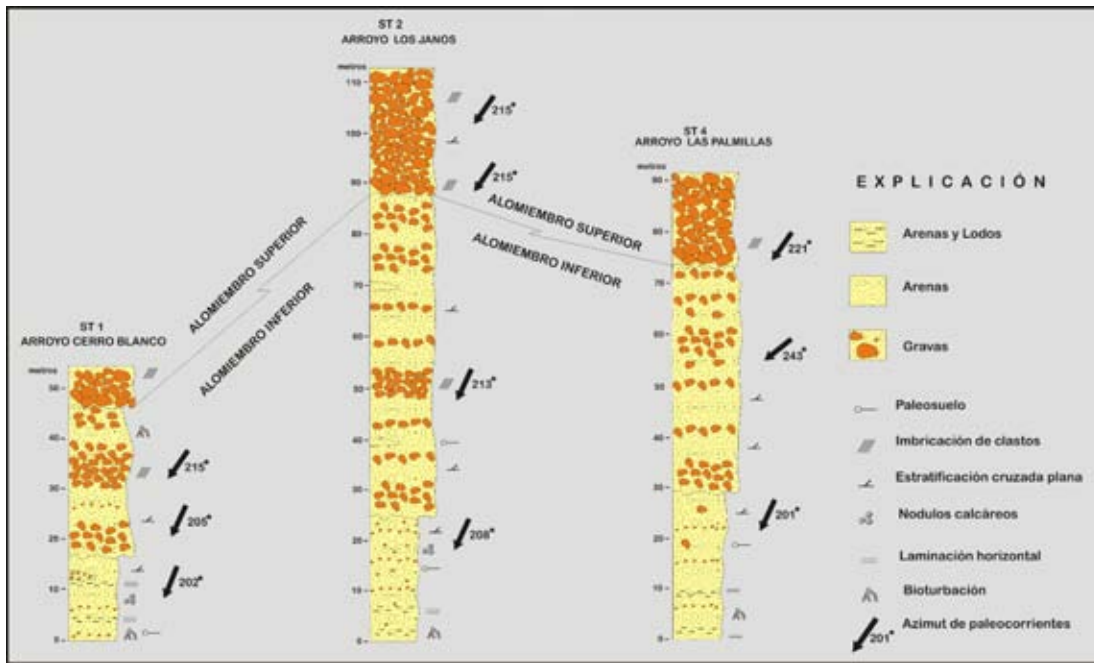


Figura 24 Columnas medidas compuestas de tres sitios, donde se muestra el espesor máximo aflorante de la aloformación Ímuris en la sección arroyo los Janos.

#### II.2.2.4 Edad y correlación de la unidad

Uno de los principales problemas enfrentados durante el desarrollo de este trabajo fue determinar la edad de la Aloformación Ímuris. Las características litológicas de ésta, donde se tiene una predominancia de gravas y arenas depositadas en ambientes de abanico aluvial y fluvial, no favorece la preservación de material orgánico que pudiera ser caracterizado paleontológicamente. En los sedimentos finos interpretados como depósitos lacustres no se encontraron restos que pudieran ser útiles para este fin. Además, sus afloramientos no incluyen material volcánico que pudiera ser fechado isotópicamente. Inclusive, los intentos de recolectar muestras para efectuar estudios paleomagnéticos y palinológicos también fueron infructuosos. Ante esta problemática, que regularmente ocurre en este tipo de depósitos, la litocorrelación con unidades litoestratigráficas definidas en cuencas aledañas al área estudiada, tanto en Arizona como en Sonora, fueron determinantes para proponer la edad de la aloformación Ímuris en la Cuenca Los Alisos; así como también su relación estratigráfica con la secuencia conglomerática de la Formación Báucarit. A continuación se presenta una correlación con unidades similares de edades conocidas en cuencas cercanas.

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO

La porción estadounidense de la Cuenca San Pedro al sureste de Arizona (Figura 25) es caracterizada estratigráficamente por la Formación St. David (Smith, 1994). El miembro medio de esta formación consiste, en una porción de dicha cuenca, de lodos y arenas de grano fino, mientras que en otra, de arenas gruesas y gravas. Lo anterior muestra una variación lateral muy marcada en el tamaño de los sedimentos. Por su parte, el miembro superior de la Formación St. David es dominado por gravas, arenas gravosas y arenas calcáreas en menor proporción. La descripción litológica de esta unidad permite correlacionarla con el alomembro inferior de la aloformación Ímuris de la Cuenca Los Alisos. Smith (1994) asigna a la Formación St. David, a partir de estudios paleomagnéticos, un alcance geocronológico del Plioceno al Pleistoceno Temprano. Morgan y White (2005) reportan que la porción media de esta unidad presenta restos de vertebrados, entre otros, de caballo (*Nannippus peninsulatus* y *Equus simplicidens*), camello (*Camelops*), puercoespín (*Erethizon bathygnathum*) y roedor (*Sigmodon curtisi*), por lo que su edad es Plioceno. Por su parte, el alomembro superior de la aloformación Ímuris se correlaciona con la unidad Granite Wash de la cuenca San Pedro, cuya edad es más reciente a los 0.6 Ma (Smith, 1994), toda vez que se describe como una unidad dominada por gravas y con un espesor reducido.

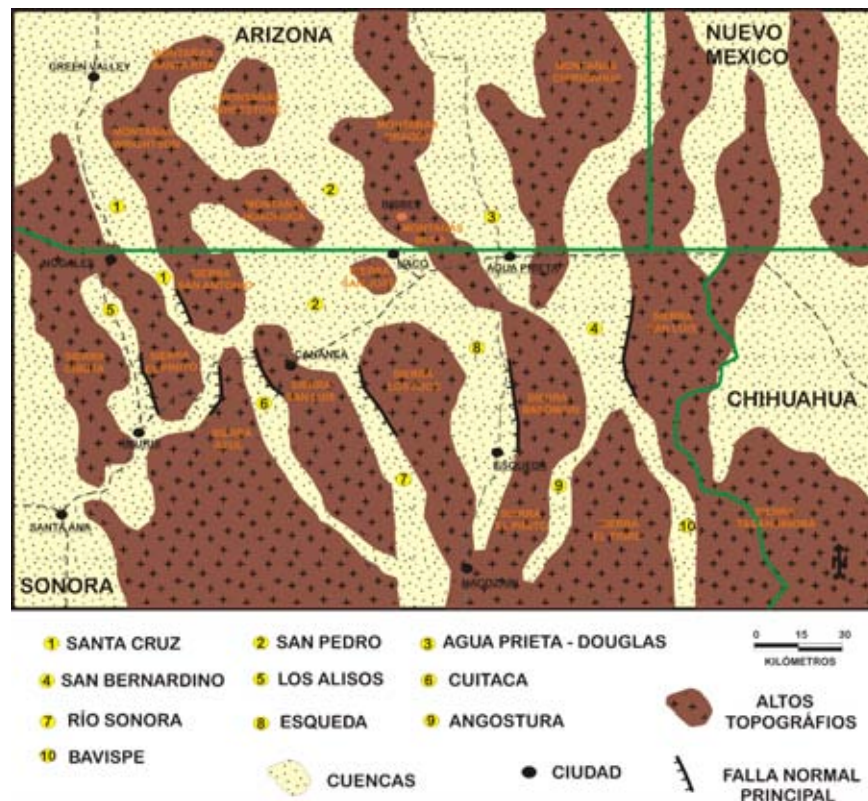


Figura 25 Distribución de cuencas del Plio-Pleistoceno en el N-NE Sonora y S-SE de Arizona.

En el sur-centro de Arizona, en la porción estadounidense de la Cuenca Santa Cruz (Figura 25), se reporta una unidad nombrada informalmente como Relleno Sedimentario Superior (*Upper Basin Fill*) que está dominada por gravas y arenas, a la cual se le asigna una edad del Plioceno al Pleistoceno (Baldyga, 2001; Houser et al., 2004), y que puede ser correlacionable a la Aloformación Ímuris con base en su litología y sedimentación. Morgan y White (2005) reportan dentro de estos sedimentos la presencia de restos de caballo (*Equus (Asinus) pons*), marmota gigante (*Paenemarmota barbouri*), y camello (*Pleiolama vera*), los cuales sugieren una edad del Plioceno. En esta localidad, dicha unidad se encuentra discordantemente sobre un conglomerado terciario (Formación Nogales) del Mioceno, relación estratigráfica similar a la que presenta la aloformación Ímuris sobre la Formación Báucarit en la cuenca Los Alisos

En Sonora se han llevado a cabo muy pocos estudios estratigráficos sobre el relleno de las cuencas del Plio-Pleistoceno, por lo que, aunque la litocorrelación entre estos sedimentos es muy evidente, no puede llevarse a cabo con certidumbre; de hecho, no se tiene reportada unidad estratigráfica formal alguna. En la gran mayoría de los trabajos donde cartográficamente se incluyen estos sedimentos, sólo son nombrados informalmente como relleno sedimentario indiferenciado, gravas y arenas terciarias, aluvión cuaternario, etc. Sin embargo, la presencia de restos fósiles de vertebrados, han hecho que estas cuencas fueran estudiadas por varios autores.

En la Cuenca Moctezuma (Figura 26) de la porción centro-oriental de Sonora, se reporta mastofauna del Pleistoceno Tardío, principalmente restos de équidos (*Equus excelsus* y *Equus conversidens*) y bisonte (*Bison sp*) que se encuentran en los sedimentos que rellenan la cuenca (Carranza y Roldán, 2007). En esta misma localidad, Paz-Moreno et al. (2003) fecharon un basalto en 1.7 Ma que está intercalado con sedimentos pobremente consolidados, y que a su vez se tienen cubriendo discordantemente a las rocas conglomeráticas de la Formación Báucarit. Las características granulométricas de estos sedimentos y su relación estratigráfica permiten proponer una correlación con la Aloformación Ímuris de la Cuenca Los Alisos. Algo similar se documentó en la Cuenca Arizpe, donde en los sedimentos aluviales que sobreyacen discordantemente a la Formación Báucarit se identificaron restos de mamut (*Mammuthus imperator*), anfibios, reptiles y aves que se asignaron al Pleistoceno (Lucas y González-León, 1996; Devender et al., 1985).

Con base en las correlaciones establecidas en los párrafos anteriores (Figura 27), se postula que la sedimentación de la aloformación Ímuris dentro de la Cuenca Los Alisos se llevó a cabo principalmente desde el Plioceno y hasta, al menos, el Pleistoceno; sin embargo, ésta pudo haberse iniciado desde el Mioceno Tardío.

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE), NORTE DE SONORA, MÉXICO

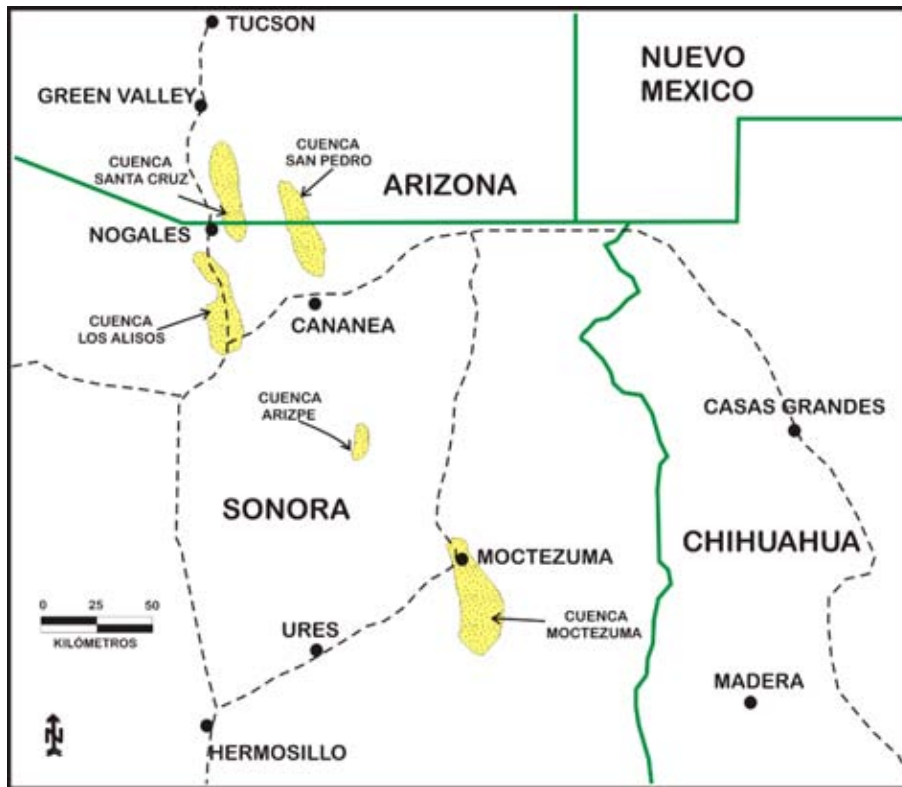


Figura 26 Localización de las principales cuencas en Sonora y adyacentes en Arizona donde se ha reportado mastofauna plio-pleistocena. También se incluye la cuenca estudiada Los Alisos.

	Los Alisos (Este trabajo)	Moctezuma (Cartanza y Roldán, 2007)	Arizpe (Lucas y Gozález, 1996)	Santa Cruz (Nelson y Erwin, 2001)	San Pedro (Smith, 1994)	Tucson (Houser et al., 2004)
Holoceno					Granite Wash	Upper Basin Fill
Pleistoceno		Limolitas, areniscas y conglomerados con vertebrados fósiles	Poorly consolidated gravels and sands	Younger Alluvium	Formación St. David	
Plioceno	Aloformación Ímuris			Older Alluvium		Lower Basin Fill
Mioceno	Formación Báucarit	Formación Báucarit	Formación Báucarit	Formación Nogales		Formación Pantano

Figura 27 Tabla de correlación de la Aloformación Ímuris con unidades descritas en diferentes cuencas cenozoicas de la región en Sonora y Arizona

### III LITOFACIES DE LA ALOFORMACIÓN ÍMURIS

La definición de las litofacies que caracterizan el relleno de una cuenca continental es esencial para poder entender su formación y evolución. Combinando las observaciones hechas en campo de las características litológicas y sus relaciones espaciales con información comparativa de otras unidades estratigráficas estudiadas y particularmente con estudios sobre sistemas de depósito actuales, permite tener herramientas para varias interpretaciones, entre éstas, el conocimiento del ambiente y los procesos de depósito, así como algunas implicaciones paleoclimáticas y paleotectónicas. Por lo tanto, la determinación de las litofacies en la Cuenca Los Alisos, es muy importante para conocer la historia de depósito del relleno sedimentario tardío de la aloformación Ímuris.

En este contexto, se definieron un total de 8 litofacies básicas: gravas masivas con textura incluida (Gmm), gravas estratificadas con textura sostenida (Gh), gravas con estratificación cruzada (Gp), arenas estratificadas (Sh), arenas lenticulares (Sl), limos arenosos (Fl), limos (F), y sedimentos carbonatados (P). Algunas de estas litofacies fueron subdivididas a partir de características particulares

#### III.1 GRAVAS MASIVAS CON TEXTURA INCLUIDA (Gmm)

**DESCRIPCIÓN.-** La litofacies Gmm está dominada por gravas de redondeadas a angulosas que van desde gujarros hasta guijones, las cuales se presentan con textura incluida (*matrix-supported*). La clasificación de los clastos es pobre y sin una imbricación definida. A partir de las diferencias en la composición litológica de los clastos, esta litofacies se divide en Gmm1 y Gmm2.

Gmm1 son gravas oligomicticas de riolita pobremente clasificadas en las cuales se encuentran guijones angulosos a subangulosos de hasta 1.8 m de eje mayor, en una matriz de arena de grano grueso a medio de color pardo rojizo (Figura 28); en varios afloramientos esta litofacies incluye estratificación gradual inversa (Figura 29).

La litofacies Gmm2 son gravas polimicticas moderadamente clasificadas, de subangulosas a redondeadas, matriz arenosa gruesa de color pardo claro a rojizo, y cuya composición de clastos está dominada por granito, riolita, andesita y roca metamórfica (Figura 30). Una característica de la litofacies Gmm2 es que aunque mantiene su textura incluida, los clastos se presentan en mayor proporción que en Gmm1, y predomina el tamaño de los guijones con ejes mayores de 15 cm en promedio.



Figura 28 Litofacies Gmm1 donde se encuentran guijones de riolita de hasta 1.5 m.

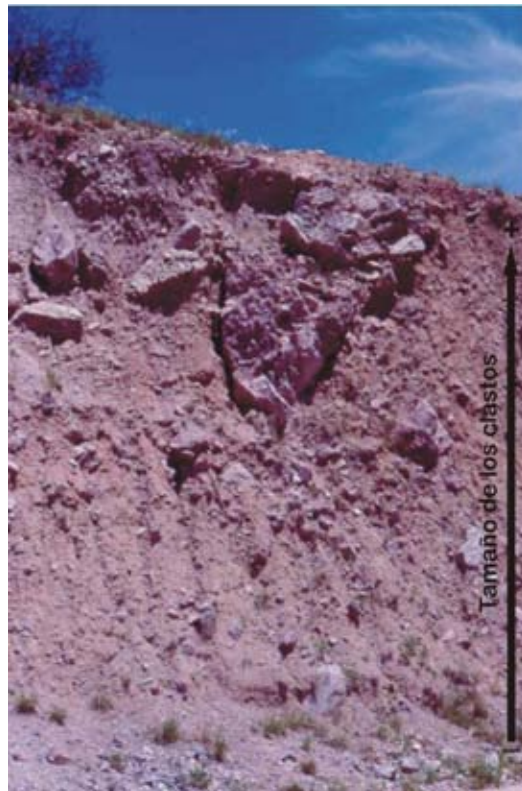


Figura 29 Litofacies Gmm1 representada por gravas monolíticas de riolita de textura incluida y estratificación gradual inversa.





Figura 30 Litofacies Gmm2 representada por gravas poliliticas donde sobresalen clastos subredondeados de granito (G) y riolita (R)

**INTERPRETACIÓN.**- La textura, el tamaño de los clastos y su forma, así como la estratificación gradual inversa presente en la litofacies Gmm1, permiten interpretarla como depósitos de flujo de detritos asociados a deslizamientos por gravedad. A partir del tamaño menor de los clastos, el mejor redondeamiento y la mayor proporción de clastos dentro de la textura incluida, la litofacies Gmm2 se considera como producto de flujos de detritos hiperconcentrados.

### III.2 GRAVAS ESTRATIFICADAS CON TEXTURA SOSTENIDA (Gh)

**DESCRIPCIÓN.**- La litofacies Gh se caracteriza por estratos gruesos de gravas subangulosas a subredondeadas, moderadamente a bien clasificadas. Los clastos son guijas con eje mayor entre 8 mm y 10 cm, y se tienen en una matriz (<15%) de arena gruesa color pardo rojizo (Figura 31), resultando en una textura sostenida (*clast supported*). Se presenta en estratos tabulares donde regularmente puede distinguirse una incipiente imbricación de clastos (Figura 32), y solo localmente, estratificación gradual inversa.



Figura 31 Litofacies Gh representada por gravas monolíticas de riolita de textura sostenida y moderadamente clasificadas. Viendo hacia el NW

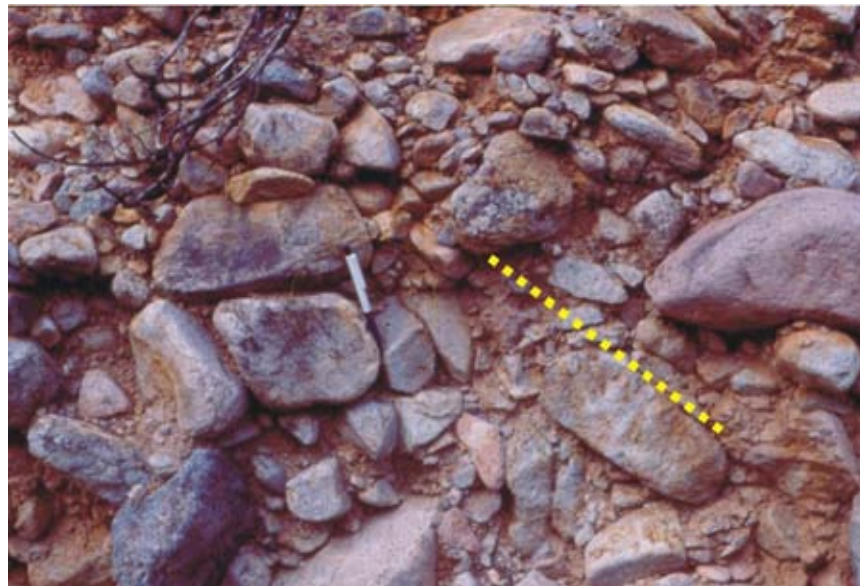


Figura 32 Imbricación de clastos en la litofacies Gh. La línea punteada representa el ángulo de reposo general de la imbricación, a partir del cual se obtienen los datos de paleocorrientes.

La composición de clastos de la litofacies Gh es variada dependiendo de su posición dentro de la cuenca, llegando a estar representada por gravas monolíticas de riolita, gravas monolíticas de riolita esquistosa (Figura 33), hasta gravas polilíticas dominadas por granito, riolita, arenisca, conglomerado y andesita, esta última con afloramientos restringidos en la porción más sur-occidental del área estudiada.

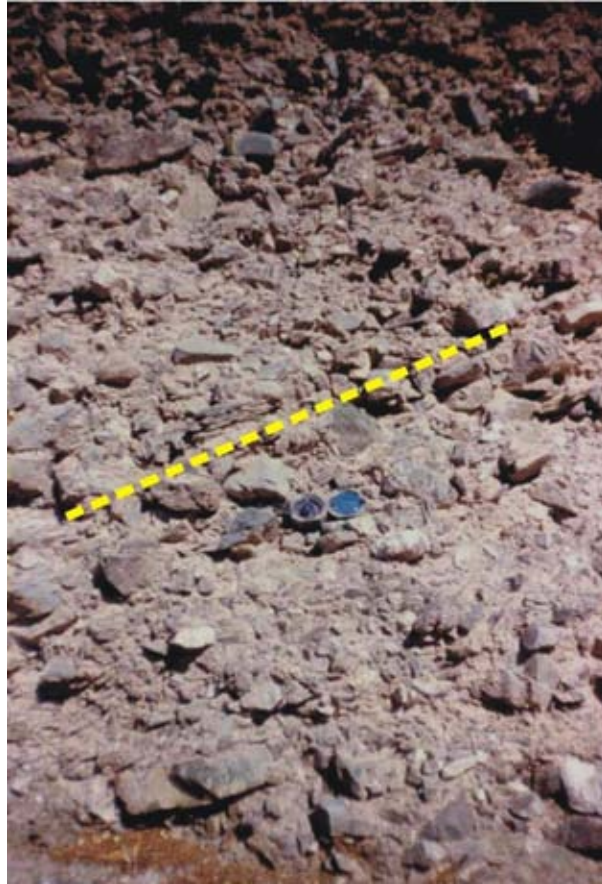


Figura 33 Litofacies Gh representada por gravas monolíticas de riolita esquistosa La línea punteada representa el ángulo de reposo general de la imbricación.

**INTERPRETACIÓN.**- Las características de una clasificación moderada de la litofacies Gh y su textura sostenida, se interpretan como depósitos gruesos dominados por procesos de gravedad.

### III.3 GRAVAS CON ESTRATIFICACIÓN CRUZADA (Gp)

**DESCRIPCIÓN.**- La litofacies Gp está caracterizada por horizontes de gravas polimicticas con estratificación cruzada plana de mediana escala (Figura 34) y clasificación de moderada a buena. Los clastos son del tamaño de guijarros a guijas, de

subredondeados a subangulosos, y con ejes mayores entre 1 y 10 cm. Estas gravas se presentan en capas lenticulares de estratificación media a gruesa con espesores que varían entre los 20 cm y 1.8 m, y de hasta 20 m de longitud.



Figura 34 Gravitas con estratificación cruzada plana de mediana escala de la Litofacies Gp. La línea punteada representa el ángulo de la estratificación cruzada

Es común que esta litofacies se presente formando parte de la porción basal de secuencias de disminución en el tamaño de grano hacia arriba (*finning upward sequences*), con contactos basales erosionales muy marcados sobre la litofacies infrayacente. Localmente se puede observar imbricación de clastos

**INTERPRETACIÓN.-** A partir de la presencia de la estratificación cruzada y las características lenticulares de los estratos en esta litofacies, se interpreta como depósito basal de secuencias de canal dentro de un sistema fluvial.

#### III.4 ARENAS ESTRATIFICADAS (Sh)

**DESCRIPCIÓN.-** Esta litofacies se caracteriza por arenas de grano medio hasta gravosas de color pardo medio a pardo rojizo y estratificación media a gruesa. Por sus características internas se divide en Sh1 y Sh2.

La litofacies Sh1 está representada por arenas de grano grueso a gravosas que generalmente se presentan en capas tabulares con estratificación cruzada plana de mediana escala (Figura 35), y se encuentran en la cima de las secuencias de disminución de tamaño de grano hacia arriba. La litofacies Sh2 presenta una granulometría más uniforme de grano medio y se caracteriza por presentar intercalaciones de horizontes delgados determinados por diferente granulometría, desde arenas finas a limos (Figura 36).



Figura 35 Arenas gruesas a gravosas con estratificación cruzada plana de mediana escala de la litofacies Sh1. La línea punteada representa el ángulo de la estratificación cruzada.

**INTERPRETACIÓN.-** Por las características de escala mediana de la estratificación cruzada, y por su granulometría gruesa, la litofacies Sh1 se interpreta como depósito de barra asociada a los canales dentro de sistemas fluviales. La litofacies Sh2 es interpretada como depósitos generados en la zona de desborde de canales o en planicies de inundación fluvial, debido a la ausencia de estratificación cruzada, a la presencia de una granulometría más fina dominante en las arenas y la intercalación de capas con arenas muy finas y lodos.

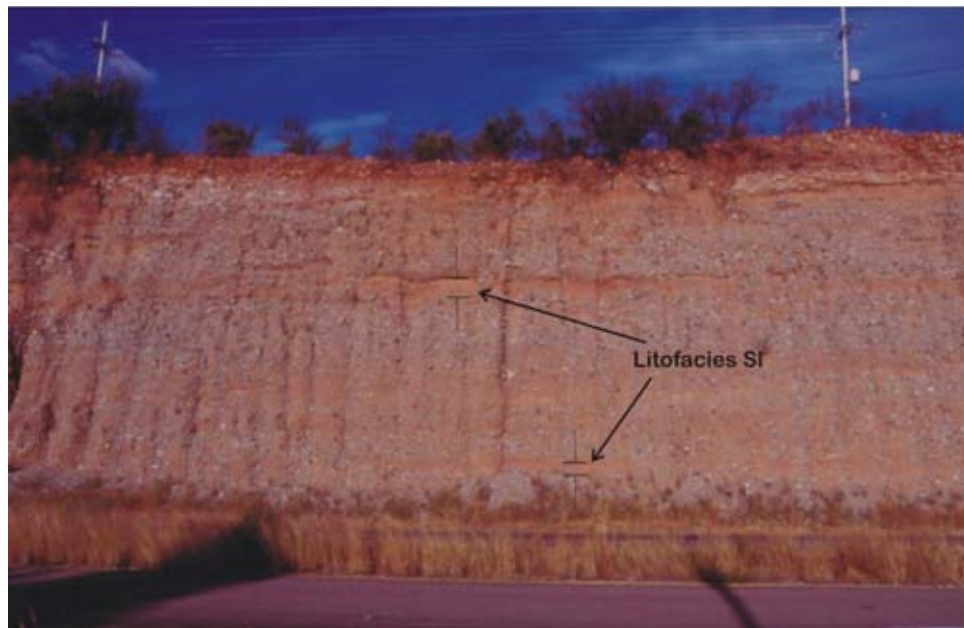
### III. 5 ARENAS LENTICULARES (SI)

**DESCRIPCIÓN.-** La litofacies SI está caracterizada por la presencia de arenas de grano gruesa a medio, subangulosas y de color pardo claro a pardo rojizo que presentan estratificación lenticular (Figura 37). Esta litofacies regularmente se tiene dentro de las

capas de grava. Los lentes tienen espesores promedio de 35 cm, con máximos de hasta 80 cm; mientras que la continuidad lateral varía de 8 hasta 20 m. Dentro de algunos de estos horizontes de arena se identifica estratificación cruzada plana de pequeña escala pobremente marcada, así como la presencia de grava del tamaño de gránulos y guijarros.



**Figura 36 Capas medias de arenas de la Litofacies Sh2.**



**Figura 37 Estratos lenticulares arenosos de la litofacies SI intercalados en la litofacies Gh**

**INTERPRETACIÓN.-** La característica lenticular de la estratificación de la litofacies SI, su granulometría gruesa y su asociación con las litofacies de grava, permiten que se interprete como depósitos arenosos desarrollados dentro de las barras en un ambiente fluvial.

### III.6 LIMOS ARENOSOS (FI)

**DESCRIPCIÓN.-** La litofacies FI se presenta aflorando únicamente en la porción que determina el límite sur del área estudiada, con una asociación muy marcada con litofacies de arena. Está caracterizada por limo arenoso de color pardo medio a rojizo que se presenta con estratificación media (Figura 38) e intercalaciones locales de arenas de grano fino. Los sedimentos se presentan con una bioturbación de moderada a intensa por raíces, y localmente laminada.

**INTERPRETACIÓN.-** Las características granulométricas de la litofacies FI y su asociación con litofacies de arena, permiten interpretarla como depósitos finos desarrollados dentro zonas de desborde de canales o en planicies de inundación de un sistema fluvial.



Figura 38 Afloramiento de limos arenosos que caracterizan la litofacies FI

### 43III.7 LIMOS (F)

**DESCRIPCIÓN.-** Esta litofacies se tiene con afloramientos muy locales hacia la porción centro-sur del área estudiada, a 4 kilómetros al oeste del poblado de Ímuris. Está caracterizada por limos de color pardo medio a rojizo que se presentan con estratificación mediana y laminaciones internas (Figura 39).

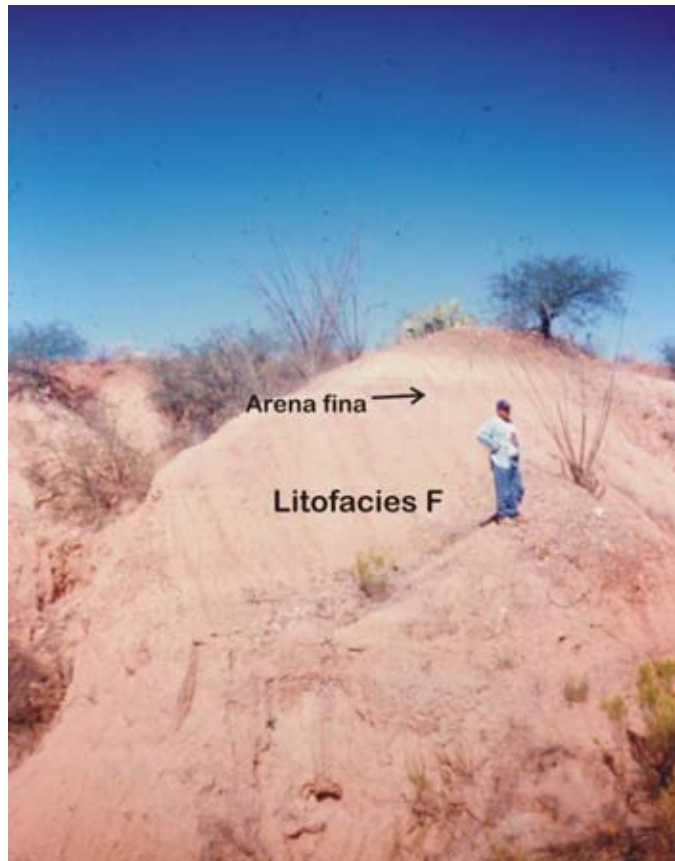


Figura 39 Afloramiento de limos de la litofacies F. incluyendo una capa de arena fina en la porción superior. Vista hacia el NW.

**INTERPRETACIÓN.-** Las características granulométricas de la litofacies F se interpretan como depósitos finos desarrollados dentro de un sistema lacustre.

### III.8 SEDIMENTOS CARBONATADOS (P)

**DESCRIPCIÓN.-** La litofacies P está representada por horizontes donde se tiene la precipitación de carbonato de calcio. A partir de la manera en que se presenta este carbonato dentro de los sedimentos, esta litofacies se divide en P1 y P2.



La litofacies P1 corresponde a horizontes principalmente arenosos donde el carbonato de calcio se presenta en forma de nódulos de color gris medio, con formas alargadas y diámetro promedio de 3 cm (Figura 40); regularmente se tienen asociados a las litofacies de arena. Por otro lado, la litofacies P2 está caracterizada por capas delgadas de gravas de guijarros y gránulos que son cementadas por carbonato de calcio, lo que hace que se presenten anómalamente compactadas (Figura 41).

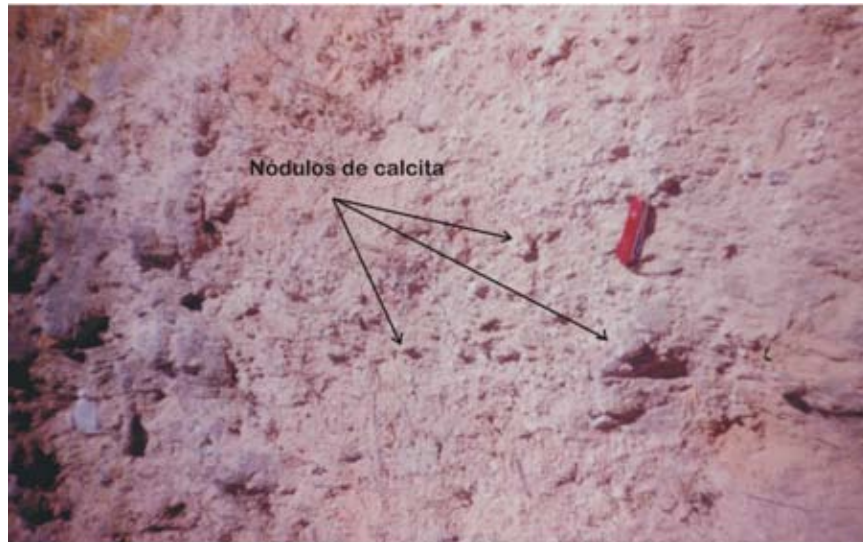


Figura 40 Nódulos calcáreos en arenas finas a medias que caracterizan a la litofacies P1



Figura 41 Horizonte de grava cementado por calcita que caracteriza a la litofacies P2. La línea punteada representa el contacto basal de la capa.

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO**

**INTERPRETACIÓN.**- La presencia de carbonato de calcio en esta litofacies se interpreta como producto de la precipitación diagenética asociado al antiguo nivel freático bajo un clima relativamente árido.

La tabla 1 presenta resumida la descripción e interpretación de las diferentes litofacies identificadas para la Aloformación Ímuris en la Cuenca Los Alisos

Litofacies	Descripción	Interpretación
Gmm1	Gravas monolíticas de riolita mal clasificadas donde se encuentran clastos de hasta 1.8 metros de diámetro en una matriz de arena de grano grueso a medio	Depósitos de flujo de detritos asociados a deslizamientos por gravedad
Gmm2	Gravas polilíticas mal clasificadas, de redondeadas a subangulosas, donde la composición de clastos está dominada por granito, andesita, riolita y esquisto	Producto de flujos de detritos hiperconcentrados
Gh	Gavas subredondeadas a redondeadas de estratificación gruesa, moderadamente a bien clasificadas, con clastos de diámetros entre 8 mm y 10 cm	Depósitos gruesos dominados por procesos de gravedad
Gp	Gravas polilíticas con estratificación cruzada plana de mediana escala. Su clasificación es de moderada a buena y sus clastos se presentan de subredondeados a subangulosos, con diámetros de 1 hasta 10 cms. Se presenta en estratos medios lenticulares	Depósitos basales de secuencias de canal dentro de un sistema fluvial
Sh1	Arenas de grano grueso a gravosas que generalmente se presentan en capas tabulares y encuentran en la cima de las secuencias de disminución de tamaño de grano hacia arriba. Localmente se observa estratificación cruzada plana.	Depósitos de barras asociadas a los canales en sistemas fluviales
Sh2	Arenas con una granulometría más uniforme de grano medio y en capas tabulares. Se caracteriza por presentar laminaciones internas, marcadas por horizontes delgados que son determinados por diferente granulometría, desde arenas finas a limos	Depósitos generados en la zona de desborde de canales o en planicies de inundación dentro de un sistema fluvial
Sl	Arenas gruesas a medias en capas lenticulares que se tienen predominantemente intercaladas con la litofacies Gh y Gp	Depósitos de barras dentro de sistemas fluviales
Fl	Limos arenosos en estratos medios con intercalaciones locales de arenas de grano fino. Se presenta con una bioturbación de moderada a intensa por raíces y localmente laminada.	Depósitos finos de planicies de inundación,
F	Limos con estratificación media y laminar de color pardo medio a rojizo	Sedimentos depositados en sistemas lacustres locales
P1	Horizontes con nódulos calcáreos de color gris claro, con formas alargadas y diámetro promedio de 3 centímetros; regularmente se tienen asociados a las litofacies Sh y Fl	Producto de la acción pedogenética bajo un clima relativamente árido
P2	Gravas de guijarros de estratificación delgada cementadas por carbonato de calcio (calcita), que se tienen asociadas a las litofacies Sh y Gh.	Producto de la acción pedogenética bajo un clima relativamente árido

**Tabla 1 Litofacies identificadas en el área de estudiada.**

#### IV ASOCIACIÓN DE LITOFACIES Y AMBIENTE DE DEPÓSITO

La distribución vertical y horizontal de las litofacies definidas para el relleno sedimentario tardío dentro del área estudiada, así como la asociación entre éstas, fueron la base para interpretar el sistema de depósito bajo el cual estos sedimentos fueron acumulados.

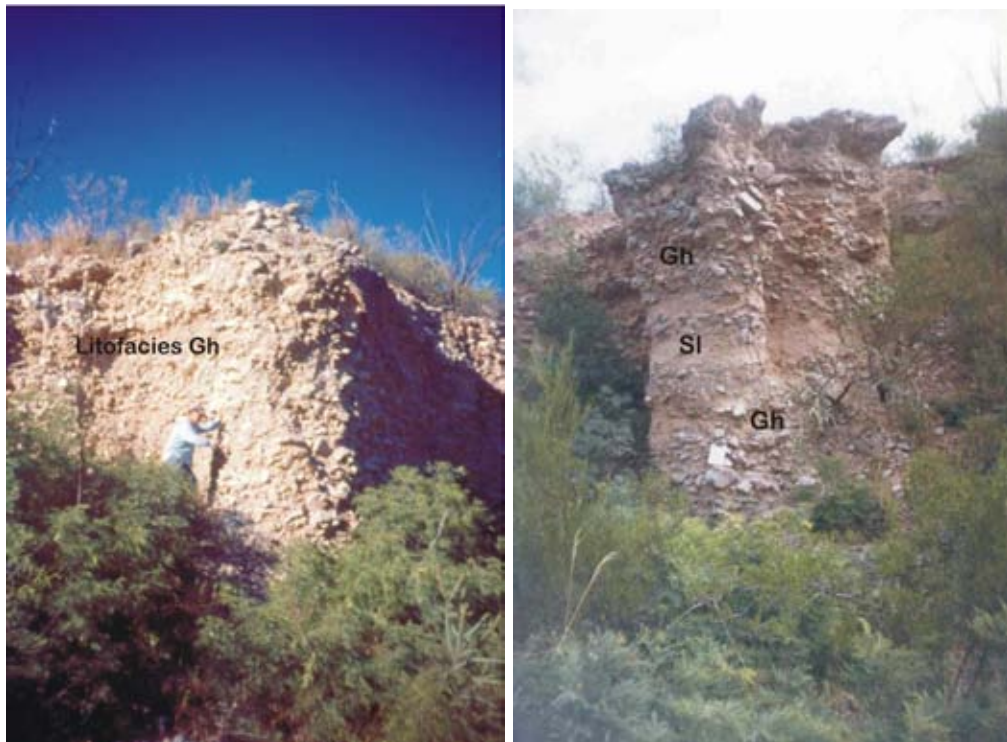
Las litofacies Gmm1, Gmm2 y Gh se distribuyen principalmente en las porciones limítrofes oriental y occidental del área estudiada, determinando principalmente el desarrollo de procesos de depósito de flujos de gravedad y caídos de rocas de las litologías que dominaban los elementos elevados en los límites de la cuenca. Este tipo de procesos son identificados como elementos importantes en el desarrollo de sistemas de abanicos aluviales (Figura 42), y representan criterios principales para reconocer este tipo de ambientes (Gómez-Villar, 1996), asociándolos a la porción del abanico próximo (Blair y McPherson 1998).



Figura 42 Representación esquemática de un ambiente de abanico aluvial, indicando las porciones del abanico próximo, medio y distante en que se divide este ambiente. Modificado de Spearing (1974)

La presencia de una litología similar a la facies Gmm1, Gmm 2 fue interpretada de igual forma como depósitos de abanico aluvial antiguo (Caselli y Limarino, 2002; Bayona y Lawton, 2003; DeCelles et al., 2007), así como en depósitos del Cenozoico tardío en cuencas del SW de EEUU (Mack y Leeder, 1999; Houser et al., 2004)

Es importante establecer que para todo el límite oriental de la cuenca y la porción noroccidental, los depósitos de flujos de detritos de avalancha y caídos de roca se encuentran predominando en la sedimentación, ya que se tienen ampliamente distribuidas las litofacies Gmm1 y Gh (Figura 43). En lo que respecta a la parte suroccidental del área, los procesos estuvieron dominados por flujos de gravedad, dado que en esta porción se tiene mayor presencia de la asociación de facies Gmm2. En las porciones más distantes de este elemento de depósito, es muy común encontrar la asociación de litofacies Gh y SI (Figura 44), lo que estaría determinando la transición entre el abanico próximo y el abanico medio.



**Figura 43** Litofacies Gh de depósitos de gravedad dentro del abanico próximo. Fotografía tomada en la Cañada La Emilia. Vista hacia el NE. **Figura 44** Asociación de litofacies Gh+SI en el sitio ST6-SC2, representando la porción más distante del abanico próximo.

Los datos de paleocorrientes obtenidos a partir principalmente de la imbricación de clastos en la litofacies Gh en el sitio ST2-SC3, establecen direcciones preferentemente hacia el SW, en un rango del azimut 200° al 220°; que junto a la composición dominante de los clastos en este sitio, evidencian la erosión de las rocas basales expuestas en la sierra El Pinito.

La porción del abanico aluvial medio dentro de este sistema de depósito lo caracteriza la asociación de las litofacies Gp, Sh1, Sh2, SI y P1, donde la actividad de sedimentación

fue dominada por procesos meramente fluviales, con el desarrollo de depósitos en canales, barras y planicies de inundación.

La característica principal dentro de este elemento es la asociación de las litofacies Gp y Sh, las cuales se disponen en secuencias de disminución en el tamaño de grano hacia arriba (Figura 45). Esta asociación está marcada regularmente por superficies limítrofes de 5<sup>to</sup> orden que marcan el depósito de las gravas de canal (Gp) sobre las arenas y limos de las planicies de inundación previas (Sh2) (Figura 46).



**Figura 45** Secuencia de disminución del tamaño de grano hacia arriba que determinan la asociación de litofacies Gp+Sh1 en el abanico medio

Dentro de la planicie de inundación marcada por la litofacies Sh2, se tienen horizontes de gravas cementadas por calcita que marcan su asociación con la litofacies P1. Estas últimas son fácilmente identificadas en campo, ya que sobresalen como capas más resistentes (Figura 47).

Las paleocorrientes definidas por la estratificación cruzada plana de arenas (Sh1) y gravas (Gp), presenta una dirección más uniforme de las corrientes en el rango del azimut 200° - 220° (Figura 48).

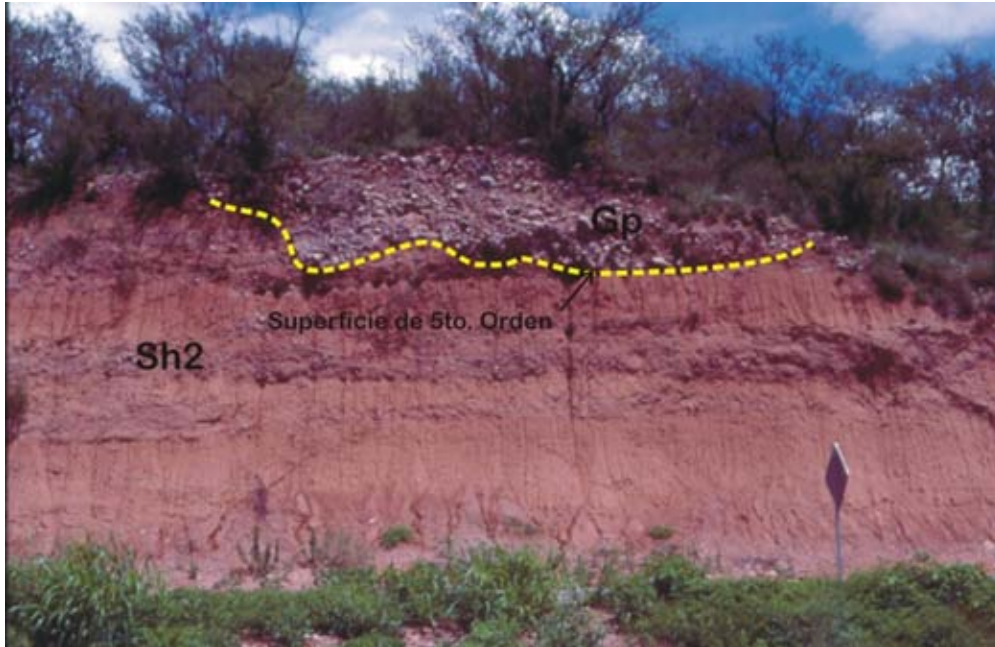
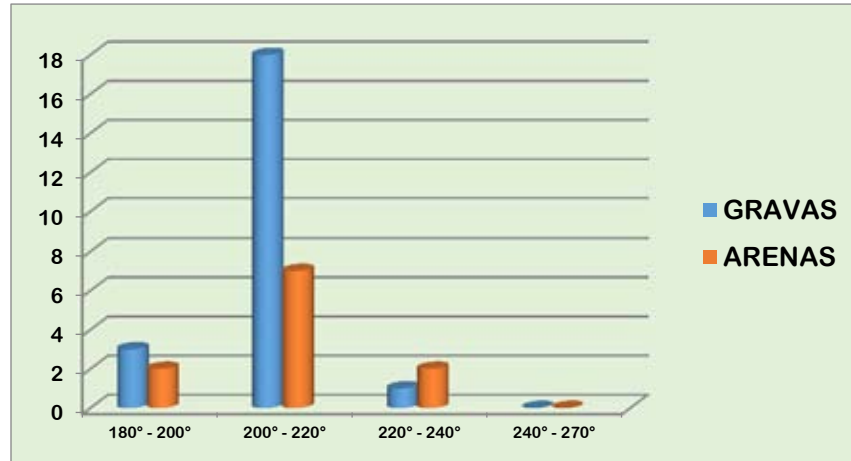


Figura 46 Superficie límite de 5<sup>to</sup> orden que establece la asociación de las litofacies Gp+Sh2 en el abanico medio.



Figura 47 Horizonte cementado por calcita de la litofacies P1 dentro de la litofacies Sh2.



**Figura 48** Representación de las direcciones preferenciales de paleocorrientes en el sitio ST2, obtenidas de la imbricación de clastos en gravas y estatificación cruzada en arenas.

El abanico distante está representado a partir de la asociación de litofacies FI, Sh2, F y P2, que están marcando las zonas donde predominan los depósitos de planicies de inundación de la asociación de litofacies FI+P2 (Figura 49) y el desarrollo de una sedimentación lacustre local con el desarrollo de la litofacies F. Este último elemento de depósito se identificó principalmente en la porción centro-sur de la cuenca, en las inmediaciones de la ciudad de Ímuris, en las secciones Arroyo Babasac y Arroyo Cerro Blanco de los sitios SC1 y SC17, con un espesor integrado de casi 30 m. En el Arroyo El Orégano, hacia la porción media de la cuenca, se logró identificar un elemento similar de apenas 3 metros de espesor y una continuidad lateral muy limitada de 30 m, que muy probablemente está marcando un reducido lago interdistributario, en el cual inclusive se llevó a cabo sedimentación evaporítica, ya que se presentan pequeños cristales de yeso en los limos de la litofacies F.

A partir de las asociaciones de litofacies que presenta el alomembro inferior dentro de la Cuenca Los Alisos, la Figura 50 muestra la relación porcentual de las asociaciones dominantes en cada una de las secciones medidas; mientras que la Figura 51 representa, de manera general, su distribución espacial.

Stanistreet y McCarthy (1993) propusieron un esquema de clasificación de abanicos aluviales basado principalmente en el mecanismo de transporte de los sedimentos y a la red de canales que se presentaban en el abanico. Esta propuesta representaba los tipos de abanicos en una clasificación ternaria, donde en el vértice superior están los abanicos dominados por flujos de detritos, mientras que en la base se tiene a la izquierda el dominado por sistemas fluviales trenzados, y a la derecha el dominado por sistemas fluviales de mayor sinuosidad (Figura 52).



**Figura 49** Depósitos de planicie de inundación en el abanico distante, con el desarrollo de la litofacies FI coronada por P2

Tomando como base la clasificación anterior, este modelo está caracterizado por tres tipos básicos de abanicos aluviales. Los abanicos dominados por flujos de detritos (Figura 53A), están caracterizados por este tipo de depósitos en el abanico próximo, y los cuales se interdigitan rápidamente con depósitos de canales trezados en el abanico medio, y con depósitos de crecientes no-canalizadas en el abanico distante. Este tipo de abanicos son muy restringidos en su distribución espacial, con pendientes altas y muy poca vegetación.

Los abanicos dominados por sistemas fluviales trezados (Figura 53B), están dominados por depósitos de barras longitudinales y transversales dentro del abanico próximo y hasta el distante; se presentan con pendientes medias y con vegetación escasa principalmente en los márgenes de los canales. Los abanicos dominados por canales de mayor sinuosidad (Figura 53C), son dominados por depósitos arenosos de sistemas fluviales meándricos y anastomosados, desarrollando amplias planicies de inundación y una gran cantidad de pantanos y lagos sobre todo en el abanico distante; se generan con pendientes muy bajas y tienen una extensión espacial muy amplia.



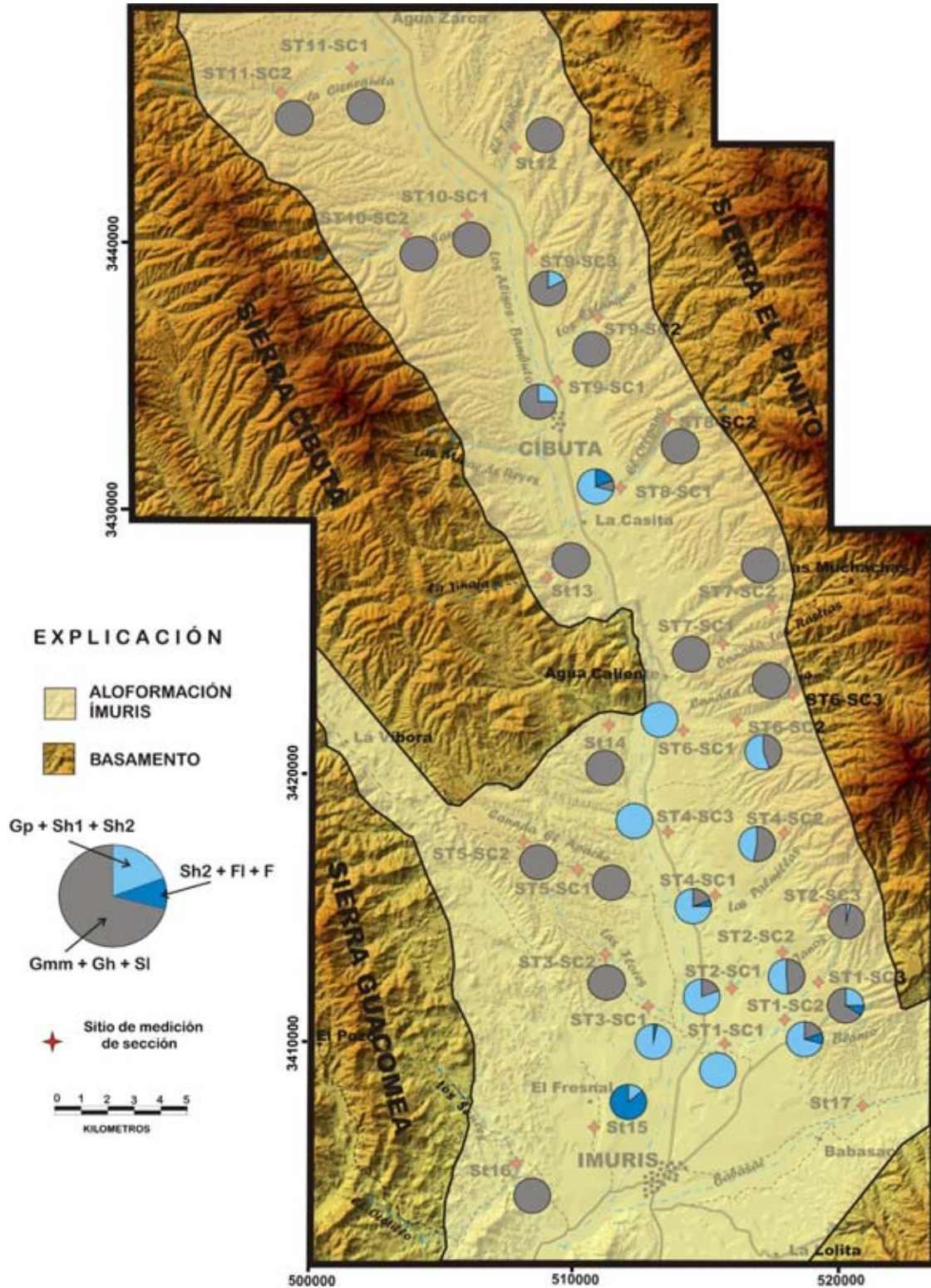


Figura 50 Distribución de la relación porcentual de las asociaciones de litofacies dominantes en el almiembro inferior de la Aloformación Ímuris en la Cuenca Los Alisos

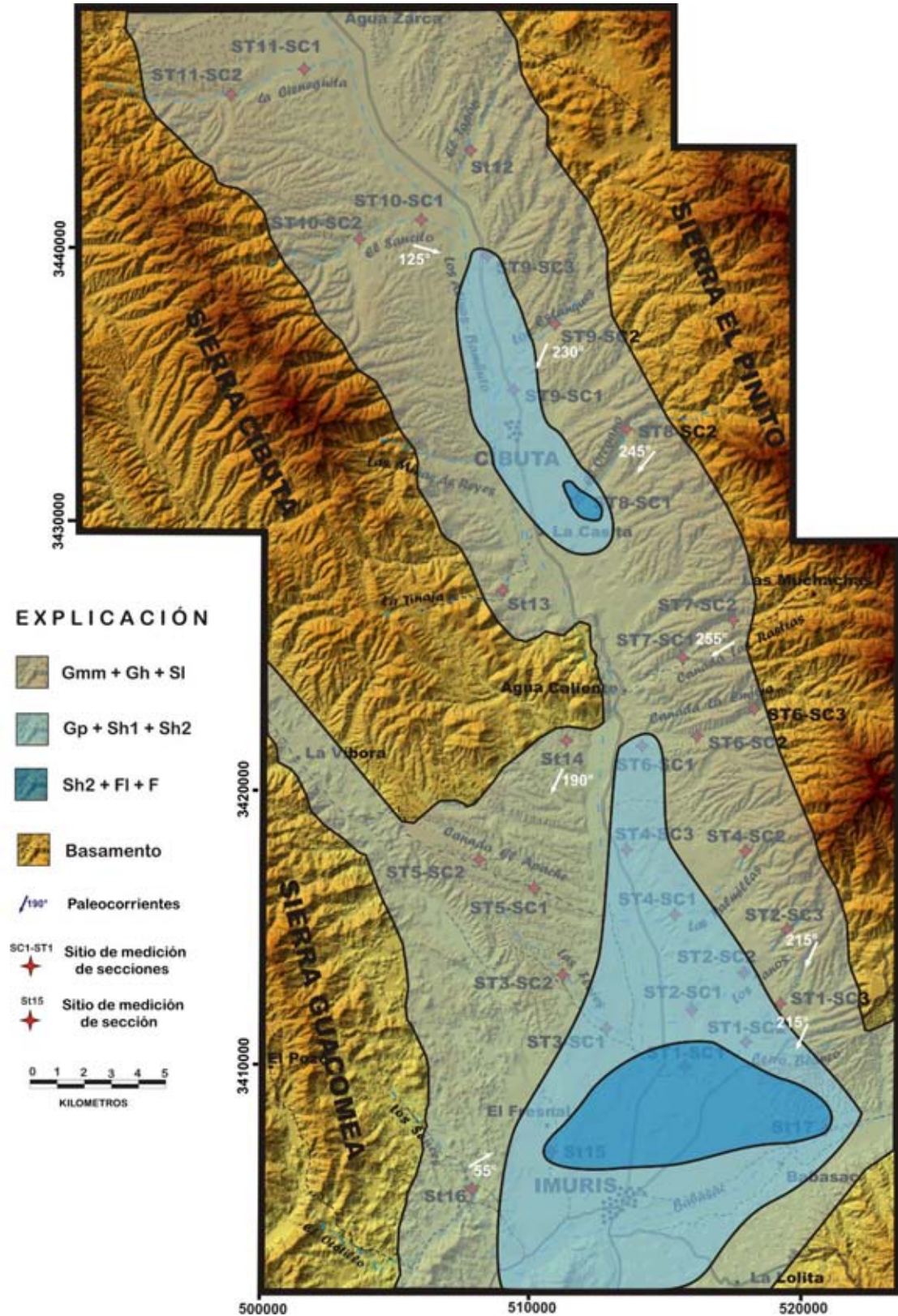


Figura 51 Distribución espacial de las asociaciones de litofacies dominantes en el alomembro inferior de la Aloformación Imuris en la Cuenca Los Alisos



Figura 52 Modelo de clasificación ternario de abanicos aluviales propuesto por Stanistreet y McCarthy (1993). Modificado de estos autores.

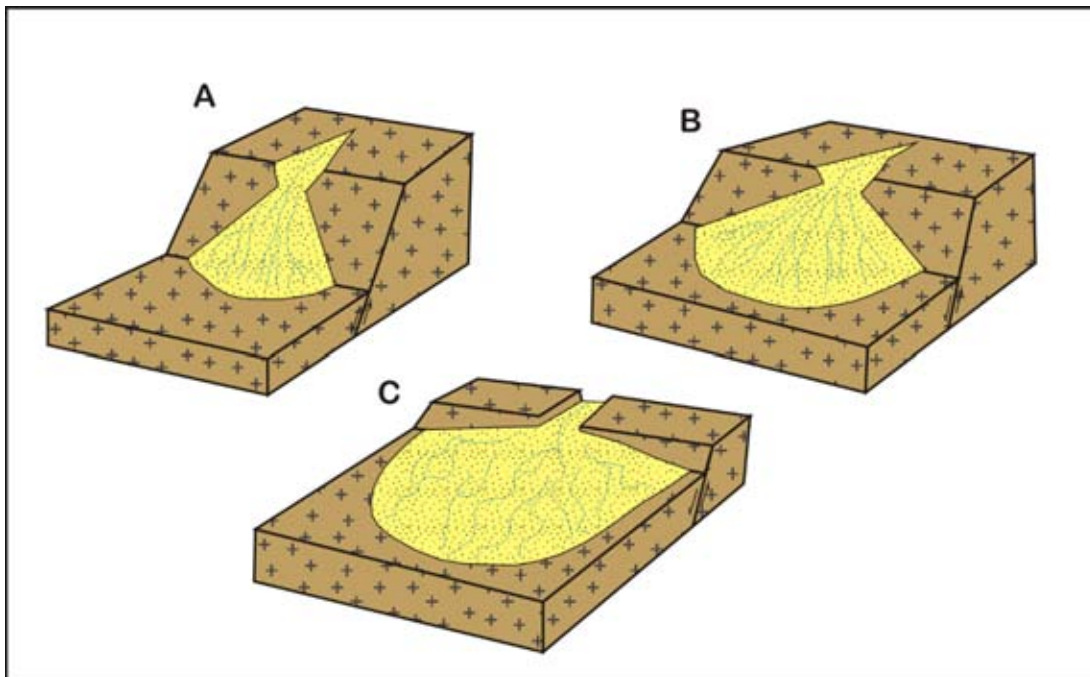


Figura 53 Representación esquemática de los abanicos aluviales de la clasificación presentada en la Figura 52. A) Dominados por flujo de detritos, B) dominados por sistemas fluviales trezados, y C) Dominados por sistemas fluviales sinuosos. Modificada de Stanistreet y McCarthy (1993).

En el contexto de esta clasificación, se propone que en el área estudiada se desarrollaron una serie de abanicos aluviales coalescentes (depósitos de bajada), que por estar dominados por procesos de los flujos de detritos como parte del depósito de sedimentos en el abanico próximo, y no presentar una extensión espacial muy amplia (< 10 km), correspondieron al tipo A de los presentados en la Figura 53. Así mismo, se establece que a partir de la presencia localizada de las litofacies finas de FI y F, las corrientes superficiales llegaron a desarrollar un drenaje endorréico desarrollando un sistema lacustre dentro del abanico distante.

#### **IV.1 ANÁLISIS DE CLASTOS DE LA ALOFORMACIÓN ÍMURIS**

El análisis de los clastos que componen las gravas en los sedimentos de la aloformación Ímuris, está enfocado a caracterizar la composición de éstos e interpretar su procedencia en función del área fuente, con el fin de establecer la presencia de litologías extracuenca y, eventualmente, conocer mejor el proceso de depósito que les dio origen (Lindsey et al. 2007).

La distribución de la composición de clastos en la Aloformación Ímuris es muy variada, y corresponde a la composición litológica de su basamento. Si bien es dominada por clastos de riolita, se tienen sitios donde los de granito y de roca esquistosa predominan. Para efectos de este análisis, se tomaron en cuenta aquellas secciones medidas donde las gravas presentan los mejores afloramientos, y por su ubicación se dividió la cuenca en 4 cuadrantes (Figura 54; Tabla 2). Se determinó un promedio por sitio de conteo de 50 clastos de entre 5 y 15 cm de diámetro mayor, principalmente de las litofacies Gmm1, Gmm2 y Gh.

<b>CUADRANTE</b>	<b>SITIOS DE MUESTREO</b>
<b>SW</b>	ST3-SC2, ST5-SC1, ST14, ST15, ST16
<b>SE</b>	ST1-SC3, ST2-SC3, ST4-SC1, ST6-SC3, ST7-SC1, ST17
<b>NW</b>	ST10-SC2, ST11-SC1, ST13
<b>NE</b>	ST8-SC1, ST9-SC2, ST12

**Tabla 2** Sitios de conteo de clastos que se integran en cada uno de los cuadrantes de la cuenca para el análisis de procedencia de clastos.

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE), NORTE DE SONORA, MÉXICO

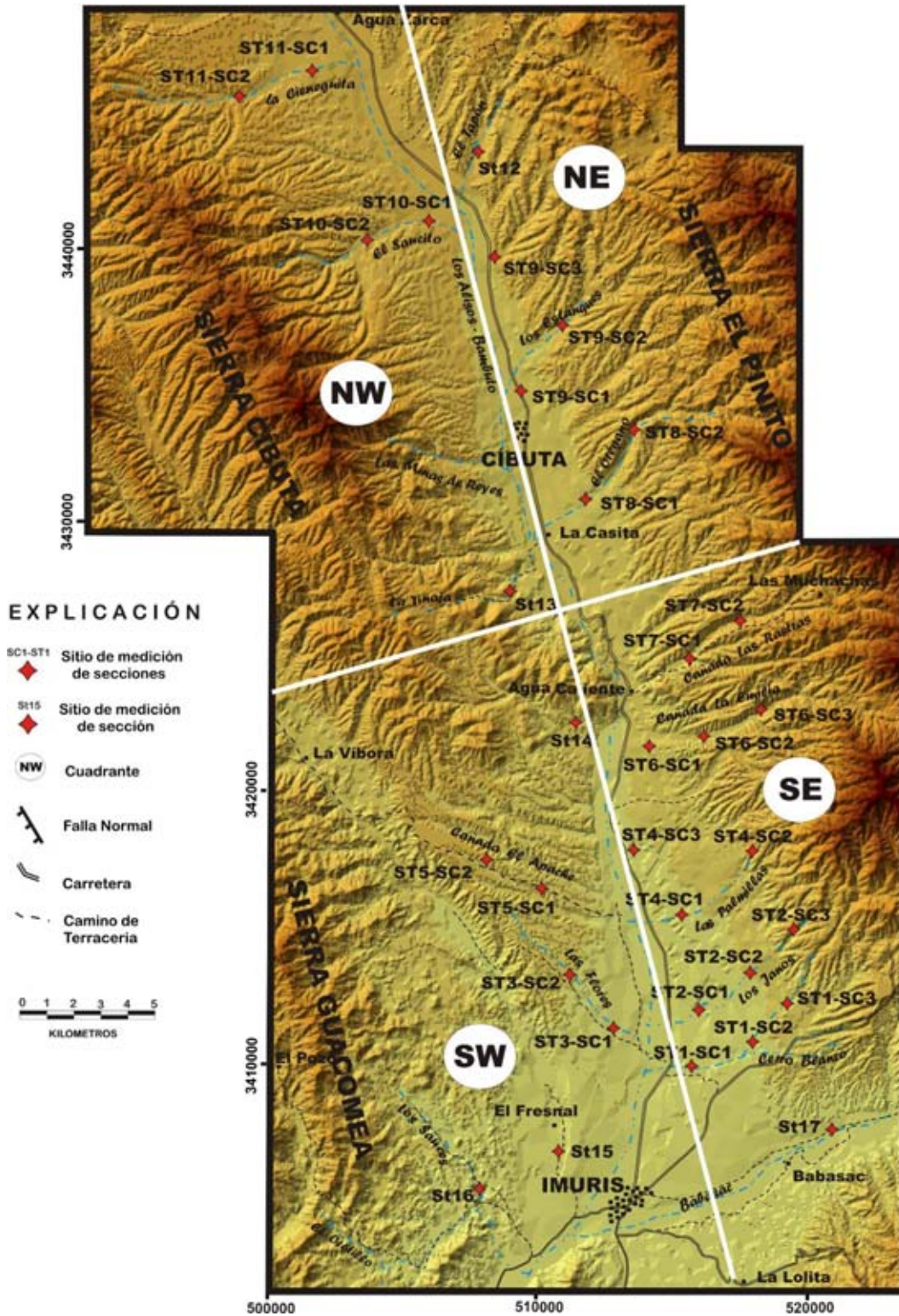


Figura 54 Localización de los sitios de muestreo de clastos en los diferentes cuadrantes dentro de la Cuenca Los Alisos.

En el cuadrante SE, los sitios presentan una composición de clastos promedio constituida por 70% de riolita, 16% de cuarcita, 9% de granito y 5% de conglomerado y arenisca (Figura 55). Los clastos de riolita tienen diferentes texturas desde fluidales, vesiculares, afaníticas, tobáceas y hasta porfídicas; mientras que los de cuarcita presentan una característica textura “sal y pimienta”. La procedencia de esta asociación está muy bien delimitada por las rocas que forman el arco jurásico de la Riolita El Pinito, la cual incluye estratos de cuarcita intercalados en la secuencia riolítica. Los clastos del granito provienen del intrusivo laramídico que afecta a la secuencia mesozoica; y los clastos de conglomerado y arenisca que se presentan en menor proporción, seguramente provienen de la erosión del Conglomerado Cocóspera, una unidad del Cretácico Superior que aflora en la porción sur y centro-este de la Sierra El Pinito.

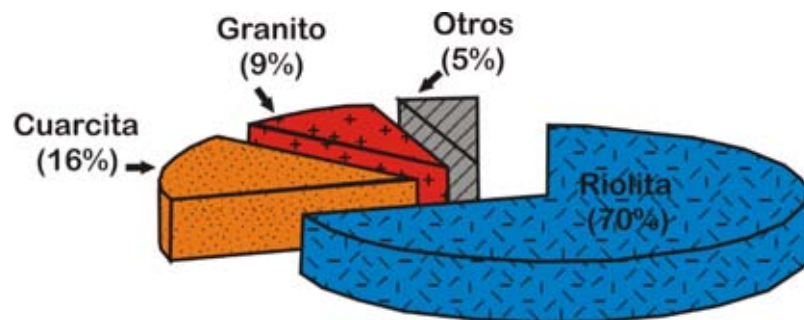


Figura 55 Composición de clastos en las gravas en el cuadrante SE de la Cuenca Los Alisos..

En el cuadrante NE del área estudiada, la proporción de clastos de riolita y cuarcita disminuye en la composición, apareciendo de manera importante los clastos de granito, los cuales provienen de la erosión de un cuerpo ígneo “laramídico” que se tiene intrusionando a la secuencia riolítica en la parte norte y centro de la sierra El Pinito. Los sitios presentan una composición de clastos promedio de 40% de riolita, 42% de granito, 11% de cuarcita y 7% de conglomerado y arenisca (Figura 56).

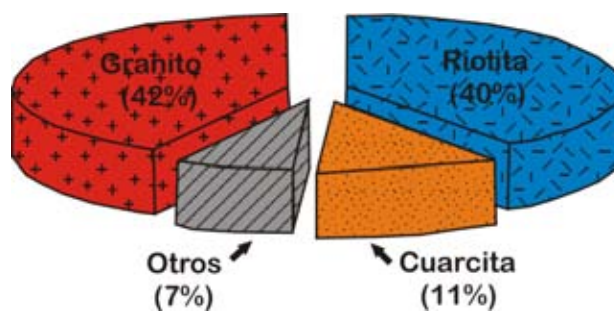


Figura 56 Composición de clastos en las gravas en el cuadrante NE de la Cuenca Los Alisos.

En lo que respecta a la porción occidental, la composición de clastos es más variable. En el sitio ST16 del cuadrante SW, la composición promedio está representada por 80% de roca esquistosa, 18% de granito y el restante 2% es de riolita, andesita y pegmatita (Figura 57A). Esta composición de clastos está influenciada directamente por la erosión de la porción sur de la sierra Guacomea.

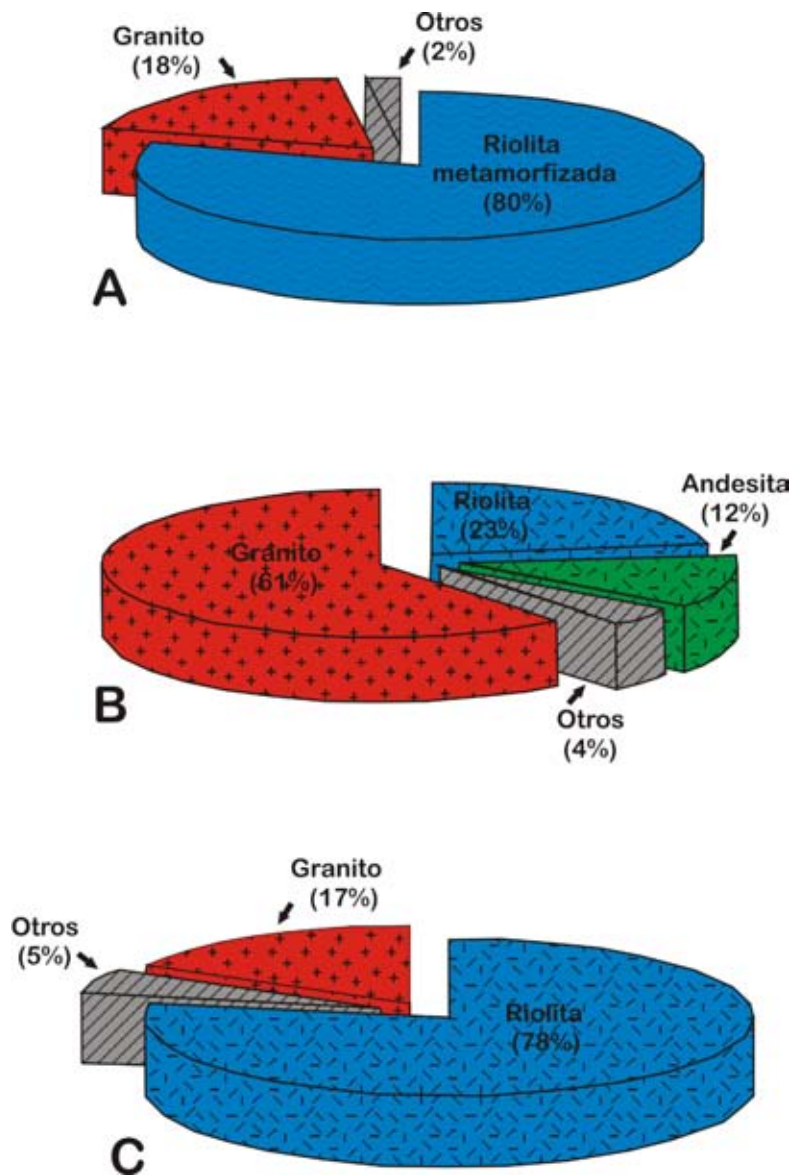


Figura 57 Composición de clastos en las gravas del cuadrante SW de la Cuenca Los Alisos.. A) ST16; B) ST3 y ST5; C) ST14.

Dentro de este mismo cuadrante, en los sitios ST3 y ST5, la composición está determinada por 61% de granito, 23% de riolita, 12% de andesita y el 4% de cuarcita, roca esquistosa esquistosa y pegmatita (Figura 57B); mientras que en el sitio ST14, se tiene un 78% de riolita, 17% de granito y 5% de cuarcita y andesita (Figura 57C) . Esta variación se presenta en función de tener una procedencia compartida entre la erosión de la sierra Guacomea, constituida esencialmente por la Riolita El Pinito con su porción esquistosa, y la poarte sur de la sierra de Cíbuta, donde se tienen afloramientos principalmente de la Riolita El Pinito y del intrusivo.

En el cuadrante NW, la erosión de la sierra de Cíbuta refleja una composición de clastos promedio de 76% de riolita, 19% de granito y 5% de conglomerado (Figura 58).

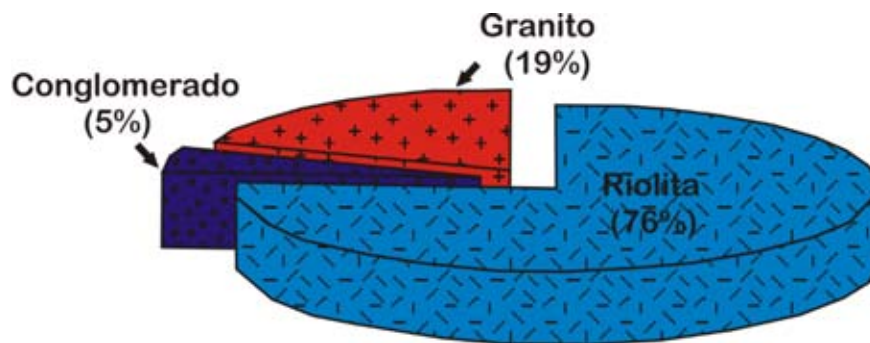


Fig. 58 Composición de clastos en las gravas del cuadrante NW de la Cuenca Los Alisos.

La distribución de la composición de los clastos dentro del área de estudio (Figura 59) muestra que la procedencia es claramente extracuenca, ya que la litología que comprende a los límites de la Cuenca Los Alisos está básicamente representada en esta composición. Sin embargo, en el cuadrante SW, se tuvo el aporte de clastos de andesita con una dirección de clastos hacia el E-SE en los sitios ST3 y ST5.



ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO

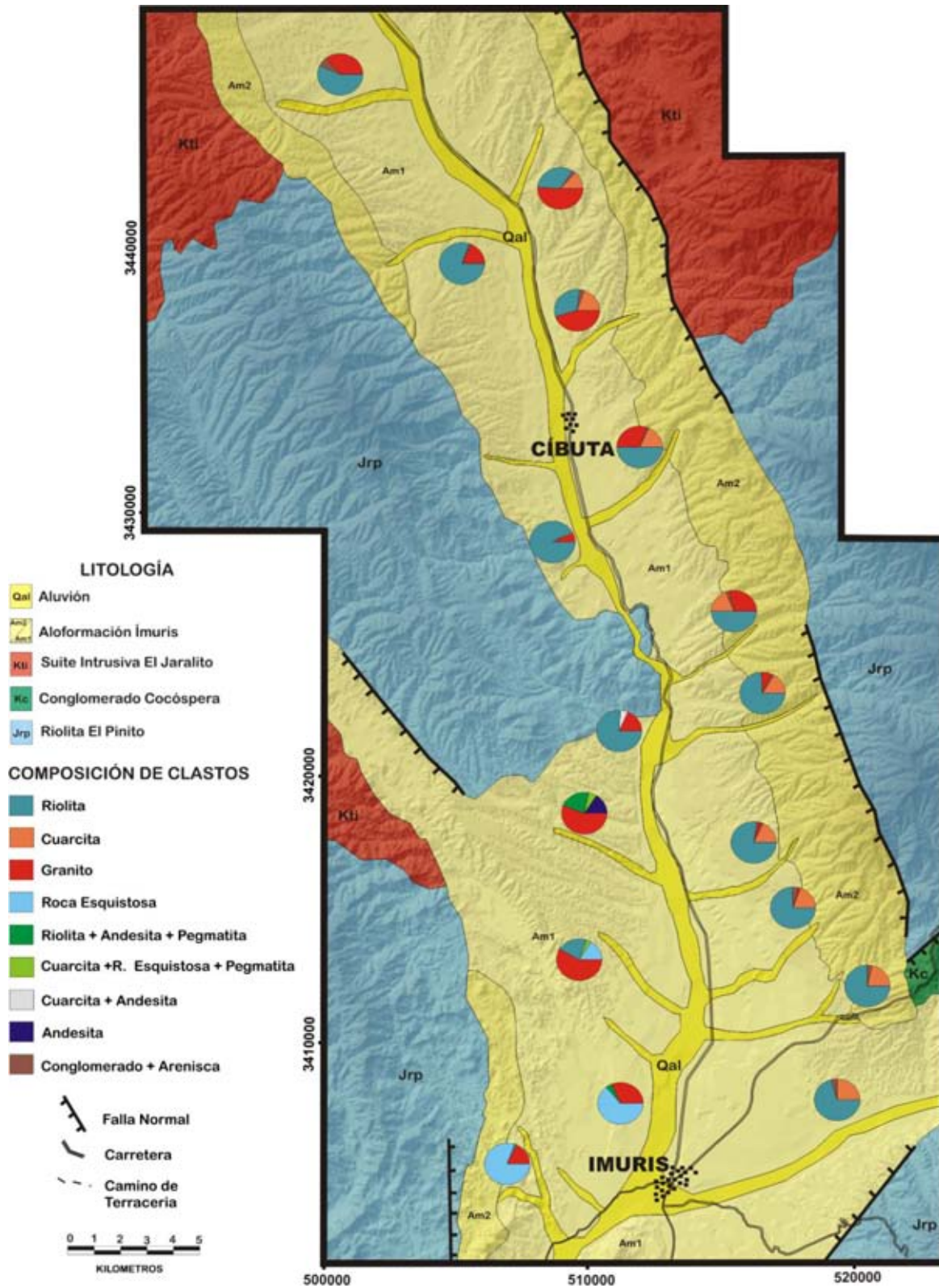


Figura 59 Distribución de la composición de clastos en la cuenca Los Alisos.

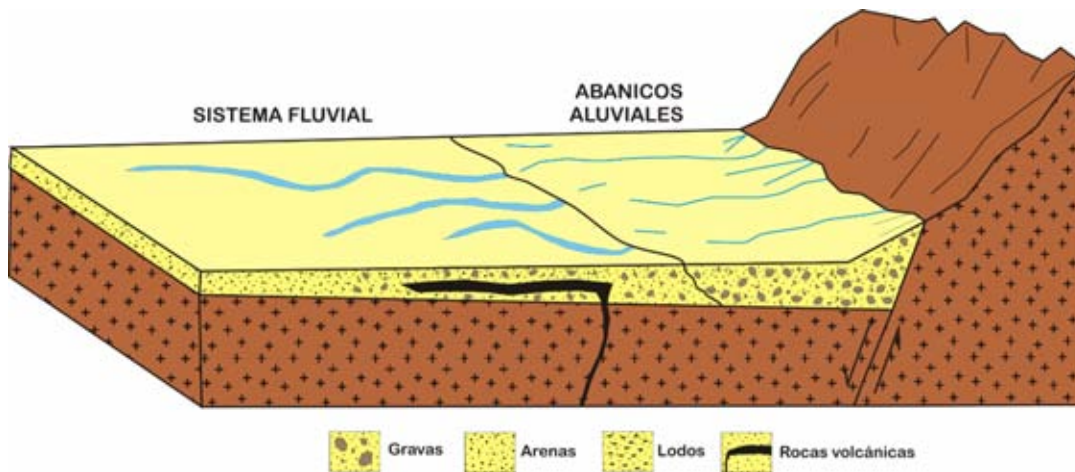
## V EVOLUCIÓN DE LA CUENCA LOS ALISOS

La caracterización de la estratigrafía y el ambiente de depósito dentro del relleno sedimentario (Formación Báucarit - Aloformación Ímuris), así como la interpretación de las características en el subsuelo a partir de las secciones gravimétricas y la reinterpretación de secciones geoelectricas desarrolladas dentro del área estudiada, son herramientas muy útiles para entender la geometría estructural y la evolución de la cuenca Los Alisos.

Durante el Mioceno Temprano a Medio se desarrolló en Sonora la fase temprana de la distensión terciaria intraplaca que afectó el NW de México (Grijalva-Noriega y Roldán-Quintana, 1998), y para este tiempo, la Riolita El Pinito, el Conglomerado Cocóspera y los cuerpos del Ensamble Intrusivo El Jaralito eran las unidades que conformaban la litología en el área estudiada. Como producto de este proceso distensivo, se desarrolló la Cuenca Los Alisos a partir de un medio-graben limitado al Este por una falla normal, y cuyos elementos levantados están representados por las sierras El Pinito al Oriente y las Sierra de Cíbuta y Guacomea al Poniente.

El proceso de sedimentación inicial dentro de la Cuenca Los Alisos se llevó a cabo principalmente en ambientes de depósito de abanico aluvial y fluvial, donde las sierras levantadas locales que fueron erosionadas aportaron los sedimentos que formaron las secuencias conglomerático-arenosas que representan a la Formación Báucarit. Eventualmente, esta sedimentación fluvial fue contemporánea a otros dos procesos importantes relacionados con el adelgazamiento cortical; por un lado, a la actividad volcánica identificada por las rocas basálticas que se intercalan con la sedimentación durante este tiempo (Figura 60); y por el otro, al desarrollo de un núcleo metamórfico complejo (*metamorphic core complex*) que evoluciona a partir de una falla de bajo ángulo y que afecta una porción del basamento riolítico de la cuenca.

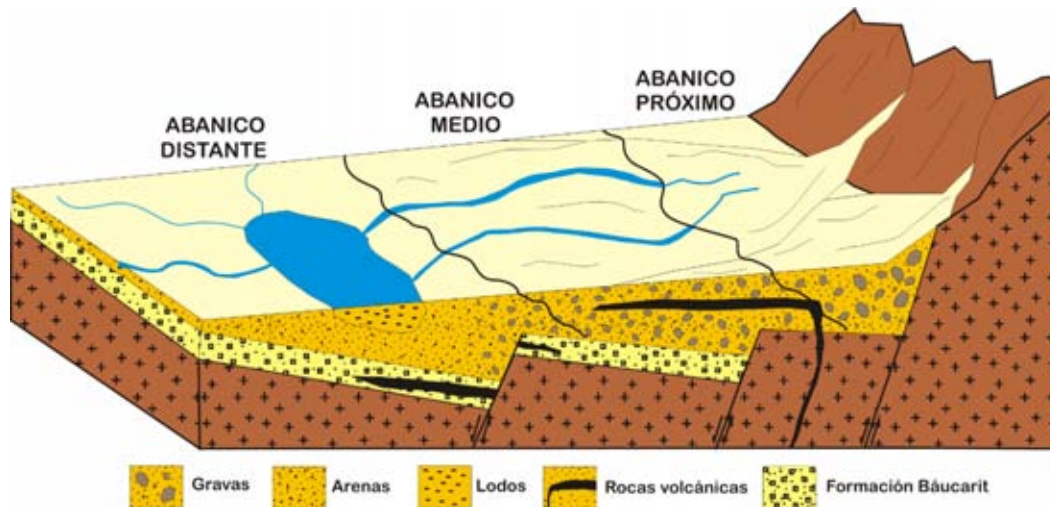
Para el Plioceno–Pleistoceno Temprano, se desarrolló una fase tardía de distensión continental en Sonora (Grijalva-Noriega y Roldán-Quintana, 1998), que en gran medida fue la responsable de la morfología dominante actual dentro de la Provincia Fisiográfica del *Basin and Range* (Dickinson, 2002). Esta actividad distensiva reactiva la cuenca ya formada durante la fase temprana, produciendo una serie de fallas normales de ángulo alto que se escalonan hacia el Oeste con una orientación NNW-SSE y basculamientos al WSW. Dentro de la Cuenca Los Alisos claramente se identificó una de estas estructuras con orientación  $178^{\circ}$  SW  $75^{\circ}$  en el límite oriental de la sección gravimétrica 3-3', en donde dicha estructura es cubierta por la sedimentación que da lugar a la Aloformación Ímuris.



**Figura 60 Modelo esquemático para la sedimentación del Conglomerado Báucarit**

La actividad principal de la cuenca se da a lo largo de esta falla, reactivando la estructura de medio-graben y ampliando la cuenca original. Varios elementos soportan esta interpretación: 1) las capas de conglomerado y arenisca de la Formación Báucarit se encuentran basculadas, en el límite norte del área de estudio, hacia el este ( $158^{\circ}$  NE  $25^{\circ}$ ), evidenciando el movimiento a lo largo de la falla arriba mencionada; (2) la distribución de las anomalías gravimétricas obtenidas con la aplicación del filtro “continuidad hacia arriba 3000 metros”, claramente identifican la estructura hacia el límite Oriental de la cuenca, a partir de la aglomeración en esta porción de los contornos de isovalores, no así para la parte occidental; y (3) Los espesores mayores del relleno sedimentario de la cuenca se tienen hacia la porción oriental de la misma.

El proceso de sedimentación dentro de la Cuenca Los Alisos en este tiempo desarrolló un sistema de bajada, representado por una coalescencia de abanicos aluviales, donde los mecanismos de depósito dominantes fueron caídos de rocas, avalanchas, flujos de detritos y sistemas canalizados en ambientes fluviales dentro del abanico próximo y medio; mientras que para el abanico distante, y a partir de un drenaje endorreico el depósito se desarrolló dentro de un sistema fluvio-lacustre. Como producto de esta actividad se depositaron los sedimentos que forman al alomembro inferior de la Aloformación Ímuris, el cual cubrió discordantemente las capas detríticas basculadas de conglomerados y areniscas de la Formación Báucarit y al resto de las litologías que conforman el basamento de la cuenca. (Figura 61).



**Figura 61 Modelo esquemático para la sedimentación de la aloformación Ímuris**

El corte litológico del pozo exploratorio desarrollado por PEÑOLES en la porción norte del área estudiada, reporta un derrame andesítico de textura afanítica que se intercala con los sedimentos, el cual está presente a los 168 metros de profundidad. Este elemento permite establecer que la actividad volcánica también estuvo presente durante este tiempo dentro de la cuenca.

La identificación de las tres sub-cuencas interpretadas a partir de los resultados obtenidos con el análisis gravimétrico, así como la presencia de secuencias limo-arcillosas identificadas en el subsuelo a partir de la reinterpretación de los SEV's en estos bajos gravimétricos, evidencian que inicialmente esta cuenca debió estar dominada por un drenaje endorréico hacia el depocentro de estas sub-cuencas, las cuales presentaron mayor profundidad hacia la porción norte.

El cambio en el nivel base regional generó un reajuste en la sedimentación y las características hidrológicas dentro de la cuenca, desarrollando abanicos aluviales más recientes (Pleistoceno Tardío - Holoceno) y el depósito de las gravas del alomembro superior de la Aloformación Ímuris; así como el cambio al drenaje axial que representa el sistema fluvial actual del río Los Alisos. A partir de entonces, la cuenca ha estado sujeta a la actividad erosiva de un drenaje perpendicular al eje de la cuenca que representa el Río Los Alisos, y que desarrolla la morfología actual dominada por terrazas fluviales alargadas con orientación casi E-W.

## VI. GEOFÍSICA

El análisis de cuencas continentales es un estudio en donde, aunque el conocimiento de la geología superficial es básica para interpretar su evolución, la interpretación de la geología del subsuelo es un elemento imprescindible. Dentro del área de estudio se llevó a cabo un levantamiento gravimétrico, con el objetivo principal de modelar los perfiles necesarios para caracterizar el espesor del relleno sedimentario y las características de la estructura de la cuenca. Este estudio se complementó con la reinterpretación de sondeos eléctricos verticales (SEV), como un elemento de certidumbre para la interpretación de la profundidad al basamento y del sistema de depósito del relleno sedimentario.

### VI.1 GRAVIMETRÍA

El levantamiento de los datos de gravedad consistió de un total de 210 lecturas con espaciamientos de entre 1 y 2 kilómetros (Figura 62). Se aplicaron los métodos convencionales para obtener las correcciones por latitud, mareas, topografía, deriva instrumental, aire libre y con ello, la anomalía de Bouguer completa. Una vez que se obtuvo esta última anomalía, la base de datos (Anexo I) se integró al software WingLink® de Geosystem para la interpretación y modelación gravimétrica.

Al momento de llevar a cabo la interpretación gravimétrica, el interés principal es resaltar el efecto debido a las masas más superficiales (anomalía residual), reduciendo al mínimo aquel producido por masas más profundas; por ello, el primer paso de esta modelación consistió en llevar a cabo la separación de las anomalías Regional-Residual. Una de las técnicas más habituales para hacer la separación Regional-Residual es el ajuste polinómico, en donde las anomalías locales quedan como residuo de dicho ajuste (Camacho et al., 1996). Para el caso de la Cuenca Los Alisos, esta separación se obtuvo aplicando el filtro del polinomio de grado 2 a los datos de la anomalía de Bouguer Completa (Figura 63), ya que fue el que dio como resultado un plano de anomalía residual (Figura 64) que se ajustaba mejor al marco geológico superficial de esta cuenca.

La configuración que se presenta en el plano de anomalía residual de la Cuenca Los Alisos permite diferenciar claramente tres concentraciones de anomalías gravimétricas negativas (bajos gravimétricos) importantes, las cuales son interpretadas en este trabajo como sub-cuencas. La sub-cuenca Agua Zarca en el límite septentrional se presenta con una concentración de anomalías negativas del orden de hasta -8 mGals. La sub-cuenca Cíbuta en la porción central, está representada por valores promedio de anomalía de -6 mGals; mientras que la sub-cuenca Ímuris en la parte sur, se presenta con valores de entre -3 y -4 mGals (Figura 65).

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO

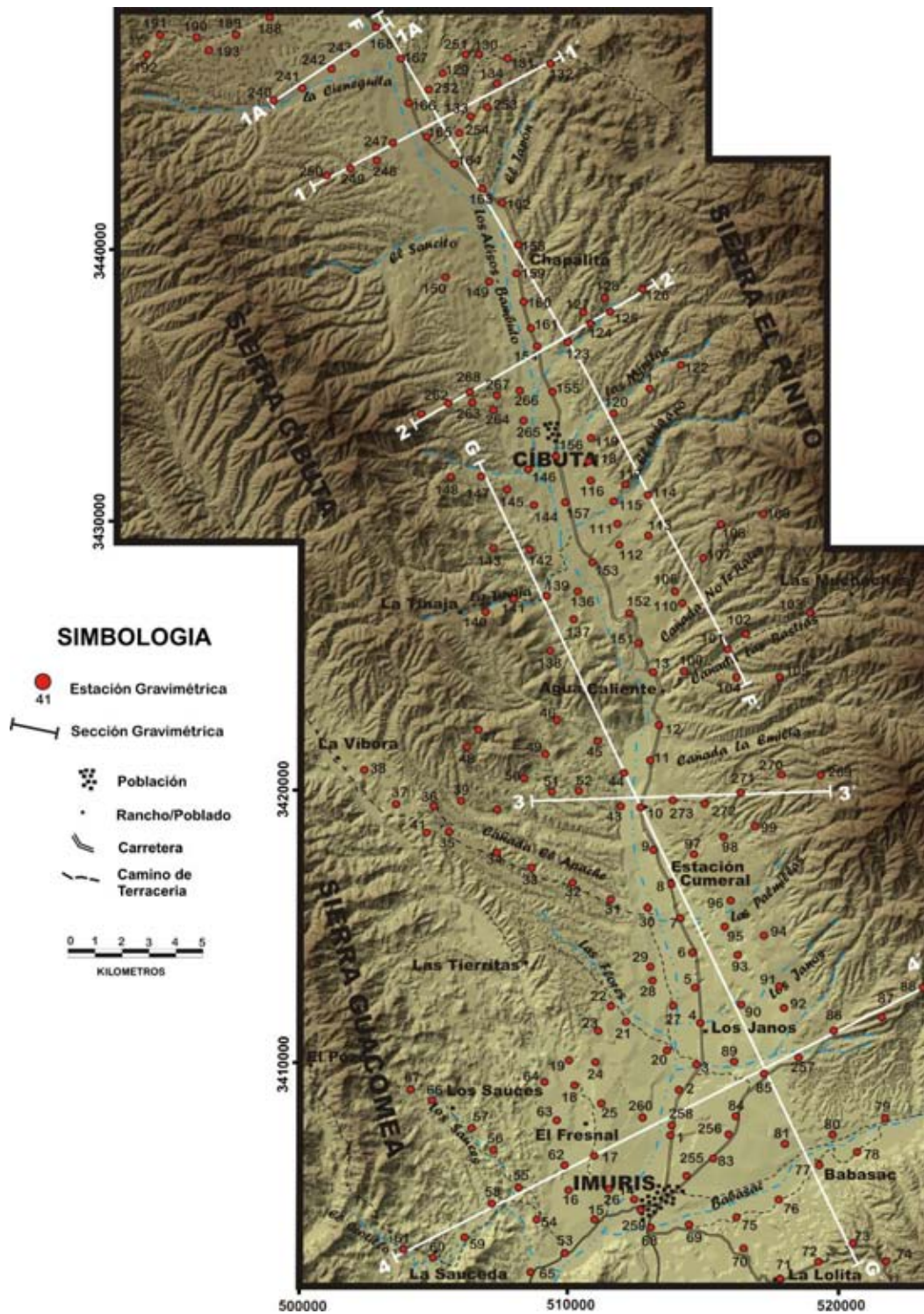


Figura 62 Distribución de las estaciones y secciones gravimétricas dentro de la cuenca Los Alisos.

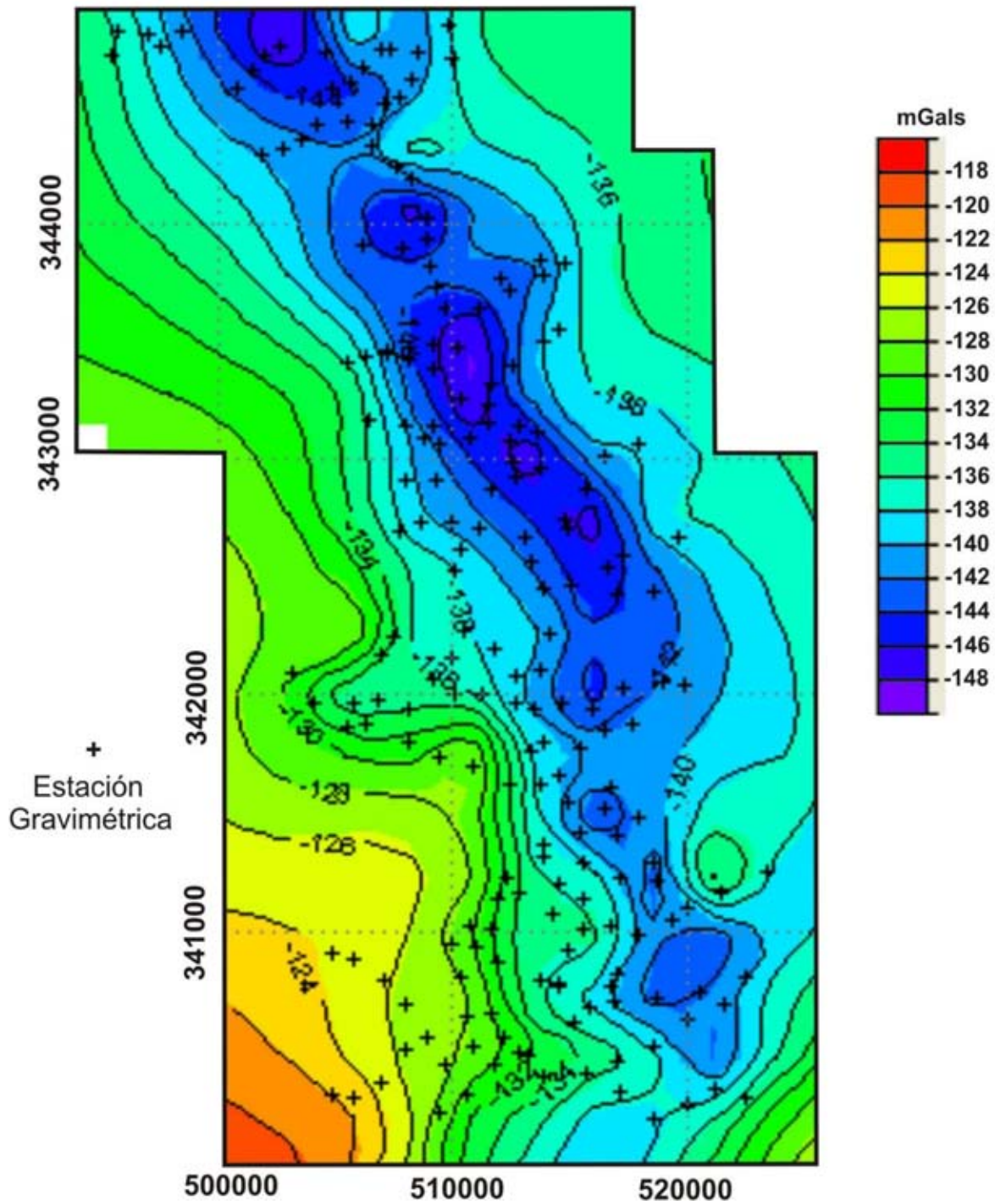


Figura 63 Mapa de Anomalía de Bouguer Completa para la cuenca Los Alisos.

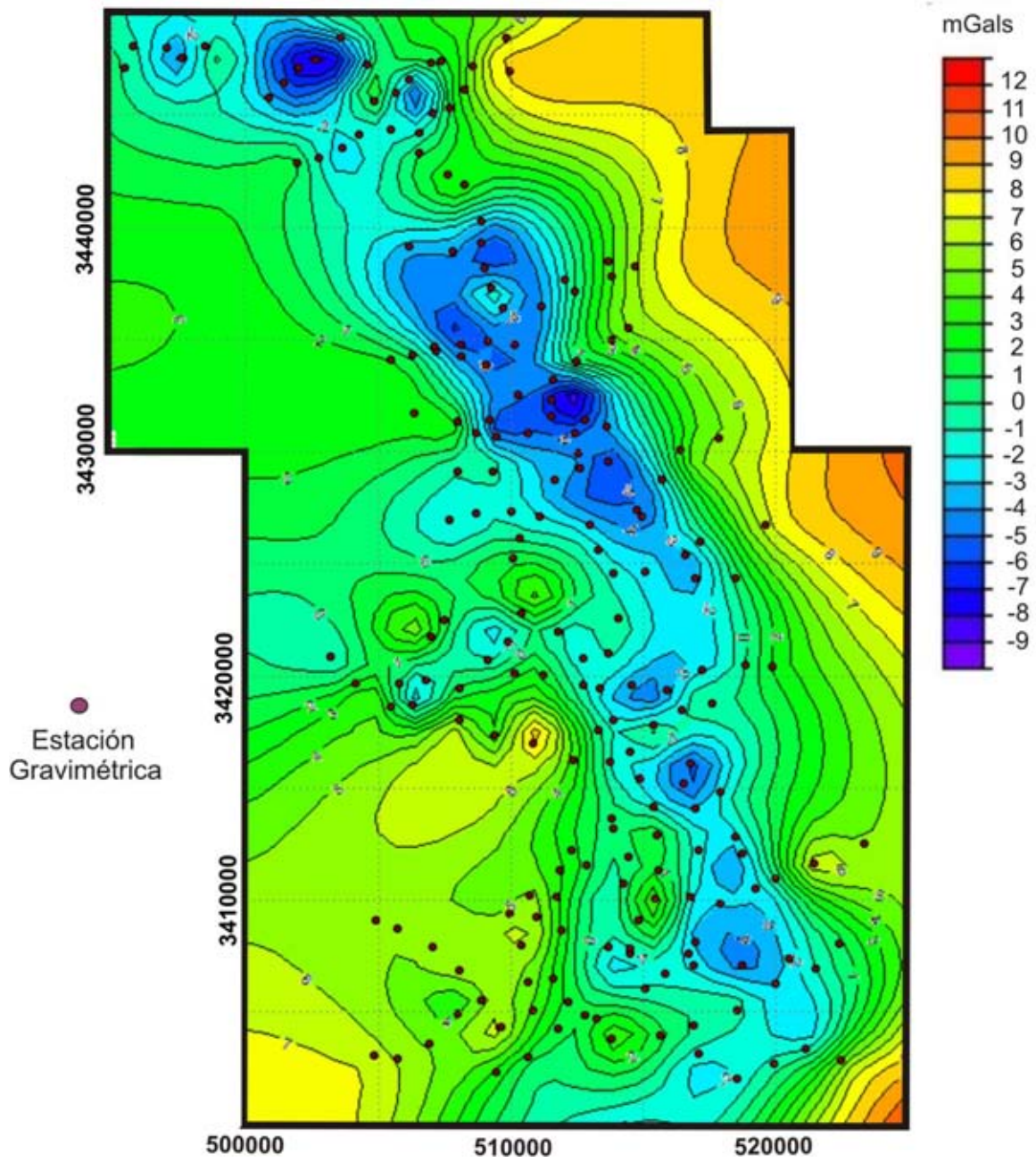


Figura 64 Mapa de Anomalia Residual para la cuenca Los Alisos.



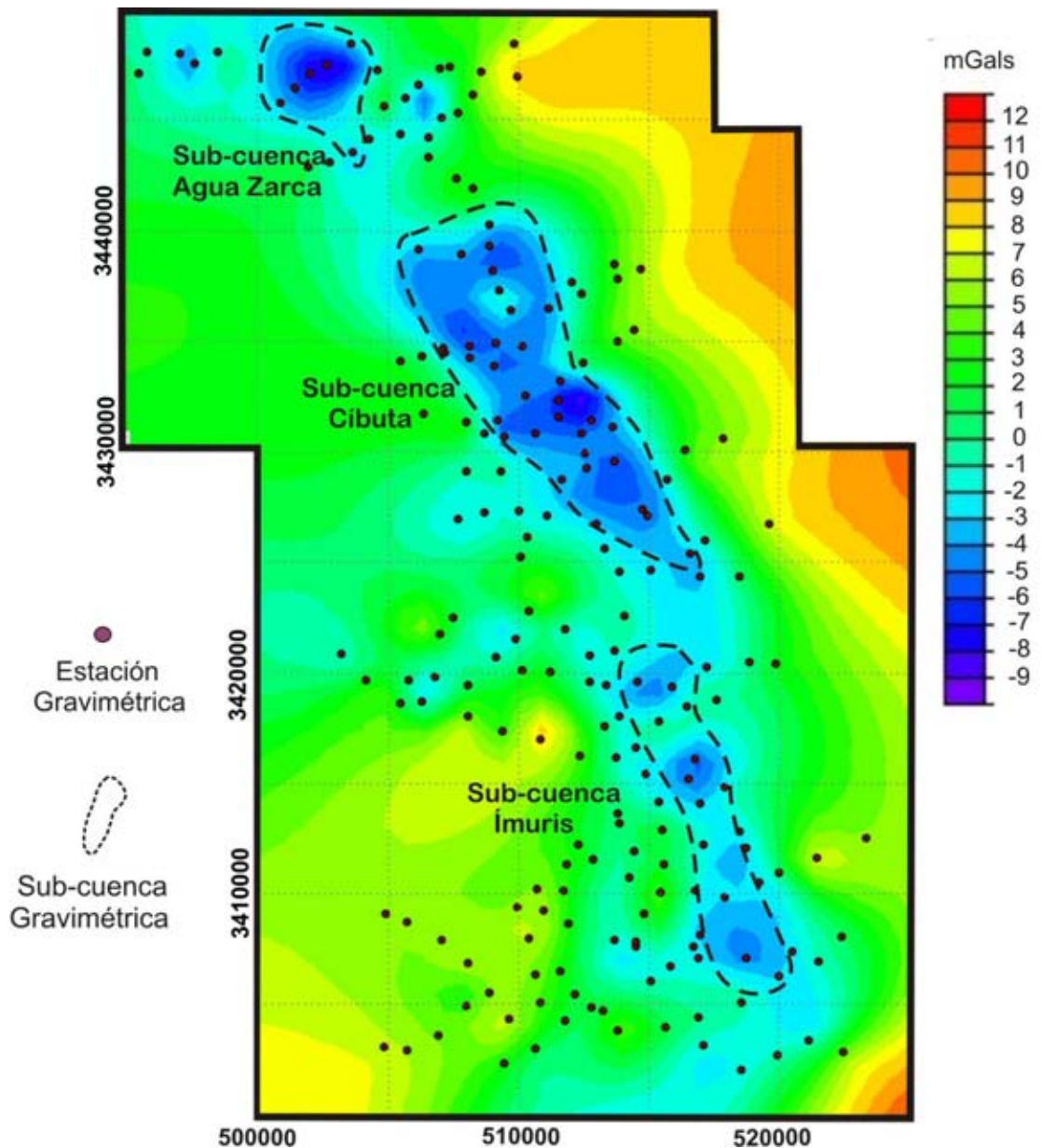


Figura 65 Mapa de Anomalia Residual para la cuenca Los Alisos y localización de sub-cuenclas.

Esta interpretación permite proponer, asumiendo que no existe un cambio sustancial lateral en la densidad del relleno sedimentario de la cuenca, que la profundidad de las sub-cuenclas definidas se incrementa hacia el norte, siendo la más somera la de la porción sur.

Con base en la distribución espacial de las estaciones gravimétricas en el plano de anomalía residual y a las características logísticas del área estudiada, en este apartado se presenta el modelado y la descripción de siete perfiles gravimétricos (Figura 62): cinco perpendiculares al eje NW-SE de la cuenca y definidos en función de que alguna de sus estaciones en los extremos estuviera tomada sobre el basamento; y dos más longitudinales a la misma, que permitieran aportar mayor información sobre la estructura y la distribución del relleno sedimentario en la cuenca. Adicionalmente a este trabajo se modelaron seis perfiles complementarios dentro de la cuenca, los cuales se muestran en el anexo.

Cada uno de estos perfiles fueron analizados en el módulo de modelación directa 2.5 D del mismo WingLink®, con el objetivo de llevar a cabo la interpretación de: 1) la profundidad a la que se encuentra el basamento, 2) los espesores del relleno sedimentario de la cuenca, y 3) la geometría estructural de la misma a lo largo de éstos. Esta modelación se basa en el modelo de Talwani (Jacobi y Smilde, 2009), en donde a partir de tomar la profundidad, la densidad y la forma de cuerpos prismáticos como las variables más importantes, matemáticamente se ajustan éstos a la respuesta gravimétrica, de tal forma que, manejando una densidad constante para los diferentes cuerpos en todos los perfiles, se modificaron los otros dos parámetros para ajustar la curva calculada con la observada. Dado que un perfil puede tener como respuesta una variedad de modelos, el conocimiento de la geología tanto local como regional que se tiene del área de estudio, fue un elemento importante para determinar el modelo que mejor representa esta interpretación geológico-geofísica para la cuenca Los Alisos.

Las densidades utilizadas en este análisis para la litología definida como basamento son las siguientes: Riolita El Pinito metamorfoseada (JRi) = 2.70 g/cm<sup>3</sup>; riolita, arenisca de cuarzo y conglomerado de las unidades Riolita El Pinito y Conglomerado Cocóspera (JRi) = 2.60 g/cm<sup>3</sup>; intrusivo granítico terciario del Ensamble Intrusivo El Jaralito (TGr) = 2.67 g/cm<sup>3</sup>. En lo que respecta al relleno sedimentario de la cuenca, las densidades utilizadas son: conglomerado terciario intercalado con basaltos que corresponde a la Formación Báucarit en Sonora y a la Formación Nogales en Arizona (TCg) = 2.38 g/cm<sup>3</sup>; y para la Aloformación Ímuris (QCg) = 1.87 g/cm<sup>3</sup> (Tabla 3). Estas densidades fueron utilizadas de manera constante en el modelado de todos los perfiles.

Es importante mencionar que, ante la imposibilidad de obtener datos directos sobre la densidad de las unidades que afloran en la cuenca, las densidades para las unidades más antiguas del basamento se tomaron de la tabla de valores promedio presentada por Telford et al. (1984); mientras que para el intrusivo terciario, la Formación Báucarit y la Aloformación Ímuris, las densidades utilizadas son aquellas que Baldyga (2001, Tabla 2) usó en el modelado gravimétrico para secuencias correlacionables dentro de la cuenca

Santa Cruz en Nogales, Arizona, unos 50 km al norte de la Cuenca Los Alisos, y cuyas características litológicas son muy similares.

LITOLOGÍA	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
Aloformación Ímuris	1.87
Conglomerado Báucarit	2.38
Ensamble El Jaralito (Intrusivos)	2.67
Riolita El Pinito / Conglomerado Cocóspera	2.60
Riolita El Pinito Metamorfoseada	2.70

Tabla 3 Densidades utilizadas para las distintas litologías modeladas en el estudio gravimétrico de la Cuenca Los Alisos.

#### VI.1.1 Perfil 1-1'

Se ubica con una orientación NE-SW al noroeste de la sub-cuenca Cíbuta, es de aproximadamente 9 Km de longitud y está constituido por 9 estaciones. La estación 250 fue tomada sobre el relleno sedimentario, mientras que la estación 132 se tiene sobre el basamento intrusivo (granito). En el modelado de este perfil se incluyeron 3 cuerpos en el subsuelo, dominando un basamento homogéneo del Ensamble Intrusivo El Jaralito (Intrusivo Laramídico), y la presencia de la Formación Báucarit y la Aloformación Ímuris. La interpretación cualitativa del modelo la representan tres depresiones que se profundizan hacia el oeste (Figura 66), las cuales están limitadas por fallas normales que marcan saltos positivos en las anomalías, y que se interpretan con orientación NNW-SSE y echado al oeste.

El espesor mayor de la Aloformación Ímuris en los puntos de sección se presenta en la estación 247 con 403 m, donde sobreyace a la Formación Báucarit; mientras que el espesor mínimo se presentó en la estación 134 con 87 m (Tabla 4), asumiendo que se tiene en contacto discordante con el basamento intrusivo.

La descripción litológica de un pozo exploratorio de 350 m de profundidad perforado con circulación inversa por la compañía PEÑOLES muy cercano a la estación 133 (Comunicación personal, Manuel Tovar, 2004), establece que a partir de los 213 metros y con un espesor de 120 m, se encontró una secuencia conglomerática bien consolidada que se intercala con rocas volcánicas basálticas, y que por sus características

corresponde a la presencia del conglomerado de la Formación Báucarit en el subsuelo. Esta información fue muy importante en el desarrollo del modelo para este perfil y los restantes, ya que por un lado, ayudó a definir las capas a considerar, y por el otro, fue un elemento comparativo para calibrar la profundidad interpretada en la estación antes mencionada dentro del perfil.

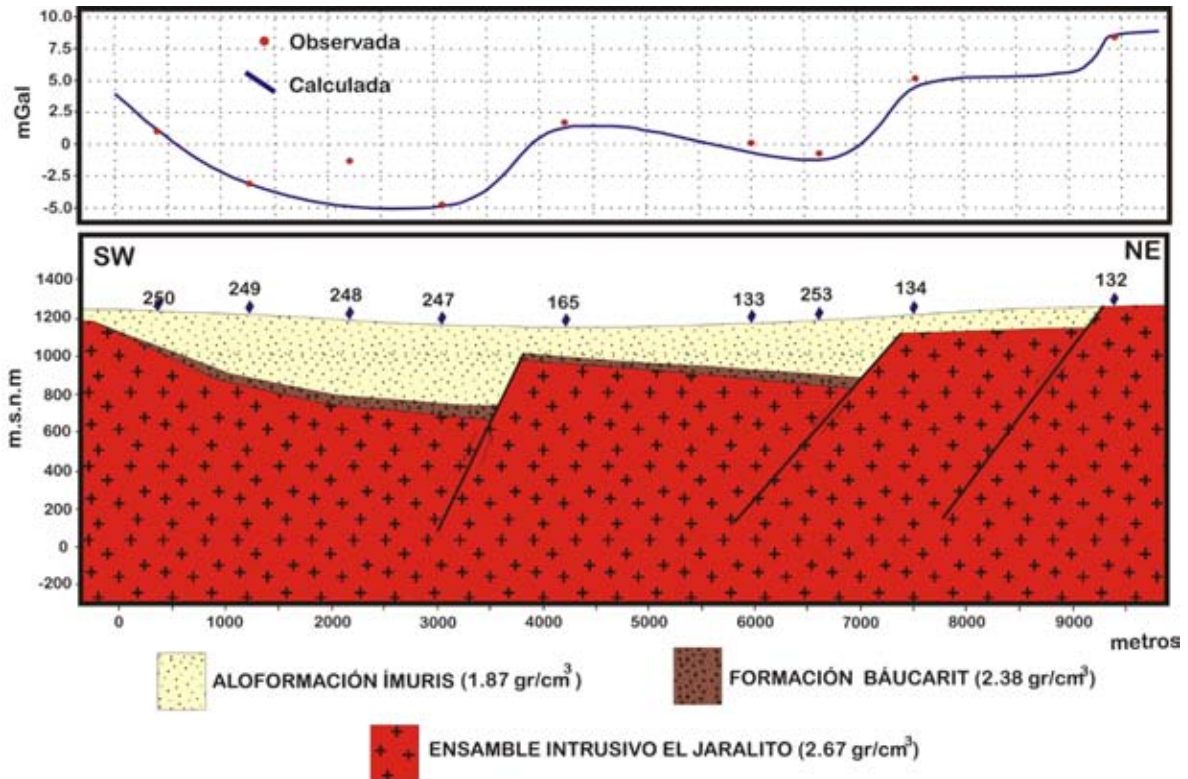


Figura 66 Modelo del perfil gravimétrico 1-1' en la Cuenca Los alisos.

ESTACIÓN	ELEVACIÓN SUPERFICIAL (m)	ELEVACIÓN AL BASAMENTO/FB (m)	ESPESOR DE LA ALOFORMACIÓN ÍMURIS (m)
250	1239	1064	175
249	1221	906	315
248	1192	801	391
247	1169	766	403
165	1157	988	169
133	1181	941	240
253	1192	918	274
134	1221	1134	87
132	1269	-	Basamento (Granito)

Tabla 4 Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil 1-1' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit.

### VI.1.2 Perfil 2-2'

Está ubicado en la parte norte de la sub-cuenca Cíbuta con una orientación NE-SW, se constituye por 10 estaciones y tiene una longitud de 10.5 Km (Figura 67). La estación 261 se tomó sobre el basamento riolítico, mientras que en la estación 126 se encuentra aflorando el intrusivo terciario. Este perfil consta de 4 cuerpos en el subsuelo, con un basamento representado por la Riolita El Pinito y el intrusivo terciario; así como el relleno de la cuenca representado por la Formación Báucarit y la Aloformación Ímuris.

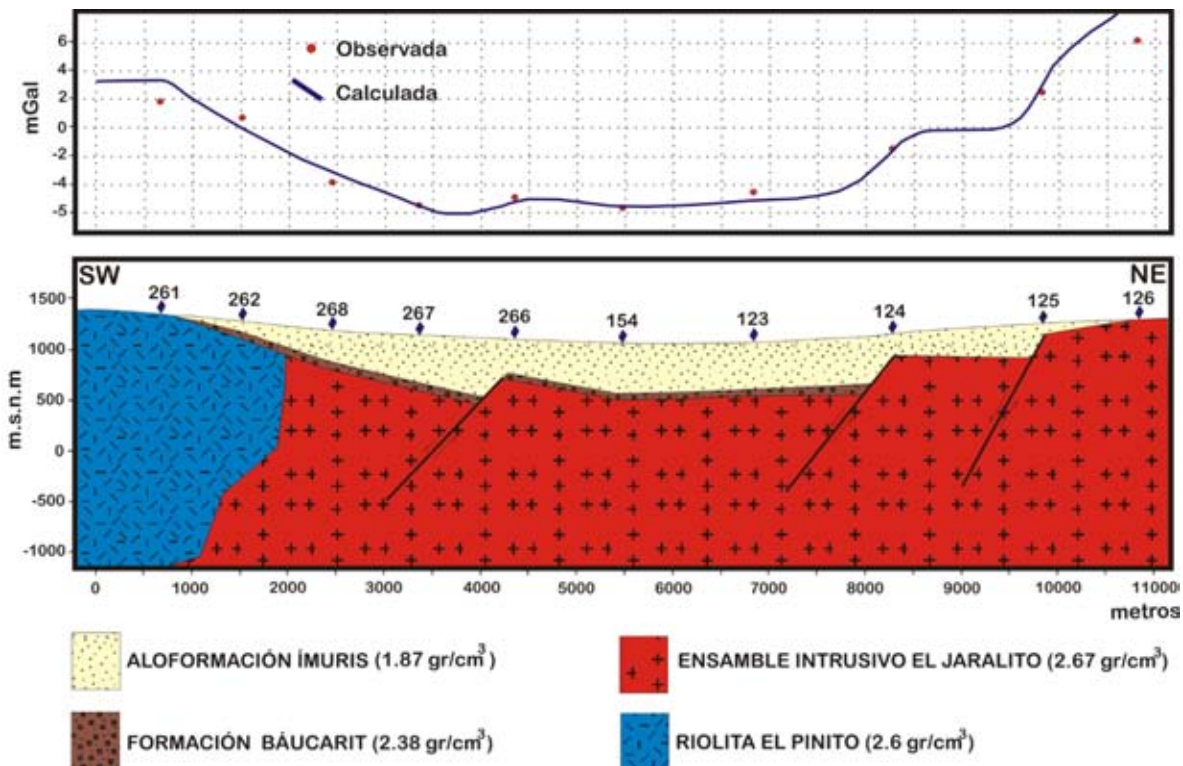


Figura 67 Modelo del perfil 2-2' en la Cuenca Los Alisos.

Al igual que en el perfil 1-1', se interpretan tres gradientes importantes y la continuidad lateral de las fallas normales presentes en dicho perfil con una orientación similar. El espesor más potente de la Aloformación Ímuris es de 487 m en la estación 154; sin embargo, entre las estaciones 266 y 267 se interpreta un espesor mayor de 500 m. Por su parte, en la estación 262 se tiene el espesor mínimo de sección con 99 m (Tabla 5).

El espesor interpretado que presenta la Formación Báucarit se mantiene con respecto al perfil 1-1' sin llegar a sobrepasar los 200 m, y al igual que en los otros perfiles, se propone que esta unidad no está presente en el subsuelo hacia la porción oriental de la cuenca.

Esto último se establece a partir de que en el arroyo El Orégano, muy cercano a la estación gravimétrica 125, se observó la discordancia entre el intrusivo del Ensamble Intrusivo El Jaralito y la Aloformación Ímuris.

ESTACIÓN	ELEVACIÓN SUPERFICIAL (m)	ELEVACIÓN AL BASAMENTO/FB (m)	ESPESOR DE LA ALOFORMACIÓN ÍMURIS (m)
261	1420	-	Basamento (riolita)
262	1282	1183	99
268	1205	906	299
267	1150	707	443
266	1105	718	387
154	1072	585	487
123	1083	629	454
124	1161	950	211
125	1260	1161	99
126	1314	-	Basamento (granito)

**Tabla 5** Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil 2-2' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit.

### VI.1.3 Perfil 3-3'

Tiene una orientación W-E y se localiza al sur del poblado de Cibuta, está constituido por 9 estaciones y tiene una longitud de 10 Km. La estación 51 fue tomada sobre el afloramiento de la Aloformación Ímuris, mientras que en la estación 269 se encuentra aflorando la Riolita El Pinito. Al igual que en perfil 2-2', se utilizaron 4 cuerpos en el modelado de este perfil, en donde el basamento en el subsuelo está representado por la Riolita El Pinito y el intrusivo terciario del Ensamble Intrusivo El Jaralito (Figura 68).

La geometría general de la cuenca se mantiene con la presencia de las tres depresiones importantes que son limitadas por fallas normales interpretadas con orientación NNW-SSE y echados hacia el oeste. El espesor más potente de la Aloformación Ímuris es de 364 m en la estación 272; mientras que el espesor mínimo se presenta en la estación 52 con 121 m (Tabla 6). La presencia de la Formación Báucarit en el subsuelo se sigue interpretando con espesores menores a los 200 m hacia la porción occidental de la cuenca; mientras que la porción oriental se considera ausente. Esta última consideración, que de hecho se tiene en todos los perfiles transversales a la cuenca, es soportada a partir de que en la cañada La Emilia se identificó una discordancia erosional entre la unidad Riolita El Pinito/Conglomerado Cocóspera y la Aloformación Ímuris (Figura 69).

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO

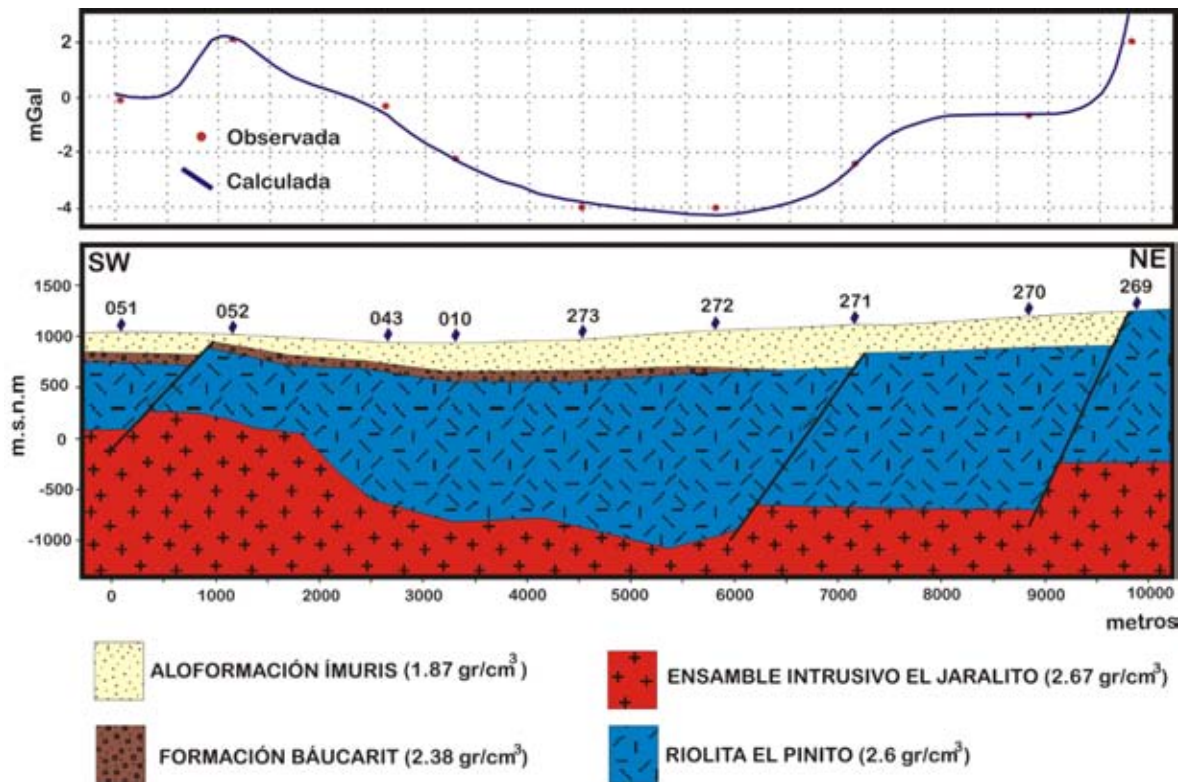


Figura 68 Modelo del perfil 3-3' en la Cuenca Los Alisos.

ESTACIÓN	ELEVACIÓN SUPERFICIAL (m)	ELEVACIÓN AL BASAMENTO/FB (m)	ESPESOR DE LA ALOFORMACIÓN ÍMURIS (m)
51	1060	851	209
52	1027	906	121
43	961	729	232
10	939	663	276
273	983	674	309
272	1071	707	364
271	1115	762	353
270	1204	906	298
269	1298		Basamento (Riolita)

Tabla 6 Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil 3-3' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit.



Figura 69 Contacto por falla entre la Riolita El Pinito y el Conglomerado Cocóspera, cubiertos discordantemente por la Aloformación Ímuris en la cañada La Emilia

Es importante establecer que dentro de este perfil, en las inmediaciones de la estación 269, se encuentra un afloramiento donde se puede identificar la falla normal que determina el límite oriental de la cuenca (Figura 70), mostrando a la secuencia riolítica con un fracturamiento muy intenso, y la estructura cubierta por los sedimentos de la Aloformación Ímuris (Figura 71).

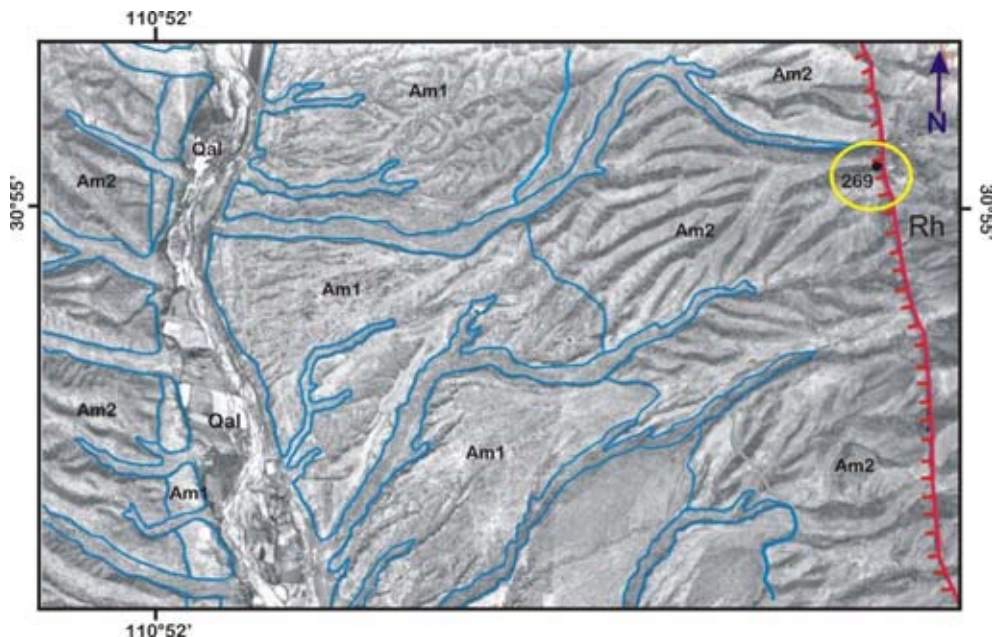
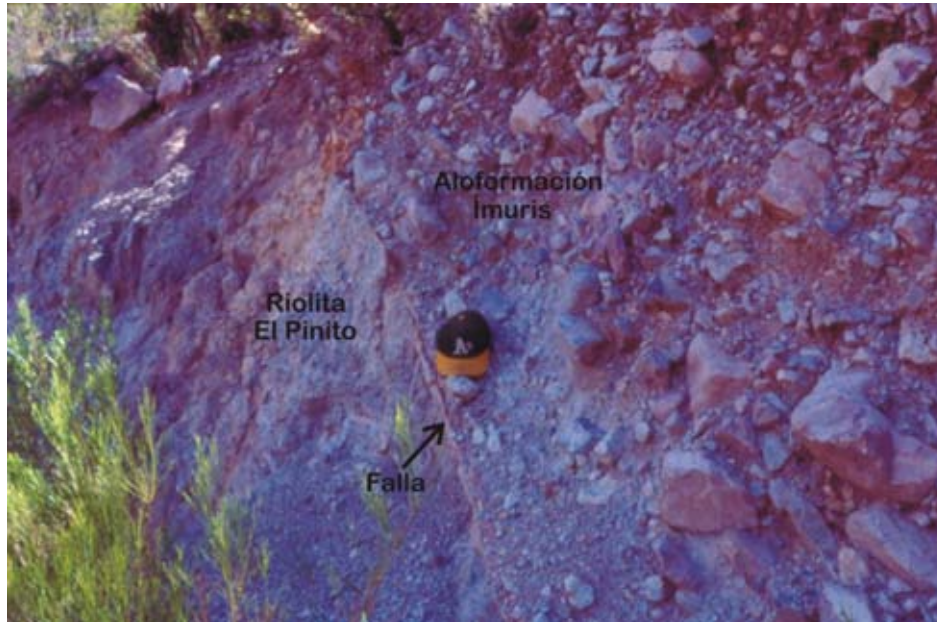


Figura 70 Fotografía aérea mostrando la localización de la estación gravimétrica 269 y el afloramiento de la falla principal. Rh = Riolita El Pinito, Am1 y Am2 = Aloformación Ímuris, Qal = Aluvión





**Figura 71** Presencia de la Aloformación Ímuris cubriendo la falla que determina el límite oriental de la cuenca en la Sierra El Pinito, en las inmediaciones de la estación 269 del perfil 3-3'. Vista hacia el SE.

#### **VI.1.4. Perfil 4-4'**

Tiene una orientación SW-NE al norte del poblado de Ímuris, y está constituido por 15 estaciones con una longitud de 21 Km. La estación 61 fue tomada sobre la riolita metamorfoseada, mientras que la estación 87 se encuentra sobre la Aloformación Ímuris, muy cercano al afloramiento de la Riolita El Pinito y el Conglomerado Cocóspera a lo largo de la Carretera Federal No.2.

En este perfil se tienen incluidos, además de la Aloformación Ímuris, tres litologías que conforman al basamento de la cuenca, incluyendo la presencia de la Riolita el Pinito con metamorfismo. La geometría general de esta porción de la cuenca presenta más características de un graben limitado por grandes fallas, con las profundidades mayores hacia la porción oriental (Figura 72).

La falla interpretada en la porción occidental está determinada por el brechamiento en el afloramiento de la roca esquistosa en la estación gravimétrica 61, mientras que la falla oriental se tiene aflorando en las inmediaciones de la estación 86. El espesor más potente de la Aloformación Ímuris se tiene en la estación 257 con 347 m, muy cerca del

límite oriental de la cuenca. El espesor mínimo se tiene en la estación 88 y es de 39 m (Tabla 7).

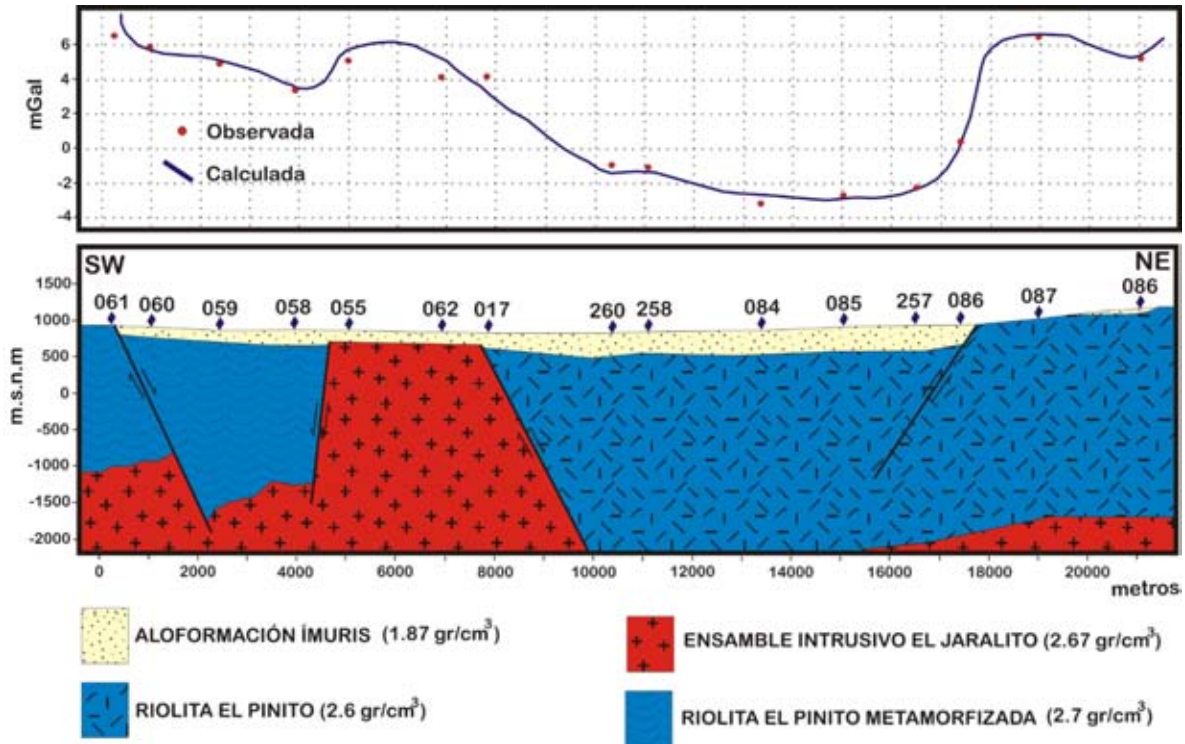


Figura 72 Modelo del perfil 4-4' en la Cuenca Los Alisos.

ESTACIÓN	ELEVACIÓN SUPERFICIAL (m)	ELEVACIÓN AL BASAMENTO/CG (m)	ESPESOR DE LA ALOFORMACIÓN ÍMURIS (m)
61	980	-	Basamento(esquisto)
60	919	776	143
59	880	723	157
58	887	651	236
55	880	619	261
62	854	593	261
17	848	599	249
260	841	527	314
258	854	566	288
84	880	553	327
85	933	599	334
257	946	599	347
86	965	691	274
87	1051	-	Basamento (riolita)
88	1168	1129	39

Tabla 7 Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil 4-4' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit.

El alto gravimétrico que se tiene entre las estaciones 55 y 62 se interpreta como levantamiento del intrusivo granítico a partir de un fallamiento normal., por lo que su contacto con las unidades del basamento es estructural, sin embargo, el contacto por intrusión sigue presente.

### VI.1.5 Perfil F-F'

Este perfil es longitudinal al área estudiada y se presenta una orientación NW-SE. Está constituido por 21 estaciones, y a lo largo de los 35.5 Km de longitud incluye información de la sub-cuenca Cibuta. Tanto la estación 170 como la 270 que determinan los extremos del perfil fueron tomadas sobre la Aloformación Ímuris. El modelo incluye al granito terciario y la Riolita El Pinito como parte del basamento, así como la Formación Báucarit y la Aloformación Ímuris como el relleno sedimentario. Un alto gravimétrico entre las estaciones 164 y 162 se interpreta como un levantamiento del basamento granítico, lo que eventualmente marca el límite entre las sub-cuencas Cibuta e Ímuris. Otro de los elementos importantes interpretados es la presencia del basamento granítico hasta la estación 117, haciendo congruencia con los perfiles 1-1' y 2-2'; y a partir de esta estación el dominio de la secuencia riolítica como parte del basamento de la cuenca (Figura 73).

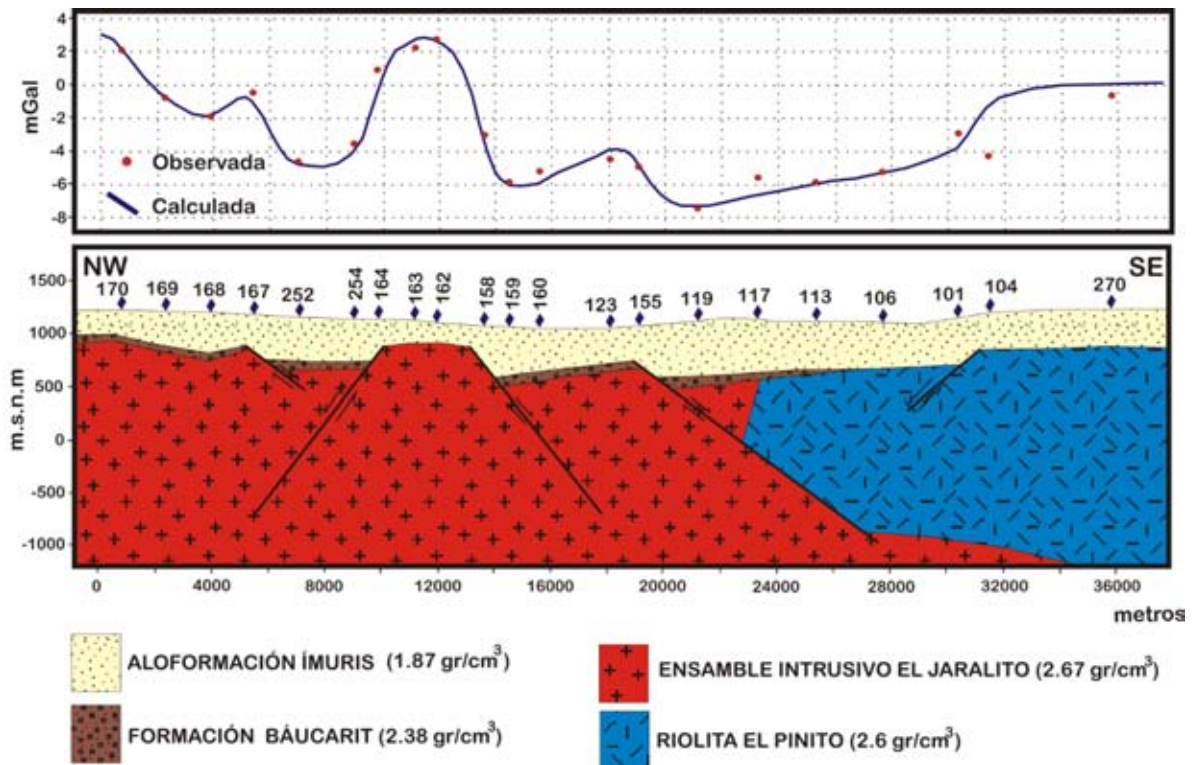


Figura 73 Modelo del perfil F-F' en la Cuenca Los Alisos.

El espesor más potente de la Aloformación Ímuris se tiene como parte de la sub-cuenca Cíbuta con 567 m en la estación 119, sobreyaciendo a la Formación Báucarit; mientras que un espesor mínimo de 223 m se tiene en la estación 170 en el límite norte del área estudiada (Tabla 8).

ESTACIÓN	ELEVACIÓN SUPERFICIAL (m)	ELEVACIÓN AL BASAMENTO/FB (m)	ESPESOR DE LA ALOFORMACIÓN ÍMURIS (m)
170	1235	1012	223
169	1228	944	284
168	1211	870	341
167	1194	857	337
252	1171	752	419
254	1154	749	405
164	1150	857	293
163	1137	874	263
162	1120	867	253
158	1090	658	432
159	1081	611	470
160	1069	631	438
161	1110	684	426
123	1069	691	378
155	1090	651	439
119	1134	567	567
117	1147	624	523
114	1111	638	473
113	1127	658	469
106	1120	688	432
101	1161	712	449
104	1208	718	480
270	1248	897	351

**Tabla 8** Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil F-F' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit.

### VI.1.6 Perfil G-G'

Este perfil también tiene una orientación longitudinal a la cuenca NW-SE, pero está constituido por 20 estaciones y presenta una longitud de 32 Km. Se desarrolló hacia el oeste del perfil F-F' como una continuidad hacia el sur del mismo, aportando en este caso información de la sub-cuenca Ímuris. La estación 147 fue tomada sobre la Aloformación Ímuris, mientras que la estación 73 se encuentra sobre el basamento riolítico en el extremo sur del área estudiada.

Entre las estaciones 137 y 45, el basamento riolítico se encuentra aflorando, ya que las estaciones 138 y 46 fueron tomadas sobre éste (Figura 74), probablemente como producto del levantamiento del basamento a partir de un lineamiento E-W que corta a la cuenca. El espesor más potente de la Aloformación Ímuris es de 427 m en la estación 95, donde se encuentra sobreyaciendo a la Formación Báucarit; y el espesor mínimo se tiene en la estación 9 con 129 m (Tabla 9).

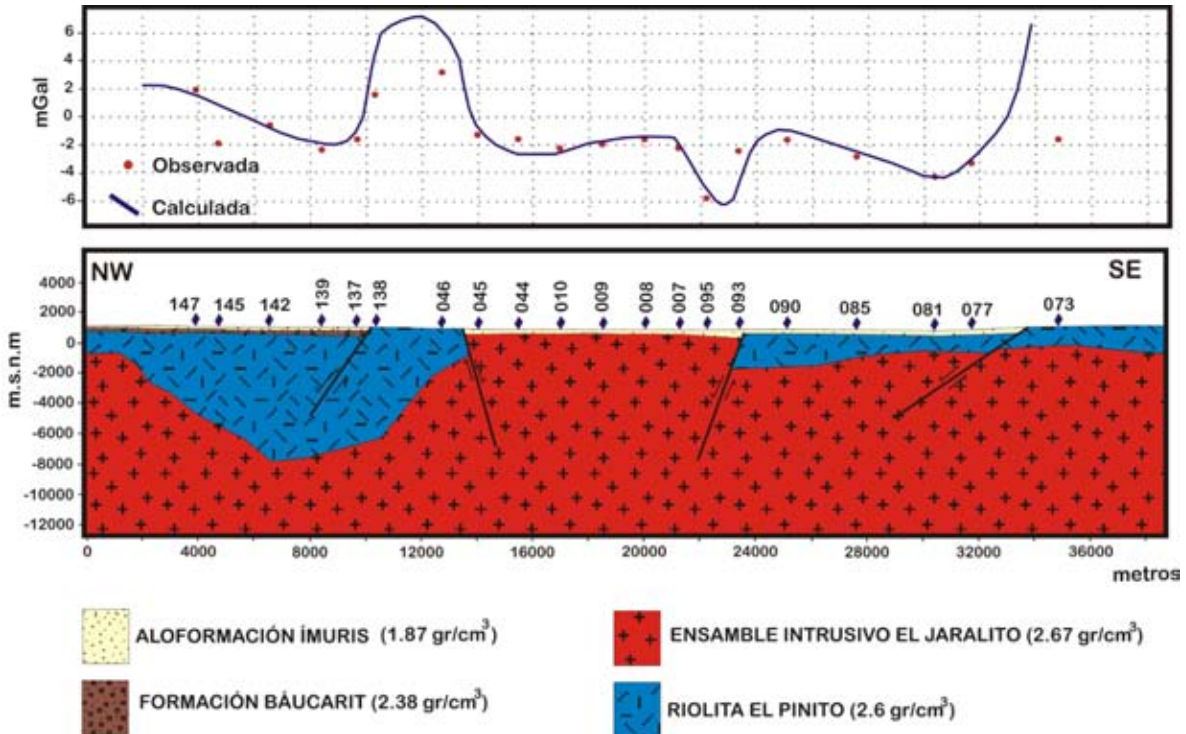


Figura 74 Modelo del perfil G-G' en la Cuenca Los Alisos.

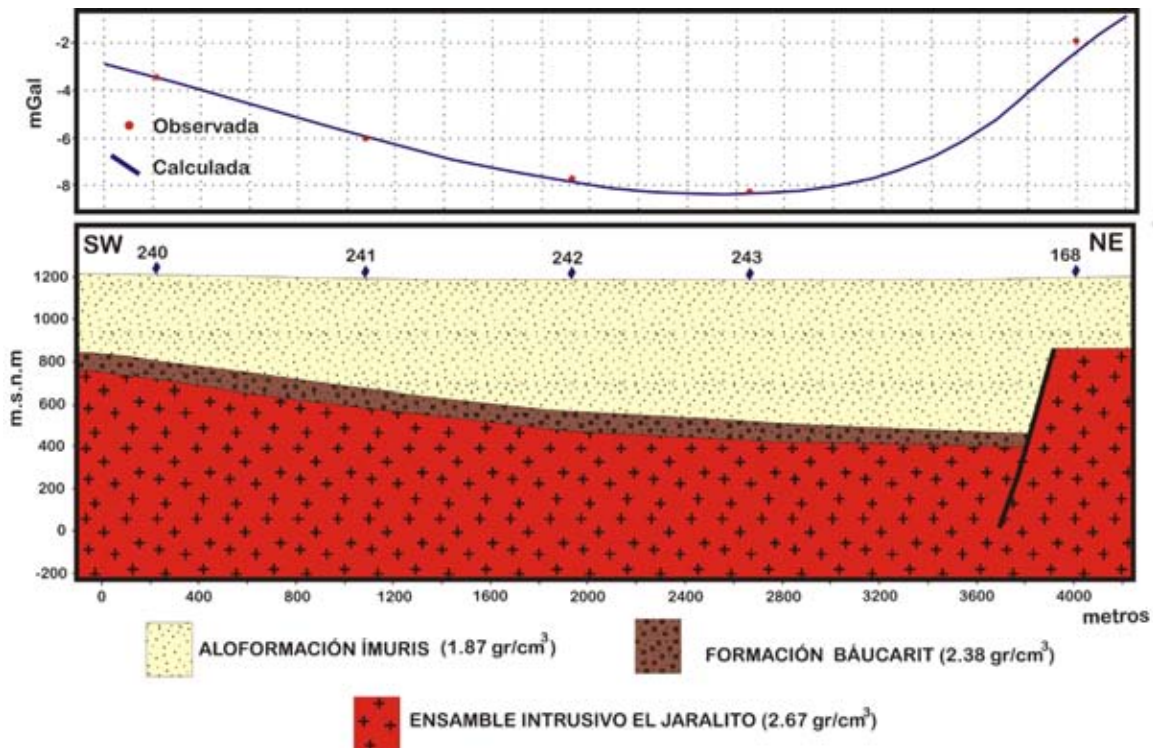
### VI.1.7 Perfil 1A-1A'

Este perfil presenta una orientación transversal NE-SW al área estudiada, y sólo está constituido por 5 estaciones con una longitud de 4 Km (Figura 74). Si bien es cierto que ninguna de sus estaciones se tomó sobre el basamento, este perfil aporta información importante sobre la profundidad de la sub-cuenca Agua Zarca.

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO**

ESTACIÓN	ELEVACIÓN SUPERFICIAL (m)	ELEVACIÓN AL BASAMENTO/FB (m)	ESPESOR DE LA ALOFORMACIÓN ÍMURIS (m)
147	1136	963	173
145	1113	952	161
142	1101	906	195
139	1078	871	207
137	1090	825	265
138	-	-	Basamento (riolita)
46	-	-	Basamento (riolita)
45	963	802	161
44	951	802	149
10	952	791	161
9	947	818	129
8	927	753	174
7	927	743	184
95	959	532	427
93	918	688	230
90	909	688	221
85	945	615	330
81	863	559	304
77	909	624	285
73	-	-	Basamento (riolita)

**Tabla 9** Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil G-G' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit.



**Figura 75** Modelo del perfil 1A-1A' en la Cuenca Los Alisos.

Dentro de esta sub-cuenca se interpretó el espesor más potente de la Aloformación Ímuris, llegando a alcanzar un total de 669 m (Tabla 10) en la estación 243. Así mismo, se interpreta una falla normal con orientación NNW-SSE y basculada al oeste limitando a esta sub-cuenca. La Formación Báucarit en este perfil se interpreta con un espesor no mayor a los 200 m, y tanto esta unidad como el intrusivo del Ensamble Intrusivo El Jaralito, están cubiertos discordantemente por la Aloformación Ímuris,

ESTACIÓN	ELEVACIÓN SUPERFICIAL (m)	ELEVACIÓN AL BASAMENTO/FB (m)	ESPESOR DE LA ALOFORMACIÓN ÍMURIS (m)
240	1220	822	398
241	1202	677	525
242	1190	575	615
243	1190	521	669
168	1203	865	338

**Tabla 10** Espesores de la Aloformación Ímuris en el perfil 1A-1A' en la Cuenca Los Alisos. FB = Formación Báucarit.

### VI.1.8 Filtros

Como parte del tratamiento a los datos gravimétricos, una práctica común es la aplicación se ciertos filtros para resaltar alguna característica específica. En este trabajo, se aplicó el filtro de “continuación hacia arriba 3000 m” a las anomalías.

82El filtro de continuación hacia arriba (“*Upward Continuation*”) es una operación que de manera general establece la proyección de un mapa de anomalía de Bouguer en una superficie superior a la de la Tierra, ilustrando cómo el campo gravitacional aparecería si lo midiéramos a partir de un nivel más alto. Al cambiar a una superficie más alta, la atracción gravitacional de las fuentes que generan las anomalías disminuye, ya que se encuentran más alejadas; este hecho hace que la atracción de las fuentes locales se vea aún más reducida, ya que el cambio en la distancia es proporcionalmente más grande para estas fuentes que para aquellas más profundas y de características regionales. Por lo tanto, en el plano que resulta sobre una superficie más alta, los patrones regionales tienden a ser más claramente desplegados y las anomalías locales son menos evidentes (Robinson y Coruh, 1988). Para el caso de la Cuenca Los Alisos, el objetivo de utilizar este filtro fue el de identificar la presencia de estructuras más regionales y profundas que afectan la cuenca. Aplicándose éste al mapa de anomalía de Bouguer obtenido del levantamiento gravimétrico superficial.

En el plano que resulta de la aplicación de este filtro (Figura 76), es muy evidente y continua la expresión de la estructura que delimita la porción oriental de la cuenca con una orientación NNW-SSE. También dentro de este mismo plano, la distribución de isoanómalas hacia la porción occidental presenta mayor amplitud, lo que eventualmente sugiere que no existe una estructura importante a profundidad como límite en esta parte de la cuenca. Este último elemento, en conjunto con las interpretaciones en el modelado de los perfiles gravimétricos, permiten proponer que la estructura geométrica del área estudiada representa una cuenca de medio-graben.

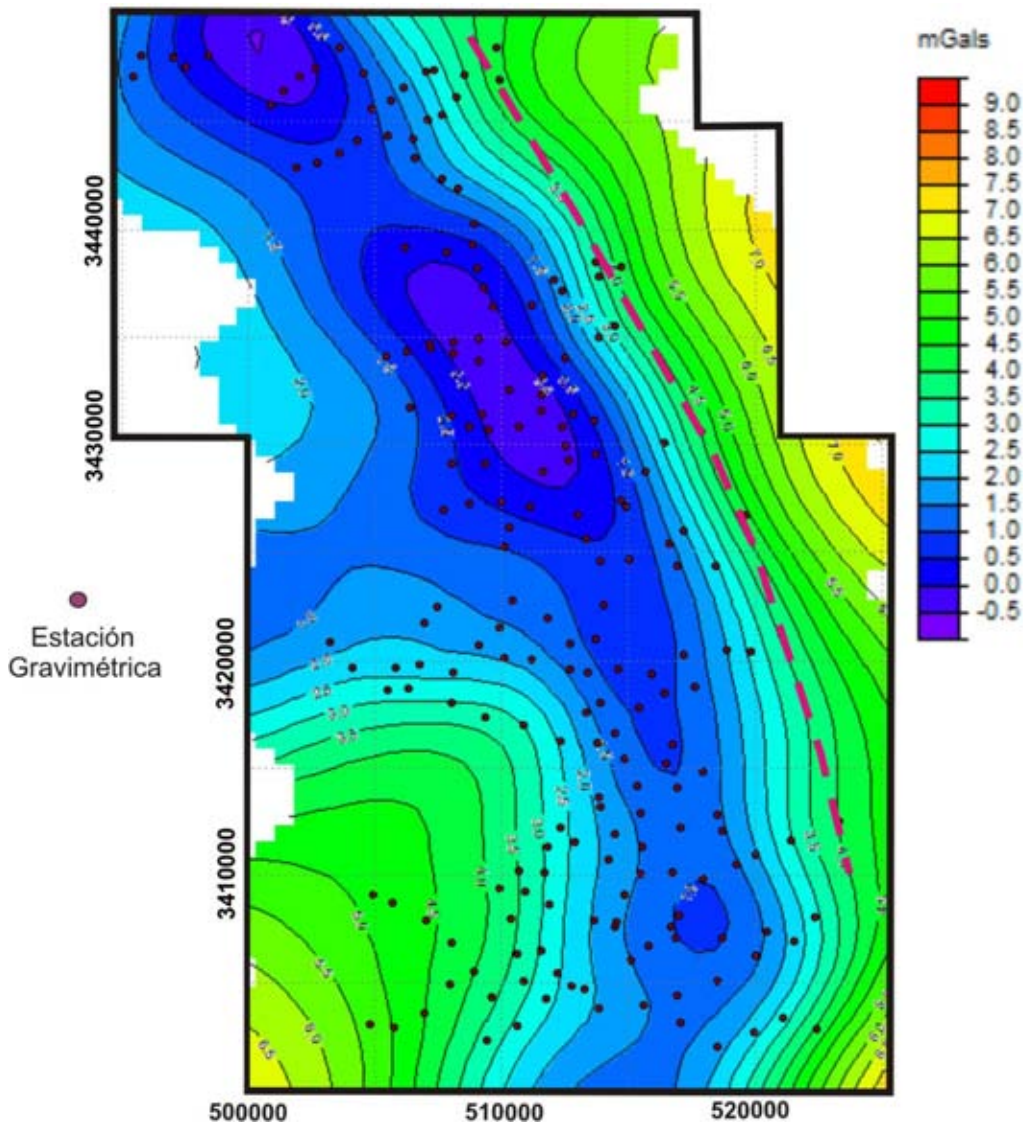


Figura 76 Plano de “continuidad hacia arriba 3000 m” de la Cuenca Los Alisos. La raya roja discontinua representa el límite oriental de la cuenca.



### VI.1.9 Plano de profundidad al basamento

A partir de los perfiles gravimétricos interpretados en este apartado y al modelado de otros 6 complementarios incluidos en el anexo III, se estableció el espesor del relleno sedimentario en la mayoría de las estaciones gravimétricas de la Cuenca Los Alisos, el cual incluye a la Aloformación Ímurs y a la Formación Báucarit. Estos datos se procesaron en el software WingLink® y como resultado se propone el plano de isopropfundidades al basamento dentro de esta cuenca, con curvas de profundidad a cada 100 m (Figura 77). Es importante establecer que si bien es cierto este plano se genera a partir de la interpretación de los perfiles modelados, y solo se cuenta con información puntual a partir de una perforación directa, la correspondencia entre el modelo geológico conceptual de la cuenca y las interpretaciones hechas del subsuelo, apoyan la certidumbre de proponer el primer plano este tipo para cuencas continentales intermontanas en la región.

Congruentes con los resultados obtenidos en el plano de anomalía residual donde se estableció la presencia de tres sub-cuencas (Figura 58), las profundidades mayores al basamento se concentran en las mismas zonas. 1) para la sub-cuenca Agua Zarca, las curvas están bien delimitadas mostrando profundidades mayores hasta de 800 m en la porción central; b) la sub-cuenca Cíbuta se presenta con una orientación NW-SE y profundidades mayores entre los 500 y 600 m al sureste del poblado de este nombre; y 3) la sub-cuenca Ímuris tiene una orientación N-S con profundidades al basamento mayores entre los 500 y 400 m, principalmente hacia la porción norte de ésta, mientras que hacia el sur, el basamento es más somero con profundidades entre 300 y 400 m.

Dentro de este plano también se puede identificar depresiones que no fueron determinadas claramente en el plano de anomalía residual. La primera de éstas se presenta al sur de la sierra Cíbuta y alcanza profundidades al basamento de hasta 400 m, mientras que la segunda podría definirse como una continuación al sur de la sub-cuenca Ímuris, que después de un alto del basamento a la altura del poblado del mismo nombre, retoma profundidades máximas entre los 300 y 400 m.

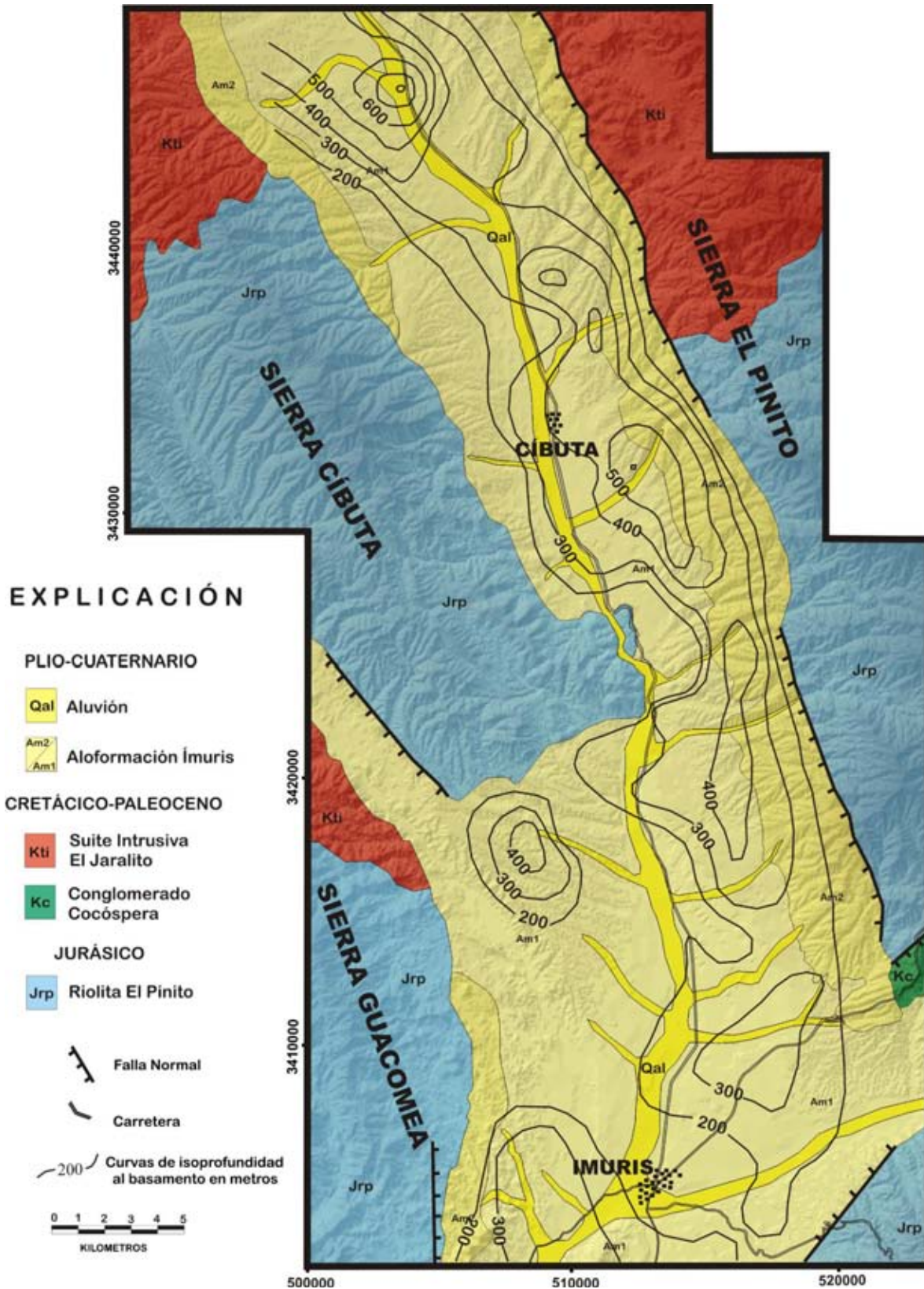


Figura 77 Plano de profundidad al basamento interpretado para la Cuenca los Alisos

## VI.2 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV)

Uno de los elementos importantes dentro del modelado de la gravimetría en la cuenca Los Alisos es la identificación de los bajos gravimétricos que se interpretan como sub-cuencas en el subsuelo. Las características en la distribución superficial de las diferentes asociaciones de litofacies en la Aloformación Ímuris y la presencia de estas sub-cuencas, permiten suponer que inicialmente debió haber existido un drenaje endorreico hacia estas depresiones y el consecuente desarrollo de ambientes fluviolacustres donde se depositaron sedimentos finos. Dado que con el método gravimétrico no se puede definir las diferencias en la granulometría de los sedimentos en el subsuelo, y buscando dar certidumbre al punto anterior, se llevó a cabo la reinterpretación de 12 SEV y 4 secciones geoelectricas, toda vez que las diferencias de resistividad si permiten asociarlas eventualmente a diferentes granulometrías. Los SEV tienen la siguiente distribución: 2 ubicados en las inmediaciones de donde se interpreta la Sub-cuenca Agua Zarca; 3 dentro del área de la Sub-cuenca Cíbuta y 7 enmarcados sobre la Sub-cuenca Ímuris (Figura 78).

### VI.2.1 Sección Geoelectrica A-A'.

La Sección geoelectrica A-A' se localiza al sur de la sub-cuenca Agua Zarca en el límite septentrional del área de estudio. Cubre una distancia de 5 km con una orientación NW-SE y está integrada por 2 SEV. La interpretación del perfil a partir de la gráfica obtenida de los datos de los SEV 31 y 51 se presenta en la Figura 79.

De manera general ambos SEV constan de 4 capas. Dos de estas capas se tienen en la parte más superficial (hasta los 10 m de profundidad), caracterizadas por horizontes con resistividades que van desde los 215 hasta 620 ohm/m, los cuales son interpretados como depósitos areno-gravosos. La capa 3 es menos resistiva y en ambos sondeos se tienen valores entre 18 y 50 ohm/m, se presenta hasta una profundidad de 200 metros en el SEV 31, y representan sedimentos areno-limosos. La capa inferior presenta resistividades por arriba de los 300 ohm/m, la cual se interpreta como depósitos de gravas y/o conglomerados.

El modelado de la Sección Geoelectrica A-A' (Figura 80) muestra que para el SEV 31, la capa que se tiene aproximadamente entre los 150 y 200 m de profundidad, se interpreta como la presencia de la secuencia detrítica areno-arcillosa de la aloformación Ímuris, asociada al depocentro de la Sub-cuenca Agua Zarca. Este SEV está localizado al norte del área estudiada, muy cercano a la estación gravimétrica 165, en donde, a partir del análisis gravimétrico, se calcula un espesor para la Aloformación Ímuris de 169 m.

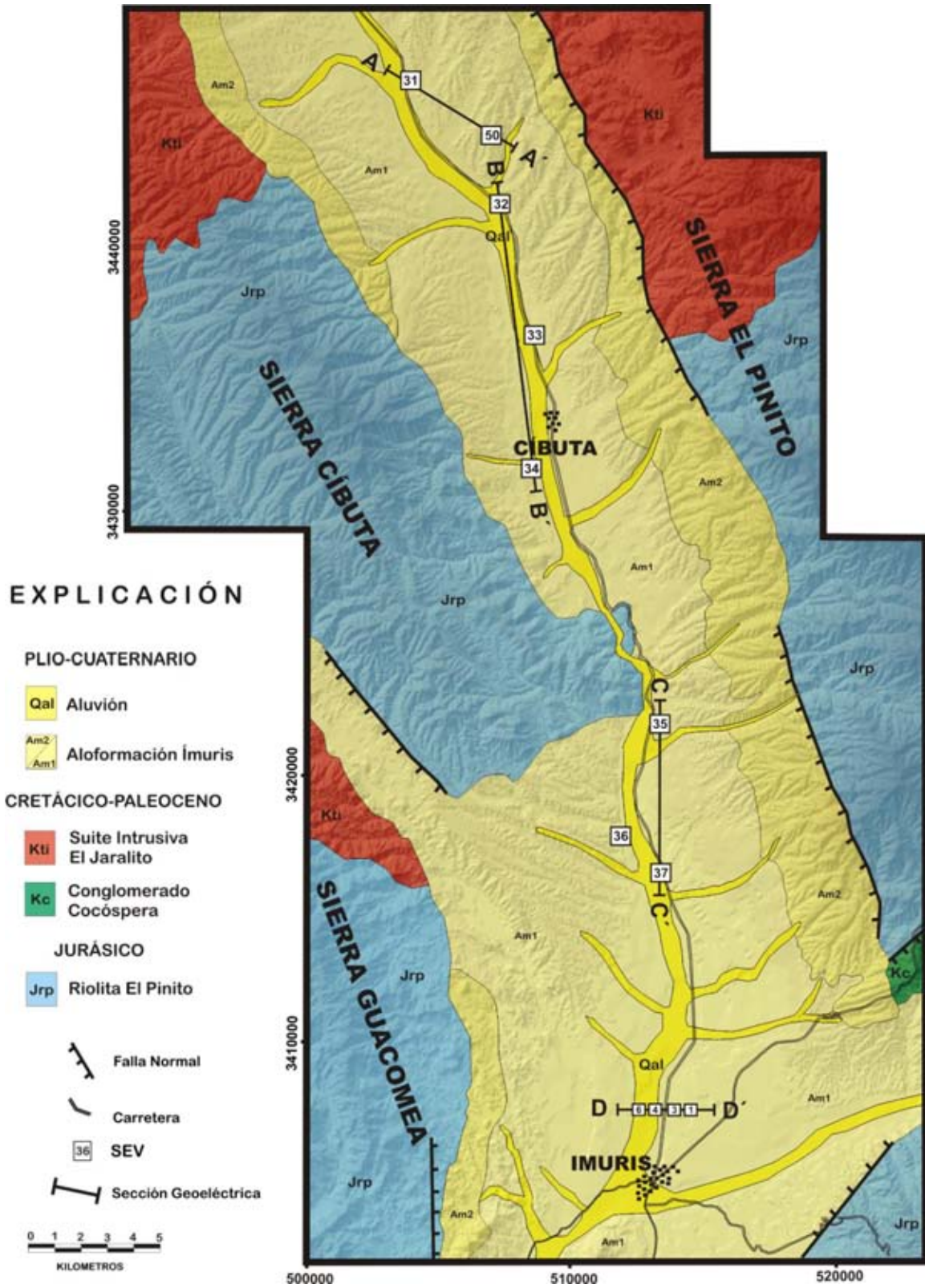


Figura 78 Localización de los SEV reinterpretados y secciones geoeléctricas en la Cuenca Los Alisos.

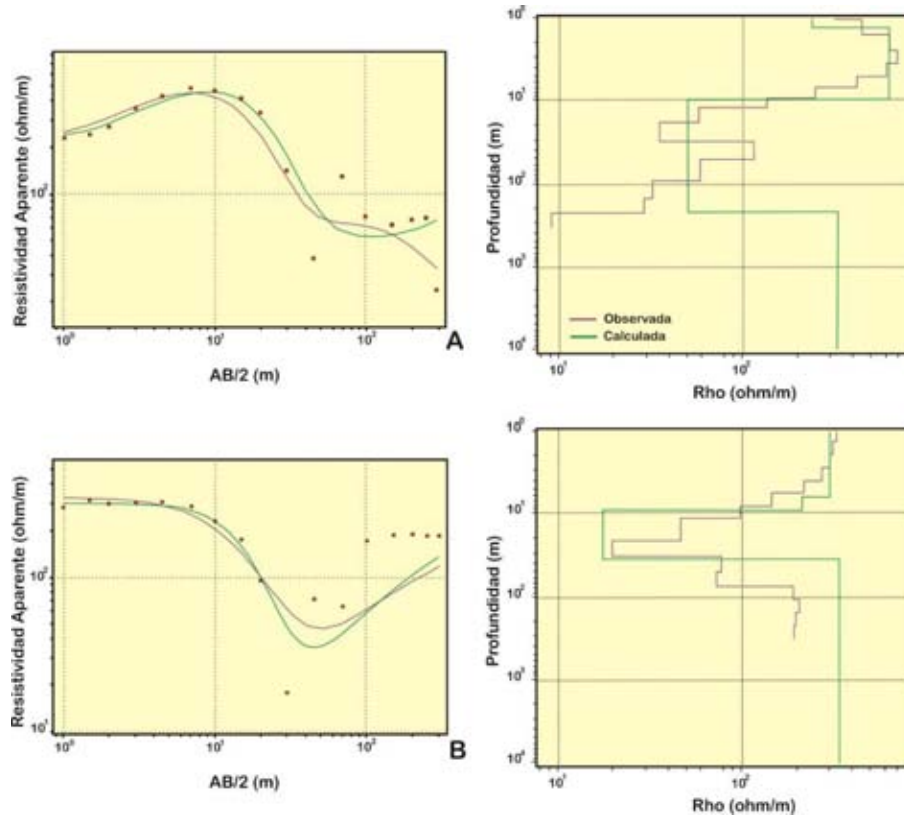


Figura 79 Perfil y modelo interpretado de los SEV 31 (A) y 51 (B) que integran la Sección Geoeléctrica A-A' en la parte norte del área estudiada

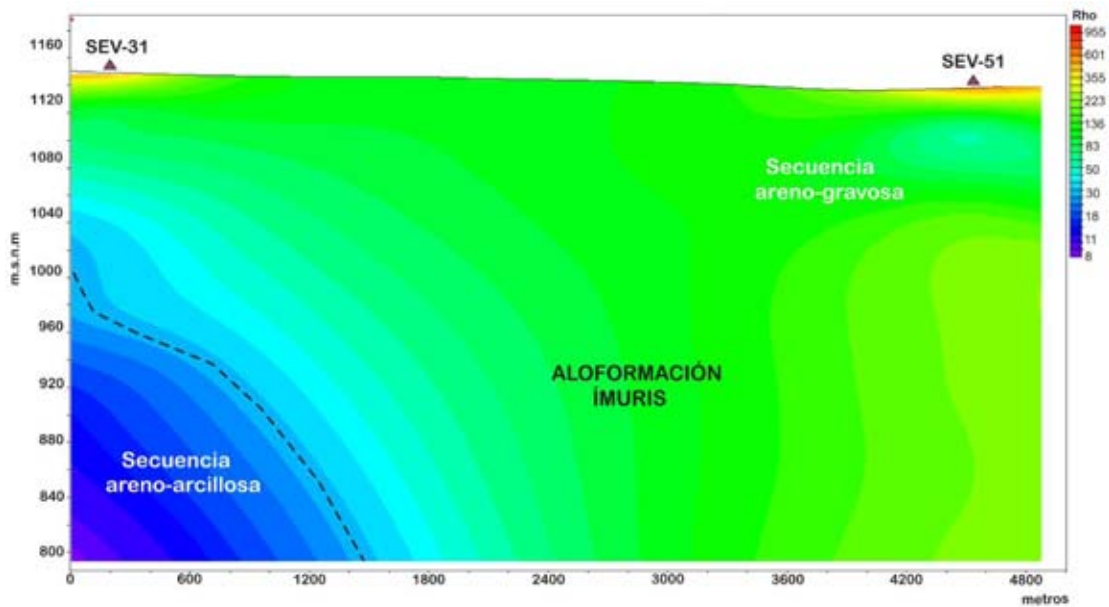


Figura 80 Modelo de resistividades de la Sección geoelectrica A-A'

### VI.2.2 Sección Geoeléctrica B-B'

La Sección Geoeléctrica B-B' se localiza dentro de la sub-cuenca Cíbuta. Está integrada por 3 SEV con una orientación NNW-SSE, y cubre una longitud de 11 km. La interpretación del perfil a partir de la gráfica obtenida de los datos de los SEV 32, 33 y 34 se presenta en la Figura 81.

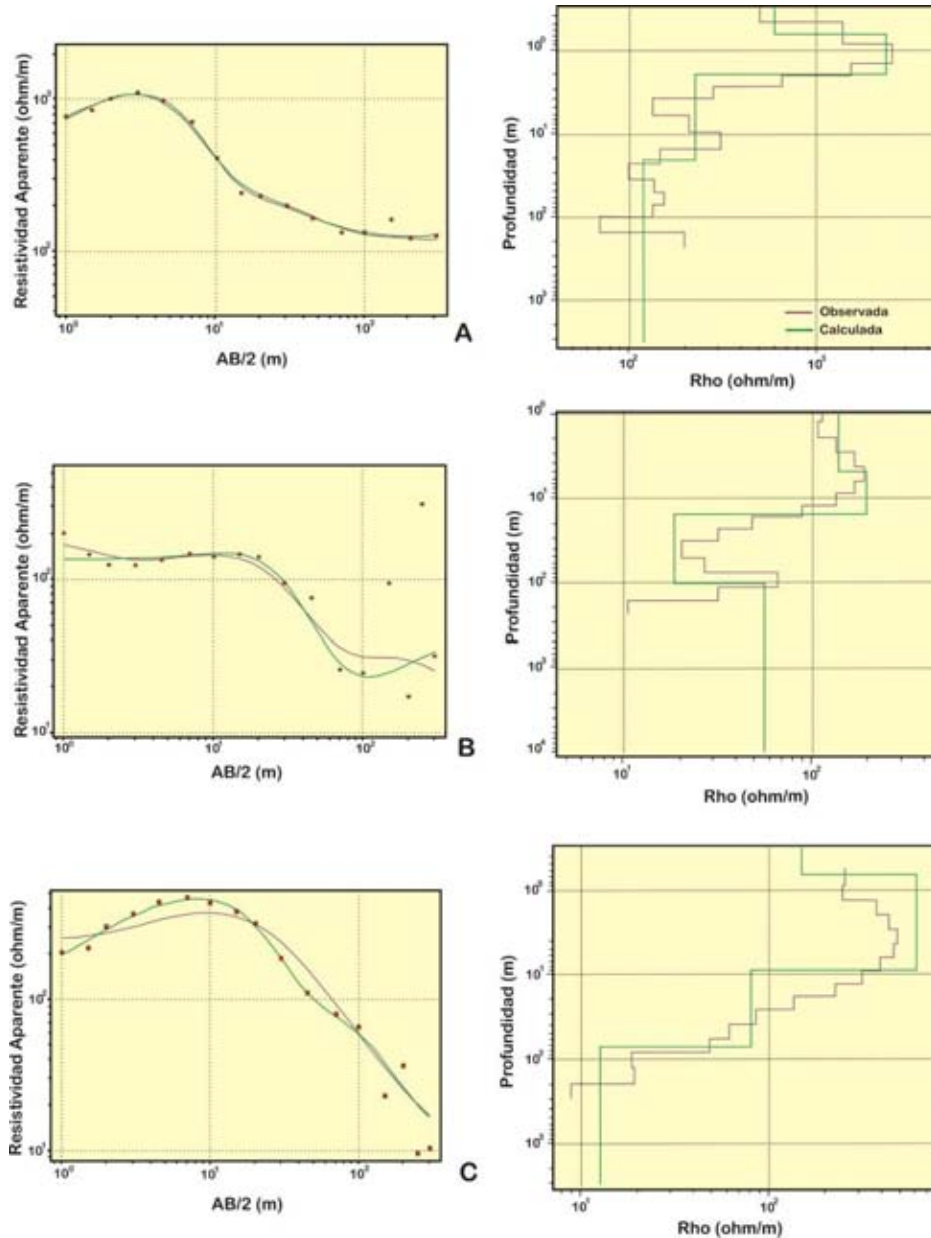


Figura 81 Perfil y modelo interpretado de los SEV 32 (A), 33 (B) y 34 (C) que integran la Sección Geoeléctrica B-B', dentro de la sub-cuenca Cíbuta.

Los modelos obtenidos para estos perfiles también se basan en 4 capas. En la parte más superficial, y hasta los 15 m de profundidad, se mantienen las 2 capas con horizontes resistivos que van desde los 137 hasta 590 ohm/m, los cuales son interpretados como depósitos areno-gravosos. La capa 3 y 4 son en general más conductoras que las superficiales con resistividades mínimas entre 12 y 18 ohm/m, interpretándose como secuencias limo-arcillosas.

La Sección Geolétrica B-B' (Figura 82) muestra que para el SEV 34, la capa inferior es identificada aproximadamente a los 75 m de profundidad, comportándose más conductora a profundidad con resistividades menores a 10 ohm/m (figura 80C).

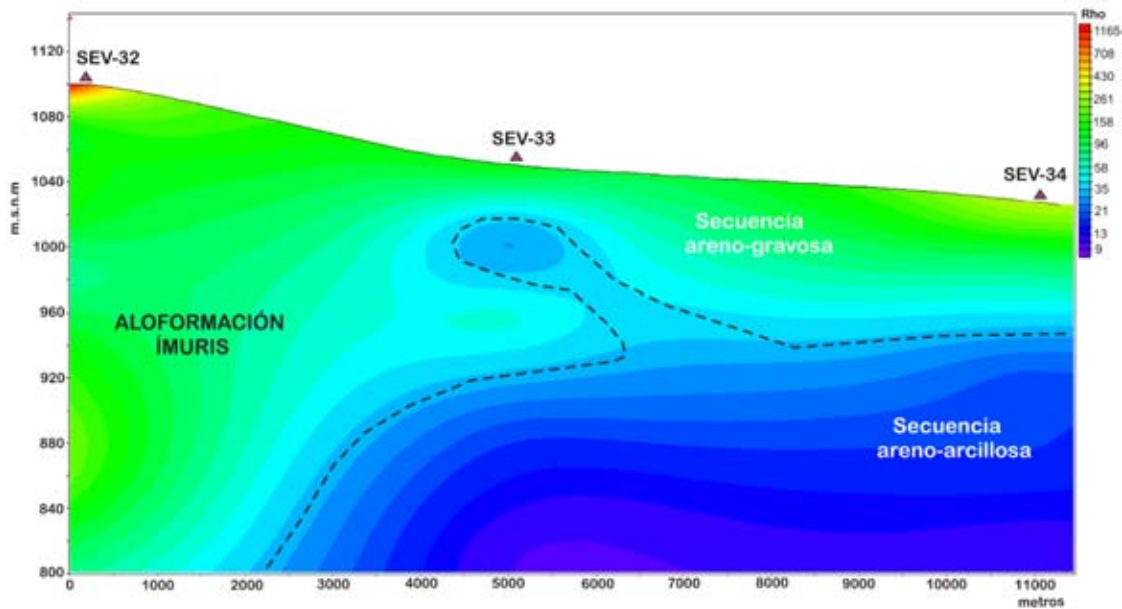


Figura 82 Modelo de resistividades de la Sección Geolétrica B-B'

Es importante puntualizar que esta sección no se identifica a la Formación Báucarit, ya que se tiene de manera casi longitudinal en la porción más profunda de la sub-cuenca Cíbuta, calculando un espesor mayor a los 400 m para la Aloformación Ímuris a partir del análisis gravimétrico. Lo que es importante establecer es la presencia de la secuencia arcillosa con resistividades menores a los 20 ohm/m que se interpreta para los SEV 33 y 34, que tiende a incrementar su espesor hacia el sur, asumiendo que corresponde a una sedimentación fina asociada a la Aloformación Ímuris.

### VI.2.3. Sección Geoeléctrica C-C'

La Sección Geoeléctrica C-C' se localiza en la porción norte de la sub-cuenca Ímuris. Está integrada por 3 SEV's con una orientación N-S, y cubre una longitud de 6 km. La interpretación del perfil a partir de la gráfica obtenida de los datos de los SEV 35, 36 y 37 se presenta en la Figura 83.

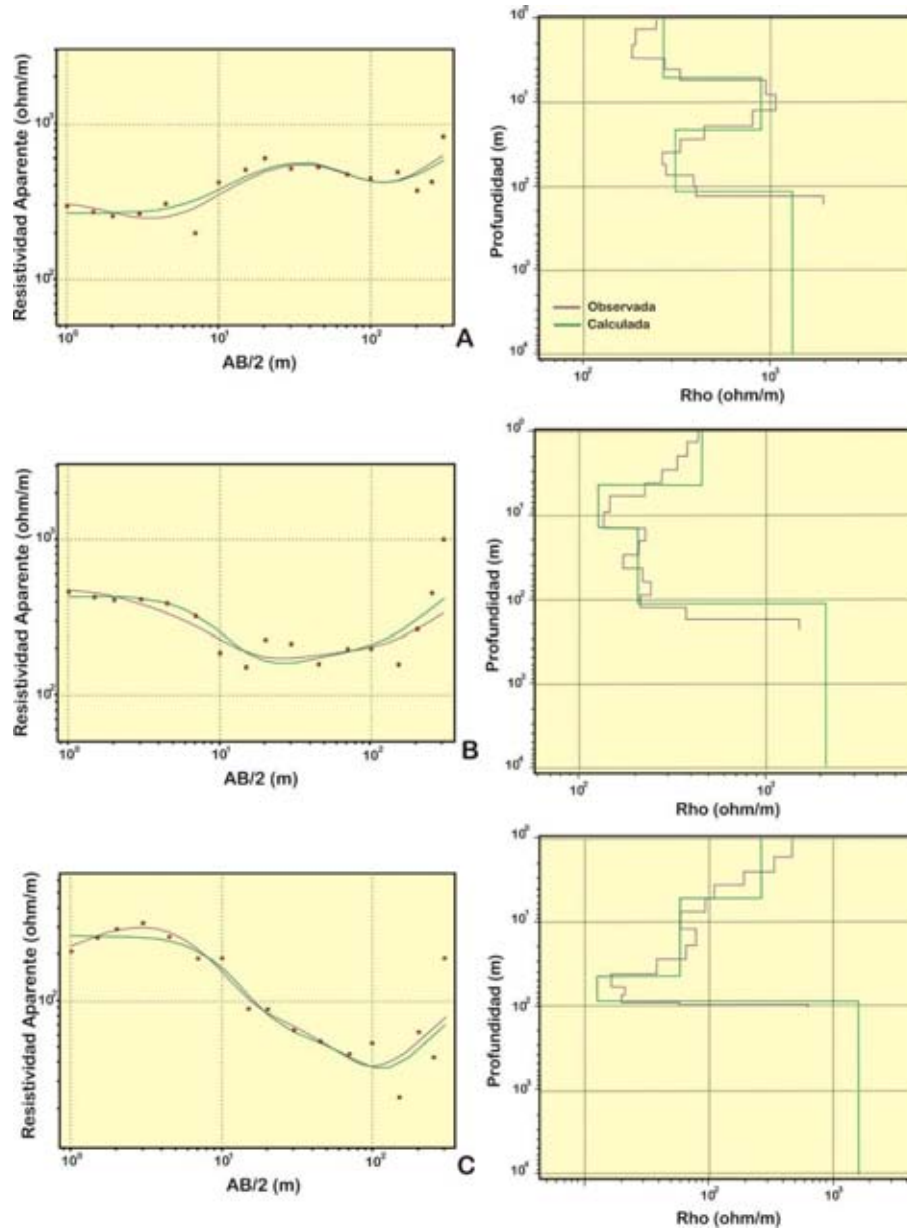


Figura 83 Perfil y modelo interpretado de los SEV's 35 (A), 36 (B) y 37 (C) que integran la Sección Geoeléctrica C-C'.



Los modelos obtenidos para estos perfiles incluyen 4 capas. En los primeros 20 metros de profundidad continúan las dos capas areno-gravosas superficiales, con resistividades entre 120 y 881 ohm/m. La capa 3, si bien es cierto que para los SEV 35 y 36 disminuye un poco la resistividad con rangos de valores entre 198 y 308 ohm/m, en el SEV 37 ésta se interpreta como una capa limo-arcillosa altamente conductora con una resistividad de 12.49 ohm/m. La capa 4 a profundidad marca un material muy resistivo con valores entre 1300 y 2024 ohm/m.

Un punto importante a resaltar en la sección C-C' es la presencia de la capa areno-arcillosa a los 42 m de profundidad y por un espesor de casi 50 m que se identifica claramente en el SEV 37 (Figura 84). Así mismo, la profundidad a la capa basal más resistiva en el SEV 36, que se interpreta como el intrusivo granítico, es aproximadamente de 120 metros, la cual corresponde a la profundidad obtenida en la estación 9 (128.90 metros) del análisis gravimétrico.

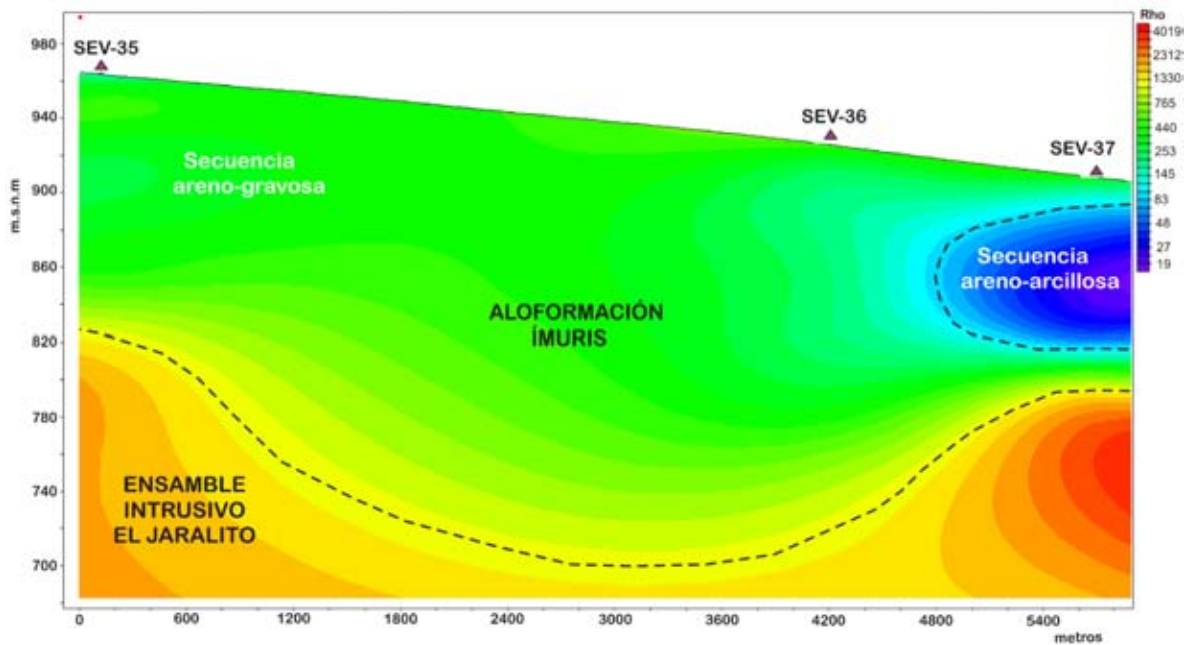


Figura 84 Modelo de resistividades de la Sección Geoeléctrica C-C'

#### VI.2.4 Sección Geoeléctrica D-D'.

La Sección geolétrica D-D' se localiza en la porción sur de la sub-cuenca Ímuris. Está integrada por 4 SEV's con una orientación E-W, y cubre una longitud de 0.7 km. La interpretación del perfil a partir de la gráfica obtenida de los datos de los SEV 1, 3, 4 y 6 se presenta en la figura 85.

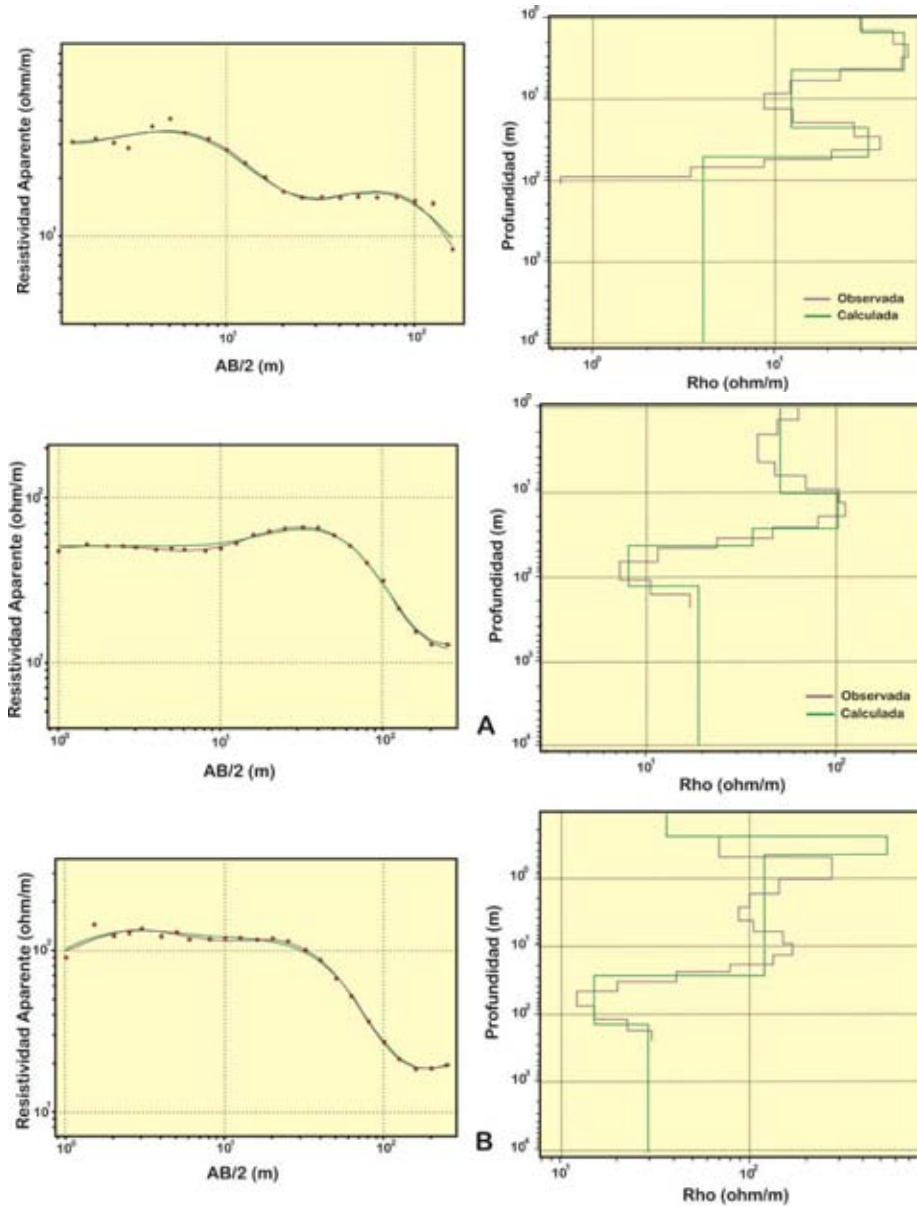
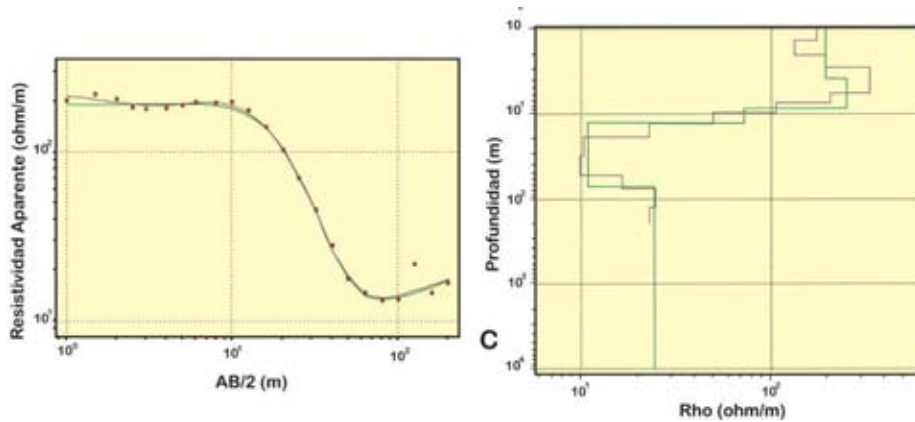


Figura 85 Perfil y modelo interpretado de los SEV's 1 (A), 3 (B), 4 (C) y 6 (D) que integran la Sección Geoeléctrica D-D'

Los modelos obtenidos para estos perfiles incluyen 5 capas. Las dos capas superficiales representan unidades limo-arenosas y arenosas, con resistividades entre 29.38 y 50.89 ohm/m para la primera, y entre 103.30 y 530.75 ohm/m para la segunda, siendo un poco más areno-gravosa hacia el SEV 6. La capa 3 se mantiene con características de limo-arenosa en los SEV's 3, 4 y 6; mientras que en el SEV 1 la capa se vuelve más conductora con una resistividad de 12.49 ohm/m. La capa 4 también presenta características conductoras, asociándose a unidades arcillosas y limosas, con valores

entre 8.16 y 14.94 ohm/m; salvo en el SEV 1 que incrementa un poco su resistividad a 32.39 ohm/m. Aun cuando la capa 5 se mantiene como una capa conductiva, con valores entre 19.17 y 29.02, en el SEV 1 se comporta como una capa netamente arcillosa con valores de resistividad hasta de 4.07 ohm/m.



Cont. Figura 85 Perfil y modelo interpretado de los SEV's 1 (A), 3 (B), 4 (C) y 6 (D) que integran la Sección Geoeléctrica D-D'

A partir del modelo de resistividades para esta sección (Figura 86), puede observarse cómo las capas conductoras limo-arcillosas incrementan su espesor y sus características conductoras hacia el este, llegando a presentar un espesor máximo en el SEV 1 de hasta 110 m.

Los resultados obtenidos a partir de la reinterpretación de estos SEV, arrojan información que permiten establecer dos puntos importantes para la cuenca Los Alisos:

- 1) Por un lado, las profundidades al basamento identificadas con los SEV (Perfil C-C') son muy similares a aquellas calculadas a partir del análisis y secciones del trabajo de gravimetría (Figura 65, Tabla 9); y,
- 2) por el otro, es muy claro cómo la presencia de una secuencia areno-arcillosa está bien identificada para la sub-cuenca Agua Zarca (sección A-A'), Cíbuta (sección B-B'), e Ímuris (D-D'), lo cual eventualmente puede corresponder a la sedimentación de los depocentros de las sub-cuencas; inclusive, para la sub-cuenca

Ímuris se muestra que los espesores de esta secuencia fina se incrementan de norte a sur y de oeste a este (secciones C-C' y D-D').

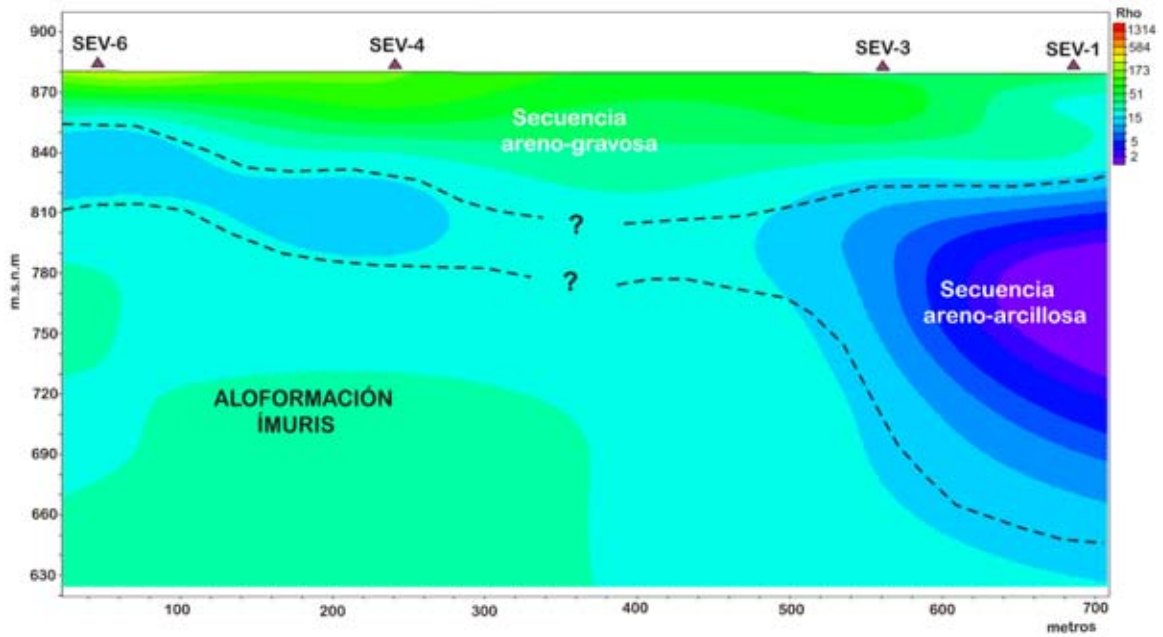


Figura 86 Modelo de resistividades de la Sección geoelectrica D-D'

## VII DISCUSIÓN

El enfoque aloestratigráfico basado en la presencia de discontinuidades que limitan un depósito sedimentario tiene una componente tectónica implícita, principalmente considerando que la oscilación del nivel base que desarrolla dichas discontinuidades dentro de una cuenca sedimentaria continental puede ser controlada, local o regionalmente, por una actividad de este tipo (Etchebehere et al., 2004). Si bien es cierto que existen otros agentes que pueden influir en este cambio (variaciones climáticas o en la dinámica fluvial), para la cuenca Los Alisos se considera que la hipótesis de un control tectónico puede ser la más conveniente. Con este enfoque, las discontinuidades definidas para la aloformación Ímuris, incluyendo la discontinuidad basal de la Formación Báucarit, pudieron haberse desarrollado de la siguiente manera (Figura 87):

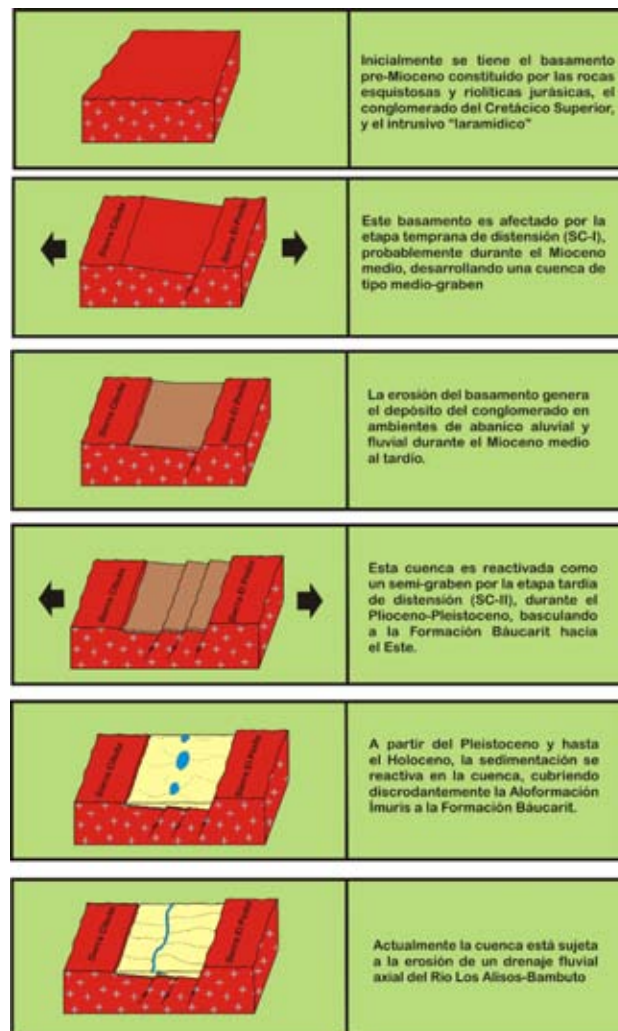


Figura 87 Evolución esquemática de la cuenca Los Alisos durante el Cenozoico tardío

- a) El inicio del relleno sedimentario de la Cuenca Los Alisos está marcado por el desarrollo de la cuenca de medio-graben como producto de la fase temprana de distensión terciaria en Sonora durante el Mioceno Tardío, en donde la secuencia conglomerático-arenosa de la Formación Báucarit se deposita sobre una discontinuidad (discordancia) que delimita su contacto con el basamento riolítico. Esta discontinuidad se generó a partir del proceso de erosión-depósito dentro la cuenca.
- b) La presencia de la segunda discontinuidad mayor dentro de la Cuenca Los Alisos se dio a partir de la reactivación de la distensión (fase tardía). Esta reactivación generó, por un lado, el basculamiento hacia el Este de las rocas de la Formación Báucarit; y por otro, la amplitud de la cuenca y el depósito discordante y de manera horizontal de los sedimentos de la aloformación Ímuris, tanto sobre la Báucarit como sobre las rocas del basamento.
- c) La discontinuidad interna en la aloformación Ímuris y que define la división entre los dos alomembros, se supone resultado de la caída del nivel base debido a una actividad extra-cuenca, probablemente relacionada a la apertura del Golfo de California, ya que se tiene documentado, principalmente en la porción de Baja California, que para el Pleistoceno (0.8 Ma) se dio un cambio considerable en el movimiento de las placas en el límite transformante del Golfo, generando una deformación transtensiva importante (Atwater y Stock, 1998; Umhoefer et al., 2002). Esto se reflejó en la Cuenca Los Alisos y se empieza a generar el drenaje axial del río Los Alisos, el cual se integra a la cuenca del río Concepción que desemboca en el Golfo de California. La presencia de los estratos de las gravas del alomembro superior y de carbonato de calcio en la matriz sugieren que el clima árido siguió dominando, por lo que no se dio un cambio climático importante.
- d) La actividad fluvial que se generó posteriormente dentro de la Cuenca Los Alisos durante un período nulo de actividad tectónica. Se propone este proceso como el responsable de originar la superficie de erosión actual, la cual representa la discontinuidad superior de la aloformación Ímuris.

En años recientes se tienen trabajos donde el análisis y las correlaciones aloestratigráficas permiten entender mejor las relaciones espaciales y temporales entre los componentes litológicos de unidades litoestratigráficas ya definidas, tal es el caso del Grupo Colorado del Cretácico en Alberta, Canada (Roca et al., 2004), y de sedimentos glaciares cuaternarios en Finlandia (Räsänen et al., 2009), donde el esquema

nomenclatural resulta muy reducido, comparado con un análisis litoestratigráfico de estas secuencias.

Para el caso de unidades litoestratigráficas ya definidas en cuencas generadas por distensión intraplaca, Connell (2008) y Connell et al. (2007) presentan en sus trabajos elementos aloestratigráficos (variabilidad litológica y discontinuidades) con los que fácilmente se puede desarrollar este tratamiento para el Grupo Santa Fe y los sedimentos sobreyacentes de la Cuenca de Albuquerque (Nuevo México, EEUU); sin embargo no lo hacen, y proponen un esquema de nomenclatura litoestratigráfica con una gran cantidad de unidades. Solo para los sedimentos fluviales del Pleistoceno definen un total de seis unidades litoestratigráficas formales, pero aunque éstas las presentan claramente en diferentes secciones transversales, en su mapa no lo hacen cartográficamente (Connell et al., 2007).

En este contexto, y al menos para aquellas cuencas continentales cenozoicas de esta región de México, el análisis aloestratigráfico puede ser aplicado al estudio más integral del relleno sedimentario de éstas, tomando en cuenta que en la mayoría se presenta una relación estratigráfica muy similar a la determinada para la cuenca Los Alisos. La discordancia definida entre la Formación Báucarit y las rocas del basamento, la discordancia angular entre esta unidad y sedimentos más recientes correlacionables con la Aloformación Ímuris, así como la discontinuidad superior marcada por la superficie de erosión actual, se identifican claramente en las columnas estratigráficas de trabajos cartográficos reportados en la cuenca de los grandes ríos de Sonora: Yaqui (De la O-Villanueva, 1993), Bavispe (Suter, 2008), Moctezuma (Paz-Moreno et al., 2003), Sonora (Minjarez-Sosa et al., 2005) y Bacanuchi (Lucas y González-León, 1996).

En este orden de ideas, algo que destacar a partir de la descripción litológica de la Formación Báucarit en diferentes localidades de Sonora, es la litología variable que presenta y su contacto discordante con unidades basales. Por ejemplo, Rodríguez-Castañeda (1988) en el área de Tuape (centro-norte de Sonora) reporta a esta formación constituida por areniscas, calizas, lutitas, conglomerados y basaltos, sobreyaciendo discordantemente a rocas volcánicas jurásicas; para el área de Tónichi-La Dura sobre el Río Yaqui, De la O-Villanueva (1993) concluye que la Formación Báucarit presenta una variedad litológica horizontal desde conglomerados hasta lutitas, con una distribución de las litofacies clásticas que determinan un ambiente de abanico aluvial; en Arivechi, en la porción centro-oriental de Sonora, Rivera-Cabrera (2006) describe a la Formación Báucarit como una unidad dominada por conglomerado e intercalaciones de basalto, la cual sobreyace discordantemente unidades cretácicas, y es cubierta discordantemente también por sedimentos más recientes.

Lo anterior sugiere, tal y como fue propuesto por De La O-Villanueva (1993), que se requiere de una reinterpretación desde la perspectiva aloestratigráfica de la Formación Báucarit, ya que es una unidad litoestratigráfica que claramente está limitada por discontinuidades a nivel regional y que eventualmente su litología es variable, esto seguramente permitirá entender mejor la evolución estratigráfica y sedimentológica del relleno sedimentario de las cuencas en la provincia extensional del *Basin and Range*, de tal forma que, junto con los sedimentos correlacionables con la Aloformación Ímuris, se proponga la definición de un alogrupo que caracterice la sedimentación dentro de estas cuencas.

A partir de los modelos conceptuales presentados por Gauthorpe y Leeder (2000) sobre la evolución tectono-sedimentaria de las cuencas en distensión, la Cuenca Los Alisos probablemente evolucionó estructuralmente a partir de un arreglo de tres fallas (Figura 88A) de dimensiones y desplazamientos pequeños, que poco a poco crecieron hasta integrarse en un sistema mejor desarrollado, empezando a generar los sistemas endorréicos de las sub-cuencas Agua Zarca y Cíbuta dentro de las depresiones formadas (Figura 88B). Este sistema estructural continua en crecimiento y llega a generar una gran falla con desplazamiento también mayor.

Esta secuencia de eventos da como resultado un medio graben, dentro del cual se establece la presencia de las 3 sub-cuencas independientes con sistemas de drenaje cerrado, incluyendo la sub-cuenca Ímuris al sur (Figura 88C). La evolución estructural se complementa con la evolución del relleno sedimentario, donde inicialmente la sedimentación la Aloformación Ímuris ocurrió principalmente a partir de un sistema de abanicos aluviales coalescentes que incluyen ambientes lacustres y fluviales en la porción del abanico medio y distante (Figura 89A), posteriormente, la cuenca se abre al drenaje axial del Río Los Alisos, desarrollando sistemas fluviales y de abanicos aluviales dentro de la misma (Figura 89B).

Varios autores mencionan que la provincia extensional del *Basin and Range* en EEUU presenta un adelgazamiento cortical heterogéneo en función del modelo bajo el cual se lleva a cabo la distensión (Coward, 1986; Malavieille y Tobaoda, 1991; Sullivan y Law, 2007), proponiendo que tanto el modelo de cizallamiento puro (*pure shear*) como el de cizallamiento simple (*simple shear*) están actuando dentro de esta provincia; para el caso de la porción sonoreNSE, no se tienen estudios a detalle que determinen si el comportamiento es similar.



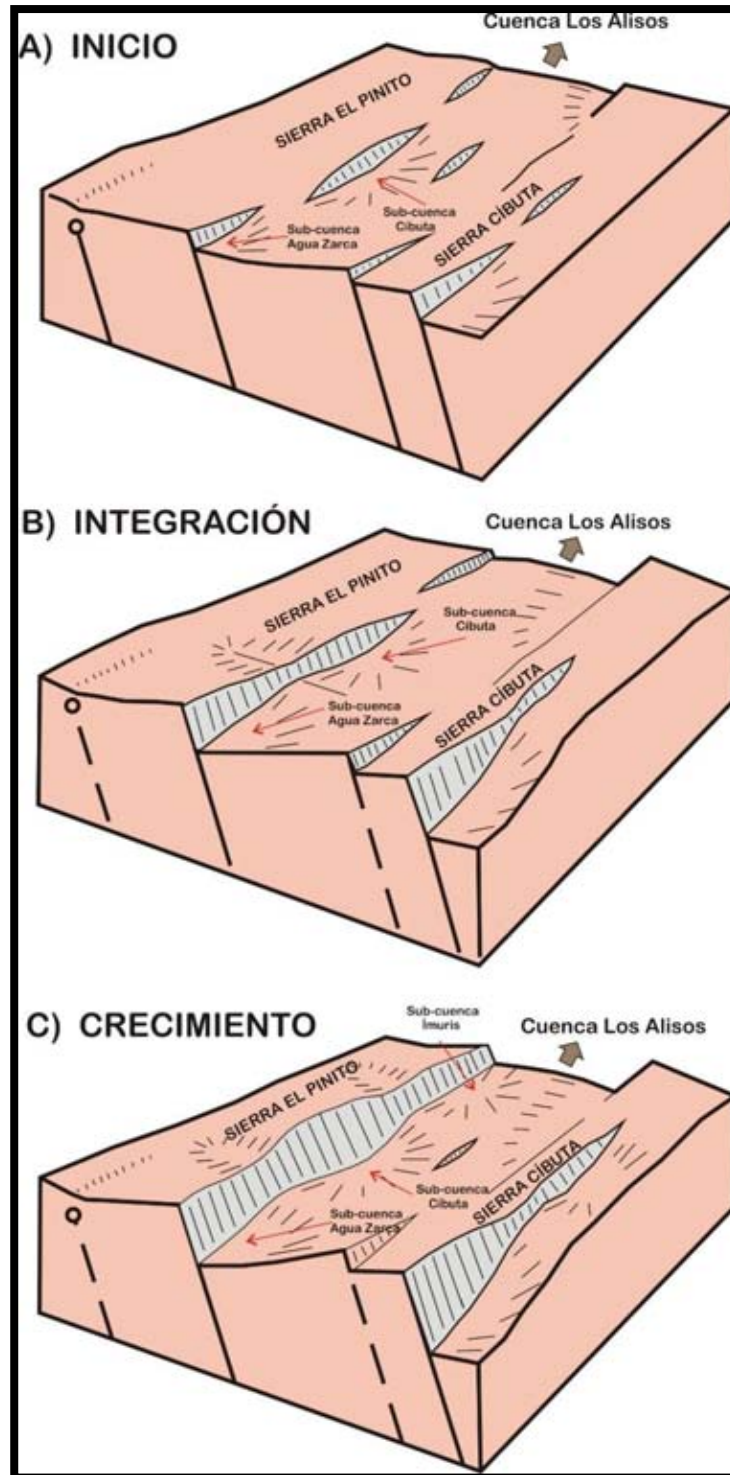


Figura 88 Evolución estructural de la Cuenca Los Alisos a partir de una serie de fallas individuales que se integran y crecen hasta formar una cuenca de medio-graben. Modificada de Gauthorpe y Leeder (2000).

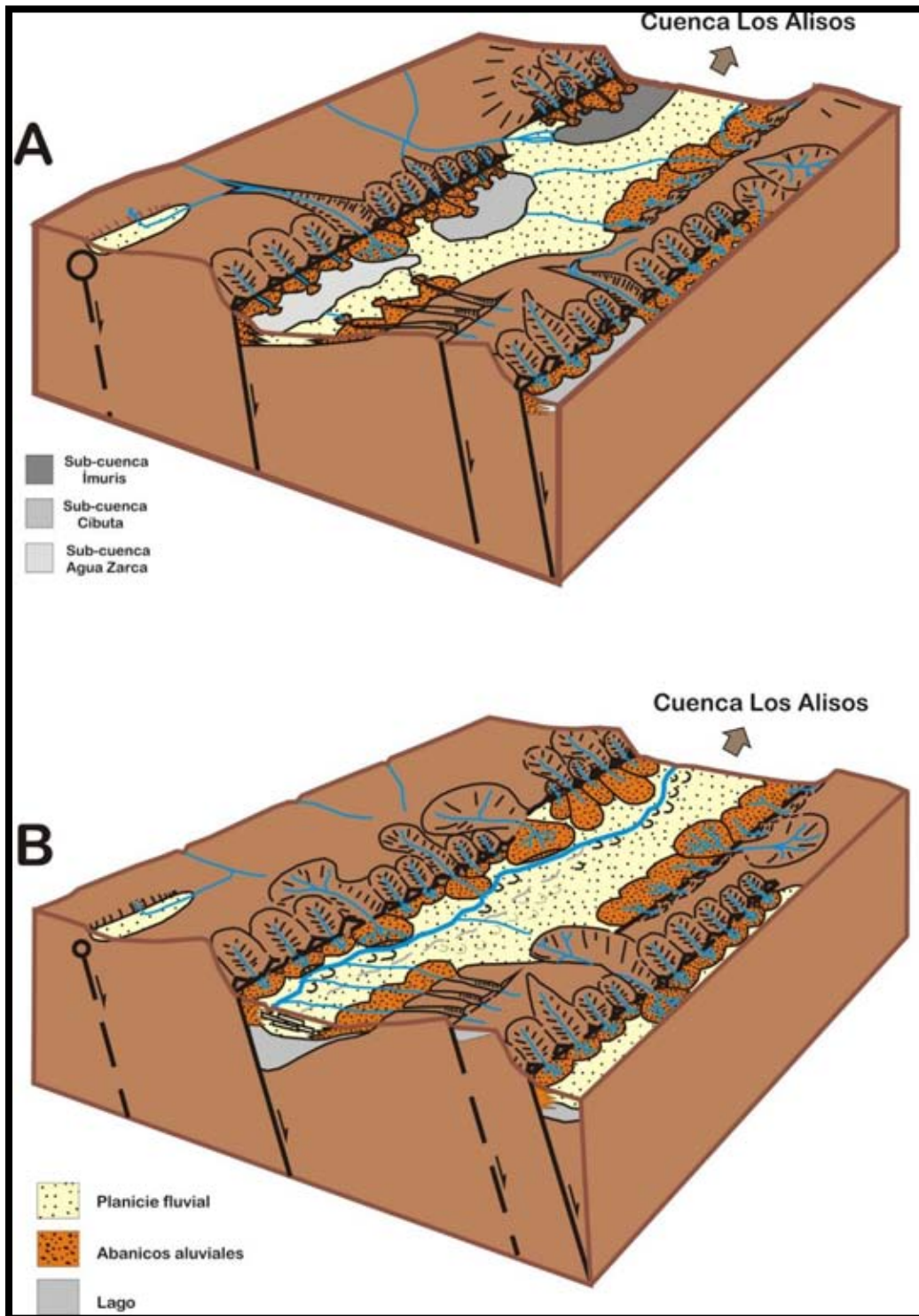


Figura 89 Evolución sedimentaria de la Cuenca Los Alisos con el desarrollo de ambientes de abanico aluvial, fluvial y lacustre. Modificada de Gauthorpe y Leeder (2000).

La Cuenca los Alisos forma parte de una serie de cuencas continuas y escalonadas generadas por la distensión terciaria en la frontera norte de Sonora, dentro de las cuales se desarrollan los sistemas fluviales axiales de los ríos San Bernardino, Agua Prieta, San Pedro, Cuitaca y Cocóspera. Cada una de estas cuencas está limitada en su porción oriental por fallas normales (Figura 26) y, tal como se concluye en este trabajo para la cuenca Los Alisos, estructuralmente pudieran corresponder cada una de éstas a cuencas de medio graben. Esta distribución de cuencas sugiere que el mecanismo de distensión que prevaleció es una estructura en dominó y, con la eventual presencia de una falla de detachment a profundidad, se apoyaría la hipótesis de que el modelo de cizallamiento simple (*simple shear*) de Wernicke (1985) es el que opera para este evento distensivo en la región (Figura 90). Es claro que se requiere de estudios geofísicos de mayor alcance para poder comprobar el comportamiento lístrico de estas grandes fallas a profundidad, y con ello soportar con mayor certidumbre esta hipótesis.

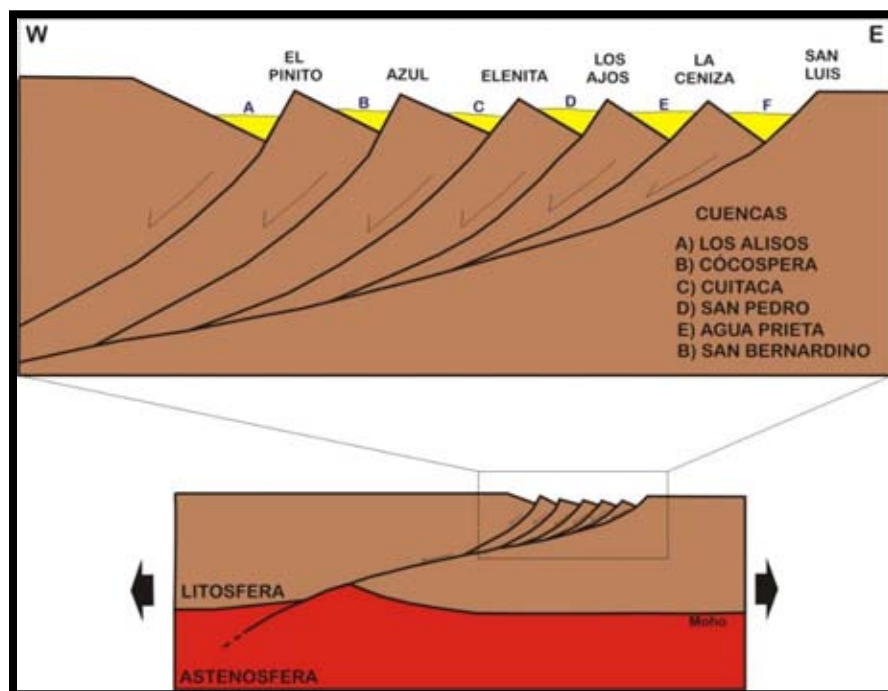


Figura 90 Distribución esquemática de las cuencas continentales cenozoicas en el norte - noreste de Sonora, mostrando a profundidad la presencia de una posible falla de detachment

Las cuencas intermontanas en Sonora soportan gran parte de la actividad humana en el estado (comercial, industrial, agrícola, ganadera, etc.) ya que en éstas se explotan importantes acuíferos granulares dentro del relleno sedimentario. En virtud de la sequía prolongada que prevalece en esta región y a la explotación intensiva de estos acuíferos,

en los últimos 10 años se han desarrollado una serie de estudios hidrogeológicos con el fin de establecer las condiciones en las que se encuentran dichos acuíferos, concluyendo obviamente, que la mayoría de éstos se encuentran sobreexplotados (Figura 91).

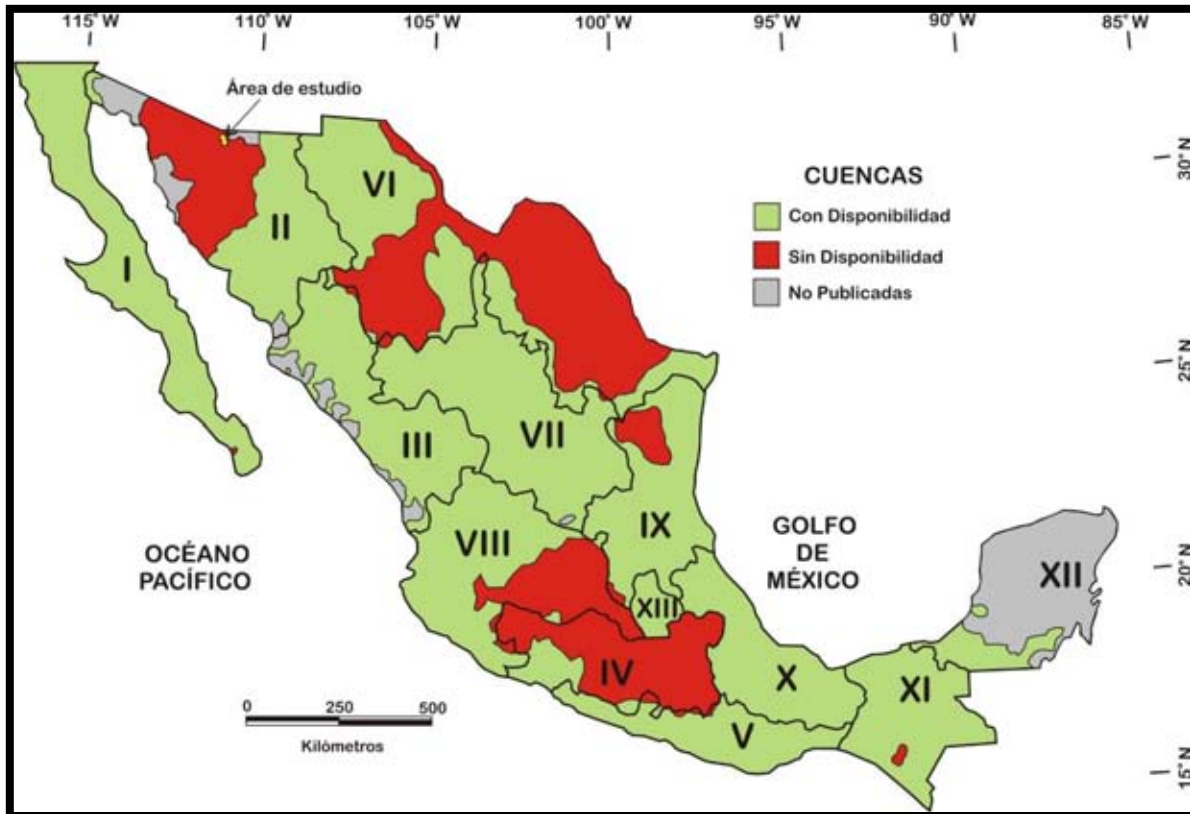


Figura 91 Distribución de disponibilidad de agua subterránea de las diferentes cuencas hidrológicas de México. Modificada de CONAGUA (2009)

Trabajos recientes en varias de los acuíferos, incluyendo el acuífero HAFYUU Los Alisos que se tiene dentro del área de este trabajo (Varias referencias del congreso nacional de aguas subterráneas, 2009), establecen a partir de estudios eléctricos (SEV) y electromagnéticos (TEM) que el aporte mayor de agua subterránea es a partir de acuíferos granulares libres con el desarrollo de pozos relativamente poco profundos (<100 metros). Para el caso de la Cuenca Los Alisos, los sedimentos areno-gravosos del abanico medio y distante son los contenedores de dichos acuíferos. En estos mismos trabajos se identifica la presencia de zonas arcillosas potentes en el subsuelo, desarrolladas principalmente en aquellas zonas de mayor profundidad de las cuencas estudiadas. Si asumimos que dichas cuencas tienen una evolución muy similar a la propuesta en este trabajo para la Cuenca Los Alisos, estudios hidrogeológicos futuros

dentro de éstas deberían de incluir un modelo geológico conceptual donde estas zonas de material fino reflejan el depósito dentro de sub-cuencas. Esto último, si bien reduce los espesores de la zona acuífera, permitiría tener resultados con mayor certidumbre en cuanto a la cantidad de agua subterránea contenida, y eventualmente puede ser una guía para la localización de pozos profundos para la exploración de acuíferos confinados o semi-confinados.

## VIII CONCLUSIONES

La cuenca Los Alisos en Sonora centro-septentrional tiene una orientación NNW-SSE, con el límite oriental dominado por una falla normal de ángulo alto de actitud  $178^\circ$  SW  $75^\circ$ . Esta cuenca es producto de la distensión terciaria intraplaca que afecta esta porción de México desde el Mioceno. El basamento de la cuenca está representado por secuencias ígneo-metamórficas y sedimentarias mesozoicas que son intrusinadas por cuerpos batolíticos del Terciario; mientras que el relleno sedimentario lo constituyen la Formación Báucarit y depósitos no-consolidados más jóvenes.

Se utiliza un esquema de clasificación alostratigráfica para describir el relleno sedimentario más joven de la cuenca, toda vez que: a) la variación de las características físicas y texturales (tanto lateral como vertical) de los sedimentos que lo constituyen, y su clara relación genética, así lo permite; y b) sus límites son discontinuidades localizadas a lo largo de toda la cuenca en estudio. Con base en la descripción litológica de 33 secciones medidas a lo largo de la Cuenca Los Alisos, se describe una secuencia detrítica a la cual se le asigna el nombre informal de Aloformación Ímuris, la cual presenta un espesor máximo de 660 metros, interpretados a partir del modelado gravimétrico, incluyendo 112 metros en afloramientos superficiales y su continuidad en el subsuelo.

La Aloformación Ímuris se divide en dos alomiembros: el alomiembro inferior está constituido por gravas desde guijas hasta guijarros principalmente subangulosos a subredondeados, mal a moderadamente clasificadas y con textura sostenida e incluida, con estratificación gradual normal e inversa, estratificación cruzada e imbricación de clastos. Son gravas desde oligomicticas de riolita hasta polimicticas con granito, riolita, andesita, conglomerado y esquisto. Dentro de este alomiembro también se encuentran arenas líticas a subarcosas de grano medio a grueso y de color pardo medio a pardo rojizo, que presentan estratificación cruzada, laminaciones paralelas y nódulos de calcita, así como lodos laminares con nódulos de calcita y minerales evaporíticos (yeso). El alomiembro superior es más monótono litológicamente ya que está constituido por gravas de gránulos a guijas subredondeadas, con textura sostenida dominante y una clasificación moderada.

Las discontinuidades que delimitan esta alounidad están marcadas por discordancias basales (angulares y erosionales) con la Formación Báucarit y el resto del basamento; una superficie de erosión interna que marca el límite entre los dos alomiembros; y la superficie de erosión actual. A partir de correlaciones con otras secuencias similares dentro de cuencas cenozoicas en Arizona y Sonora, se propone una edad del Plio-Pleistoceno para esta aloformación.

Se propone un esquema de 8 litofacies sedimentarias: gravas masivas con textura incluida (Gmm), gravas estratificadas con textura sostenida (Gh), gravas con estratificación cruzada (Gp), arenas estratificadas (Sh), arenas lenticulares (Sl), limos arenosos (Fl), limos (F), y sedimentos carbonatados (P). Estas litofacies y sus asociaciones descritas en este trabajo, determinan que la sedimentación de la aloformación Ímuris se llevó a cabo dentro de sistemas de depósito de abanico aluvial dominados por flujos de detritos. a) la asociación de litofacies Gmm1, Gmm2 y Gh, caracteriza el abanico próximo con depósitos dominados por la acción de la gravedad (flujos de detritos, avalanchas, caídos de rocas), donde además, la asociación Gh y Sl determina la transición entre el abanico próximo y el abanico medio; b) la asociación de las litofacies Gp, Sh1, Sh2, Sl y P1 identifican el abanico medio con depósitos asociados a corrientes canalizadas, de desborde y en planicies de inundación; y c) la asociación de litofacies Fl, Sh2, F y P2, marcan las zonas del abanico distante donde predominan los depósitos de planicies de inundación de la asociación Fl+P2 y el desarrollo de una sedimentación lacustre local con el desarrollo de la litofacies F.

El análisis e interpretación de la información gravimétrica, que incluye el modelado de un total de 13 perfiles a partir de 210 estaciones gravimétricas dentro de la Cuenca Los Alisos, permite establecer que esta cuenca corresponde a una geometría de medio-graben, con la parte activa hacia el Este y el desarrollo de una serie de fallas normales escalonadas que afectan el basamento de la misma. En este mismo análisis se presentan elementos para definir que la Cuenca Los Alisos en el subsuelo está conformada por 3 sub-cuencas orientadas también NNW-SSE: sub-cuenca Agua Zarca al Norte, sub-cuenca Cíbuta en la parte central, y sub-cuenca Ímuris al Sur. Los espesores de la Aloformación Ímuris interpretados del análisis gravimétrico muestran que estas sub-cuencas presentan una tendencia a ser más someras hacia el sur, ya que en la sub-cuenca Agua Zarca alcanza los 660 m de espesor; mientras que en la sub-cuenca Ímuris es del orden de los 400 m. La aplicación del filtro de continuidad 3000 m hacia arriba a los datos de anomalía de Bouguer confirma esta geometría de medio-graben a profundidad.

La reinterpretación de 12 SEV y el modelado de 4 secciones geoelectricas permitieron establecer que la profundidad al conglomerado de la Formación Báucarit y al propio basamento de la cuenca, es congruente con aquella interpretada con el modelado gravimétrico. Así mismo, estas secciones permiten ubicar en el subsuelo la presencia de sedimentos limo-arcillosos dentro de las tres sub-cuencas, los cuales se interpretan como depósitos lacustres que conforman a la Aloformación Ímuris y determinan que la cuenca Los Alisos presentó inicialmente un drenaje endorreico importante.

Se propone que la cuenca Los Alisos se desarrolló inicialmente como una cuenca de medio-graben, producto de la fase temprana de distensión continental terciaria durante el Mioceno Medio a Tardío, con sistemas fluviales y de abanico aluvial dominando el depósito dentro de ésta (Formación Báucarit). Para el Plio- Pleistoceno y como producto de la fase tardía de esta distensión, la cuenca Los Alisos es reactivada a partir de un arreglo fallas de dimensiones y desplazamientos pequeños que evolucionan estructuralmente hasta formar una falla mayor, generándose ambientes de abanico aluvial y lacustre en el abanico distante dentro de las sub-cuencas identificadas en este trabajo. La discordancia angular entre la Formación Báucarit y los sedimentos horizontales de la Aloformación Ímuris es el producto estratigráfico de esta reactivación tectónica.



## IX REFERENCIAS

- Anderson, T.H., and Silver, L.T., 1977**, *U-Pb Isotope ages of granitic plutons near Cananea, Sonora*: Economic Geology, V.72, p. 827-836.
- Arizona Department of Water Resources, 1990**, *Santa Cruz County water issues report, Tucson active management area* (Inédito), 45 p.
- Atwater, T., y Stock, J., 1988**, *Pacific-North America Plate Tectonics of the Neogene Southwestern United States: An Update*: Int. Geol. Review, V.40, p. 375-402
- Autin, W.J., 1992**, *Use of alloformations for definition of Holocene meander belts in the middle Amite river, southeastern Louisiana*: Geological Society of America Bull., V.104, p. 233-241
- Baldyga, C.A., 2001**, *Relationship of faults in basin sediments to the gravity and magnetic expression of their underlying fault systems*: U.S.G.S. Open File Report 01-502, 113 pp.
- Bayona, G., y Lawton, T.F., 2003**, *Fault-proximal stratigraphy record of episodic extensión and oblique inversión, Biebee basin, southwestern New Mexico, USA*: Basin Research, V. 15, No.2, p. 251-270
- Bell, J.W., Garside, L.J., y House, P.K., 2005**, *Geologic map of the Wadsworth quadrangle, Washoe County, Nevada*: Nevada Bureau of Mines and Geology, mapa.
- Camacho, A.G., Montesinos, F.G. y Vieira, R. 1996**, *Detección gravimétrica de anomalías del subsuelo en una zona urbana afectada por hundimientos*: Física de la Tierra, Servicio de Publicaciones UCM, Madrid, España, No. 8, p. 91-115.
- Carranza, C.O. y Roldán, Q.J., 2007**. *Mastofauna de la cuenca de Moctezuma, Cenozoico tardío de Sonora, México*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, V. 24, No. 1, p. 81-88
- Carreón-Pallares, J.N., 2002**, *Structure and tectonic history of the Milpillas Porphyry Copper District, Sonora, Mexico*: Tesis Maestría, Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Utah, 72 p.
- Caselli, A.T. y Limarino, C.O., 2002**, *Sedimentología y evolución paleoambiental de la Formación Patquía (Pérmico) en el extremo sur de la sierra de Maz y cerro Bola, provincia de La Rioja, Argentina*: Revista de la Asociación Geológica Argentina, V.57, No.4, p. 415-436.
- CONAGUA, 2009**, *Atlas del agua en México 2009*: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (editor), México, D.F., 122 p.
- Connell, S.D., Hawley, J.W., y Love, D.W., 2005**, *Late Cenozoic Drainaje Development in the southeastern Basin and Range of New Mexico, Southeasternmost Arizona and Western Texas*, en Lucas, S.G., Morgan, G.S. y Seigler, G.E. (eds.), New

Mexico's Ice Ages: New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin No. 28, p. 125-150.

**Connel, S.D., 2008**, *Refinements to the stratigraphic nomenclature of the Santa Fe Group, northwestern Albuquerque basin, New Mexico*: New Mexico Geology, V. 90, No.1, p. 14-35.

**Connell, S.D., Love, D.W. y Dunbar, N.W., 2007**, Geomorphology and stratigraphy of inset fluvial deposits along the Rio Grande valley in the central Albuquerque Basin, new Mexico: New Mexico Geology, V.29, No. 1, p. 13-31.

**Coward, M.P., 1986**, Heterogeneous stretching, simple shear and basin development: Earth and Planetary Science Letters, V.80, No. 3-4, p. 325-336.

**DeCelles, P.G., Knapp, P., Ding, L., y Gehrels, G.E., 2007**, *Late Cretaceous to middle Tertiary basin evolution in the central Tibetan Plateau: Changing environments in response to tectonic partitioning, aridification, and regional elevation gain*: Geol. Soc. Am. Bull. V.119, No.5, p. 654-680.

**De La O-Villanueva, M., 1993**, *Sedimentología y petrografía de la Formación Báucarit (Mioceno) en la cuenca de Tonichi-La Dura, Sonora, México*. Tesis Maestría, Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N.L., 64 p.

**Devender, R.T., Rea, M.A., y Smith, L.M., 1985**, *The Sangamon interglacial vertebrate fauna from Rancho La Brisca, Sonora, Mexico*: Transactions of the San Diego Society of Natural History, V. 21, p. 90-93

**Dickinson, W.R., 2002**, The Basin and Range Province as a Composite Extensional Domain: International Geology Review, V. 44, p. 1-38.

**Dumble, E.T., 1900**, *Notes on the geology of Sonora, Mexico*: Transactions of the Society of Mining Engineers of American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, V.29, p. 122-152.

**Durazo-Fimbres, A. y Herrera-Urbina, C.R., 1990**, *Informe del estudio geofísico de resistividad efectuado en la comunidad de Ímuris, Sonora*: Subdirección de Perforación de Pozos, D.G.I.U., Gob. Edo. Sonora (Inédito), 35 p.

**Etchebehere, M.L., Saad, A.R., Fulfaro, V.J, y Perinotto, J.A., 2004**, *Detection of neotectonic deformations along the Rio do Peixe Valley, western Sao Paulo State, Brazil, based on the distribution of late Quaternary allounits*: Revista Brasileira de Geomorfología, Año 6, No. 1, p. 109-114.

**Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., y Bryan, S., 2005**, *Magmatismo y Tectónica en la Sierra Madre Occidental y su Relación con la Evolución de la Margen Occidental de Norteamérica*: Bol. Soc. Geol. Mex., Tomo LVII, N. 3, p. 343-378.

**Finzel, E.S. y McCarthy, P.J., 2005**, *Architectural analysis of fluvial conglomerate in the Nanushuk Formation, Brooks Range Foothills, Alaska*: Dep. Nat. Res. Alaske, Preliminary Interpretative Report 2005-2, 18 p.

- García-Abdeslem, J. y Martín-Atienza, B., 2001.** A method to compute terrain corrections for gravimeter stations using a digital elevation model: *Geophysics*, V.39, No. 2, p. 1110-1115.
- Gawthorpe, R.L. y Leeder, M.R., 2000,** Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins: *Basin Research*, V.12, p. 195-218.
- Gettings, M.E., 2002,** *An interpretation of the 1996 aeromagnetic data for the Santa Cruz basin, Tumacacori Mountains, Santa Rita Mountains, and Patagonia Mountains, south-central Arizona:* USGS Open-File Report 02-99, 44 p.
- Gettings, M.E., y Houser, B.B., 2000,** *Depth to bedrock in the Upper San Pedro Valley, Cochise County, southeastern Arizona:* USGS Open File Report 00-138, 39 p.
- Gilmont, N.L., 1979,** *Geology of Puerto La Bandera area, Sonora, Mexico* (Tesis Maestría): Flagstaff, Northern Arizona University, 114 p.
- Gómez-Villar, A., 1996,** *Abanicos aluviales: aportación teórica a sus aspectos más significativos:* *Cuaternario y Geomorfología*, V.10, No. 3-4, p. 77-12.
- Goncalvez, W.J., 2006,** Inversión gravimétrica 3-D de la sub-cuenca de Maturin: Tesis Licenciatura, Ingeniería Geofísica, Universidad Simón Bolívar, Venezuela, 234 p.
- Grijalva-Noriega, F.J., 1995,** El Alto Cananea: un elemento paleogeográfico del Jurásico Tardío: *Bol. Depto. Geol. UNISON*, Vol. 12, No. 2, p. 1-16
- Grijalva-Noriega, F.J., 1996,** *Evidencias de una edad Cretácico Tardío para la Formación Cocóspera, Sonora septentrional:* XXII Semana Cultural del Departamento de Geología UNISON, libro de resúmenes, p. 33.
- Grijalva-Noriega, F.J., 2002,** *Evolución de la Tectónica Distensiva Cenozoica en Sonora:* *Bol. Depto. Geol. UNISON*, Vol. 15-17, p. 63-84
- Grijalva-Noriega F.J. y Roldán-Quintana, J., 1998,** *An overview of the Cenozoic tectonic and magmatic evolution of northern Sonora, northwestern Mexico:* *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, V.15, No.2, p. 145-156
- Herrera-Urbina, S.; Ortega-Rivera, A.; Farrar, E., y Cocheme, J., 1995,** *Some apparent  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages for metamorphic rocks in north central Sonora, Mexico and their interpretation:* *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, v. 12, p. 85-100.
- Herrero, A., Alonso Gavilán, G., y Colmenero, J.R., 2004,** *Estratigrafía del subsuelo en el sector noroeste de la cuenca del Duero (Provincia de León):* *Revista de la Sociedad Geológica de España*, V. 17, No. 3 y 4, p. 199-216
- Houser, B.B., Pearthree, P.A., Homburg, J.A y Thrasher, L., 2004,** *Quaternary stratigraphy and tectonics, and the Late Prehistoric agriculture of the Safford basin (Gila and San Simon river valleys), Graham County, Arizona:* USGS Open File Report 2004-1062, 53 p.

- Houser, B.B., Peters, L., Esser, R.P., y Gettings, M.E., 2004,** *Stratigraphy and tectonic history of the Tucson basin, Pima County, Arizona, based on the Exxon State (32)-1 well*: USGS Scientific Investigations Report 2004-5076, 42 p.
- Jacobi, W. y Smilde, P., 2009,** *Gravity interpretation: Fundamentals and Application of Gravity Inversion and Geological Interpretation*: Springer-Verlag, Berlin, 395 p.
- King, R.E., 1939,** *Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico*: Geological Society of America Bulletin, V.50, p. 1625-1722
- Langenheim, V.E., y Wirt, L., 2005,** *Preliminary geophysical framework of the upper and middle Verde River watershed, Yavapai County, Arizona*: USGS Open-File Report 2005-1154, 43 p.
- Lawton, T., González-León, C.M., Amato, J.M., Gehrels, G.E., Heizler, M., Iriondo, A., Leggett, W.J., Mauel, D.J., and Peryam, T.C., 2008,** *Contrasting Tectonic Regimes Recorded by Sedimentary Basins Associated with Jurassic and Cretaceous Arc Systems, Sonora, México*: Primer Congreso sobre la Evolución Geológica y Ecológica del Noroeste de México, Hermosillo, Sonora, México, Libro de Resúmenes, p. 105-106
- Lucas, S., y González-León, C., 1996,** *The Arizpe Mammoth, Pleistocene of Sonora, Mexico – Taxonomic re-evaluation*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, V.13, No.1, p. 90-93.
- Lindsey, D.A, Langer, W.H., y van Gose, B.S., 2007,** *Using pebble lithology and roundness to interpret gravel provenance in piedmont fluvial system of the Rocky Mountains, USA*: Sedimentary Geology, No. 199, p. 223-232.
- Lowrie, W., 1997,** *Fundamentals of Geophysics*: Institute of Geophysics, Swiss Federal Institute of Technology. Zürich, Switzerland, 67 p.
- Lucas, S.G., y González-León, C.M., 1996,** *The Arizpe mammoth, Pleistocene of Sonora, México – Taxonomic re-evaluation*: Revista Mexicana Ciencias Geológicas, V.13, No. 1, p. 90-934
- Mack, H.H., y Leeder, M.R., 1999,** *Climatic and tectonic controls on alluvial-fan and axial-fluvial sedimentation in the Plio-Pleistocene Palomas half graben, southern Rio Grande Rift*: Journal of Sedimentary Research, V.69, No.3, p. 635-652.
- Malavieille, J. y Tobaoda, A., 1991,** *Kinematic model for postorogenic Basin and Range extension*: Geology, V.19, No. 6, p. 555-558.
- Menges, C.M., y Pearthree, P.H., 1989,** *Late Cenozoic tectonism in Arizona and its impact on regional landscape evolution*, en Jenney, J.P., y Reynolds, S.J. (eds.), *Geologic evolution of Arizona*: Ariz. Geol. Soc. Digest 17, p. 649-680.
- Miall, A.D., 1996,** *The Geology of fluvial deposits: Sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*: Springer-Berlag Berlin Heidelberg New York, 582 p.

- Minjarez- Sosa, J.I., Rangel-Medina, M., y 7 autores más, 2005, *Actualización del estudio geohidrológico de las subcuencas de los ríos Sonora, Zanjón, San Miguel, Mesa del Seri – La Victoria y cuenca Bacoachito*: CEA-UNISON, informe técnico, 1200 p.**
- Montaño-Jiménez, T., Espinoza-Contreras, J., Calmus, T., y Huerta, L.C., 1993, *Estructura del Valle San Bernardino, noreste de Sonora, México, a partir de mediciones gravimétricas*: III Simposio de la Geología de Sonora y áreas adyacentes, Hermosillo, Sonora, Libro de Resúmenes, p. 95-98.**
- Morgan, G.S. y White, R.S. Jr., 2005, *Miocene and Pliocene vertebrates from Arizona*, en Heckert, A.B. y Lucas, S.G (eds.), *Vertebrate Paleontology in Arizona: New Mexico* Museum of Natural History and Science Bulletin, No. 29, p. 115-136.**
- Murphy, M.A., y Salvador, A., 1999, *International Stratigraphic Guide – An abridged version*: Episodes, V. 22, No. 4, p. 255-271.**
- Nelson, K. y Erwin, G., 2001, Santa Cruz Active Management Area, 1997-2001 Hydrologic Monitoring Report: Arizona Department of Water Resources Hydrology Division Report. 44 p.**
- North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 2005, *North American Stratigraphic Code*: AAPG Bulletin, V.89, No. 11, p. 1547-1591.**
- Nourse, J.A., Anderson, T., y Silver, L.T., 1994, *Tertiary metamorphic core complex in Sonora, northwestern Mexico*: Tectonics, V.13, No.5, p. 1161-1182**
- Paz-Moreno, F., Demant, A., Cochemé, J.J., Dostal, J., Montigny, R., 2003, *The Quaternary Moctezuma volcanic field: A tholeitic to alkali basaltic episode in the central Sonoran Basin and Range Province, Mexico*, en Johnson, S.E., Paterson, S.R., Fletcher, J.M., Girty, G.H., Kimbrough, D.L., Martín-Barajas, A. (eds.), *Tectonic Evolution of northwestern Mexico and the southwestern United States*: Geological Society of America Special Paper 374, p. 439- 455.**
- Pearthree, P.A., Bull, W.B., y Wallace, T.C., 1990, *Geomorphology and Quaternary Geology of the Pitaycachi fault, northeastern Sonora, México*: Ariz. Geol. Survey, Spec. Paper 7, p.**
- Prothero, D.R., 2001, *Sedimentary Geology: An Introduction to Sedimentary Rocks and Stratigraphy* (4ta Impresión): W.H. Freeman and Co., New York, 575 p.**
- Räsänen, M.E., Auri, J.M., Huitti, J.V., Klap, A.K., y Virtasalo, J.J., 2009, *A shift from lithostratigraphic to allostratigraphic classification of Quaternary glacial deposits*: GSA TODAY, V. 19, No.2, p. 4-11**
- Riggs, N.R., y Haxel, G.B., 1990, *The Early to Middle Jurassic magmatic arc in southern Arizona – plutons to sand dunes*, en Gehrels, G.E. y Spencer, J.E (eds.), *Geologic excursions through the Sonoran Desert region, Arizona and Sonora*: Ariz. Geol. Survey, Special Paper 7, p. 90-103.**

- Rivera-Cabrera, J.H., 2006**, *Estudio de la Procedencia de las Areniscas Mesozoicas de la Región del Cerro De Las Conchas, en Arivechi, Sonora*. Tesis Maestría. Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 125 p.
- Robinson, E.S. y Coruh, C., 1988**, *Basic Exploration Geophysics*: Jhon Wiley & Sons, Virginia Polytechnic Institute and State University, 562 p.
- Roca, X., Rylaarsdam, J.R., Zhang, H., Varban, B., Sisulak, Ch.L., Bastedo, K., y Plint, A.G., 2004**, *An allostratigraphic correlation of Lower Colorado Group (Albian) and equivalent strata in Alberta and British Columbia, and Cenomanian rocks of the Upper Colorado Group in southern Alberta*: Bull. Can. Petrol. Geol. V.56, No.4, p. 259-299.
- Roldán-Quintana, J., 1979**, *Geología y Yacimientos minerales del Distrito Minera San Felipe, Sonora*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, V.3, p. 97-115.
- Rodríguez-Castañeda, J.L., 1988**, *Estratigrafía de la Región de Tuape, Sonora*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, V.7, No.1. p. 52-66.
- Rodríguez-Torres, R., Montijo-González, A., Grijalva-Noriega, F.J., y Minjarez-Sosa, J.I., 2000**, *Unidades aloestratigráficas de la Costa de Hermosillo, Sonora (Mioceno-Holoceno)*: GEOS (Resúmenes de la Reunión Anual 2000 de la Unión Geofísica Mexicana), V.20, No. 3, p. 154.
- Rueda-Gaxiola, J.E., López-Ocampo, M.A., Dueñas, J.L., Rodríguez y Torres-Rivero, A., 1999**, *The palynological method: basis for defining stratigraphy and age of the Los San Pedros Allogroup, Huizachal-Peregrina anticlinorium, México, en Bartolini, C., Wilson, J y Lawton, T. (eds.), Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico*: Geological Society of America Special paper 340, p. 229-269.
- Schlische, R.W. y Olsen, P.E., 1990**, *Quantitative filling model for continental extensional basins with applications to Early Mesozoic rifts of eastern North America*: Journal of Geology, V.98, p. 135-155.
- Schlische, R.W. y Anders, M.H., 1996**, *Stratigraphic effects and tectonic implications of the growth of normal fault and extensional basins*, in Beratan, K.K. (ed), *Reconstructing the history of Basin and Range extension using sedimentology and stratigraphy*: Geol. Soc. Am. Special Paper 303, p. 183-203.
- Simons, F.S. 1974**, *Geologic map and sections of the Nogales and Lochiel quadrangles, Santa Cruz County, Arizona*: U.S. Geological Survey Miscellaneous Investigations Series, Map I-762.
- Simpson, R.W., Jachens, R.C., Blakely, R.J., and Saltus, R.W., 1986**, *A new isostatic residual gravity map of the conterminous United States with a discussion on the significance of isostatic residual anomalies*: Journal of Geophysical Research, v. 91, no. B8, p. 8348-8372

- Sinha, R., Gibling, M.R., Tandon, S.K., Jain, V., and Dasgupta, A.S., 2005**, *Quaternary stratigraphy and sedimentology of the Korea section on the Betwa River, southern Gangetic Plains*, Uttar Pradesh: Journal of the Geological Society of India, v. 65, p. 441–450.
- Slate, J.L., Smith, G.A., Waung, Y., y Cerling, T.E., 1996**, *Carbonate-paleosol genesis in the Plio-Pleistocene St. David Formation, southeastern Arizona*: Jour. Sediment. Res., v.66, no.1, p. 85-94-.
- Smith, G.A., 1994**, *Climatic influences on continental sedimentation during late-stage filling of an extensional basin, southeastern Arizona*: Geol. Soc. Am. Bull., No. 106, p. 1212-1228.
- Smith, R.P., Wisian, K.W., y Blackwell, D.D., 2001**, *Geologic and geophysical evidence for intra-basin and footwall faulting at Dixie Valley, Nevada*: Geoth. Res. Coun. Trans. V.25, p. 26-29
- Sosa-León, P., 2000**, *Tectónica Distensiva Terciaria, Yacimientos y Teledetección En La Hoja La Dura, Sonora Central*: Tesis Maestría, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora. 105 p.
- Spearing, D.R., 1974**, *Summary sheets of sedimentary deposits, Mc-8, Sheet 1*: Geol. Soc. Am.
- Stewart, J.H., y Roldán-Quintana, J., 1994**, *Map showing late Cenozoic extensional tilt patterns and associated structures in Sonora and adjacent areas, México*: U.S.G.S. miscellaneous field studies, map MF-2238.
- Straffin, E.C., Blum, M.D., Colls, A., and Stokes, S., 1999**, *Alluvial stratigraphy of the Loire and Arroux Rivers (Burgundy, France)*: Quaternaire, v. 10, p. 271–282.
- Stanistreet, I. G. y McCarthy, T. S., 1993**, *The Okavango Fan and the classification of subaerial fan system*: Sedimentary Geology, v. 8, p. 115-133.
- Sullivan, W.A. y Law, R.D., 2007**, *Deformation path partitioning within the transpressional White Mountain shear zone, California and Nevada*: Journal of Structural Geology, V.29, p. 583-598
- Suter, M., 2008**, *Structural configuration of the Teras fault (southern Basin and Range Province) and its rupture in the 3 May 1887 Mw 7.5 Sonora, México earthquake*: Rev. Mex. Cienc. Geol., V.25, No. 1, p. 179-195
- Suter, M., Contreras, J., 2002**, *Active tectonics of northeastern Sonora, Mexico (southern Basin and Range Province) and the 3 May 1887 MW = 7.4 earthquake*: Bulletin of the Seismological Society of America, V. 92, p. 581-589.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. y Keys, D.A., 1984**, *Applied Geophysics*: Cambridge University Press: 860 pp.
- Thompson, G.A., Catchings, R., Goodwin, E., Holbrook, S., Jarchow, C., Mann, C., McCarthy, J., y Okaya, D., 1989**, *Geophysics of western Basin and Range*

*Province*, en Pkiser, L.C., y Mooney, W.D. (eds.), *Geophysical framework of the Continental United States*: Boulder, Colorado, Geol. Soc. Am. Memoir 172, p. 177-203.

**Unhoefer, P., Mayer, L., y Dorsey, R., 2002**, *Evolution of the Margin of the Gulf of California Near Loreto, Baja California Peninsula, Mexico*: Geol. Soc. Am. Bull., V. 114, No.7, p. 849-868

**Wernicke, B., 1985**, Uniform sense-normal simple shear of the continental lithosphere: Canadian Journal of earth Sciences, V.22, No. 1, p. 108-125

**Withjack, M.A., Schlische, R.W y Olsen, P.E., 2002**, *Rift-basin structure and its influence on sedimentary systems*: Sedimentation in continental Rift, SEMP Special Publication No. 73, p. 57-81

**Wong, M.S y Gans, P., 2003**, *Tectonics implications of Early Miocene extensional unroofing of the Sierra Mazatan metamorphic core complex, Sonora, Mexico*: Geology, V.31, p. 953-956



# **ANEXO I (DATOS GRAVIMÉTRICOS)**

**DATOS GRAVIMÉTRICOS DE LA CUENCA LOS ALISOS**

ESTACIÓN	E-W (UTM)	N-S (UTM)	ALTITUD (m.s.n.m.)	ANOMALÍA RESIDUAL
1	514499	3407635	846.108	-2.37596332
2	514834	3409124	858.364	2.34991517
3	515471	3410075	872.419	3.76433736
4	515553	3411376	879.653	1.49007533
5	515490	3412886	889.892	1.6870314
6	515381	3414161	895.724	-1.80178218
7	514869	3415422	905.609	-2.20055136
8	514481	3416615	916.167	-1.54050367
9	513887	3418037	931.625	-1.9081973
10	513390	3419447	939.781	-2.19899826
11	513701	3421044	948.225	-0.81692665
12	514039	3422585	963.356	-0.42681518
13	513879	3424560	978.934	-0.43066446
14	512784	3404892	825.001	1.05838951
15	511777	3404278	832.320	1.17674729
16	510856	3405076	842.771	3.69325273
17	511583	3406526	857.760	4.08547372
18	510936	3409262	864.994	5.69227729
19	510700	3410189	873.230	5.2689655
20	514249	3410725	877.279	-0.01152472
21	512862	3411592	920.157	0.70313027
22	512293	3412261	938.666	2.2177529
23	511836	3411309	938.409	4.28285446
24	511692	3410137	930.606	2.09552452
25	511894	3408675	917.670	1.65362718
26	512189	3405455	850.673	1.19284068
27	514444	3411952	879.074	0.11395425
28	513887	3413186	909.395	0.30052751
29	513829	3413653	915.001	0.50185679
30	513745	3416167	909.953	-1.83136813
31	512352	3416215	1001.523	3.59367774
32	510870	3416985	1071.335	8.49665003
33	509358	3417333	1122.850	3.20228989
34	508059	3418044	1149.544	5.80787906
35	506317	3418707	1177.000	-0.46358698
35	505809	3419648	1184.893	-2.89965538
37	504137	3419648	1038.705	3.3664139
38	503207	3420895	1073.290	-0.86012816
39	506790	3419849	1089.882	-0.78504725
40	508078	3419424	1049.501	1.38920898
41	505489	3418658	1072.622	2.87211519
42	513317	3417553	923.349	-0.25570261

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO**

43	512728	3419606	935.020	-0.3037208
44	512727	3420817	961.213	-1.53243078
45	511801	3421951	983.755	-1.25538473
46	510417	3422762	1114.293	3.26898405
47	507467	3422464	1226.059	0.73864367
48	506959	3421755	1273.756	3.83526264
49	509898	3421558	1100.883	-2.08583826
50	509117	3420697	1107.738	-0.23926157
51	510121	3420089	1110.860	-0.08125958
52	511212	3420076	981.571	2.12503654
53	510642	3403023	817.179	0.98957677
54	509637	3404367	883.115	6.18409541
55	508898	3405525	873.815	5.06345365
56	508044	3406916	884.083	5.74706436
57	507037	3407904	916.948	4.03981471
58	507966	3404944	915.824	3.35530686
59	506946	3403631	888.640	4.91162
60	505738	3402924	919.069	5.84902933
61	504811	3403097	980.720	6.56079582
62	510624	3406340	859.832	4.16073508
63	510375	3408026	881.587	6.1998793
64	509936	3409440	897.028	4.83265571
65	509426	3402352	809.053	2.93063422
66	505707	3408770	981.753	6.24141655
67	504921	3409112	997.559	5.31498103
68	513809	3403861	839.777	5.20228205
69	515637	3404009	857.859	1.45356132
70	517086	3403138	898.758	-1.72594098
71	518536	3402071	924.190	-1.72936935
72	519957	3402719	972.011	-0.53420085
73	521121	3403366	1111.482	-1.52844207
74	522452	3402868	1208.089	5.72942638
75	516905	3404438	866.821	-0.11770877
76	518528	3405062	866.652	-0.40179354
77	520013	3406311	872.351	-3.23844946
78	521514	3406937	879.980	-0.98213288
79	522390	3408063	889.138	1.12909164
80	520490	3407399	877.561	-2.73500856
81	518712	3407118	886.957	-4.28156931
82	516872	3407078	886.473	-1.77044214
83	515809	3406730	876.269	-1.57368166
84	516975	3408167	901.579	-3.2347094
85	517939	3409875	942.599	-2.69822078
86	520016	3411001	969.849	0.39670601
87	521450	3411651	1050.651	6.52574664
88	523333	3412503	1173.927	5.20527944

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO**

<b>89</b>	516766	3410175	895.031	-1.82486358
<b>90</b>	517087	3412231	904.411	-1.61677953
<b>91</b>	518513	3412856	943.761	-2.24422132
<b>92</b>	518709	3412106	954.037	-3.23068026
<b>93</b>	516955	3414093	925.754	-2.38794978
<b>94</b>	517915	3414836	962.735	-1.47768935
<b>95</b>	516504	3415182	950.947	-5.81702353
<b>96</b>	516750	3416086	973.425	-5.22472274
<b>97</b>	515390	3417793	949.887	-0.17604145
<b>98</b>	516434	3418462	1000.630	-1.7283643
<b>99</b>	517619	3418814	1060.259	0.47717197
<b>100</b>	515069	3424643	1109.997	-2.33526614
<b>101</b>	516587	3425384	1089.447	-2.92028844
<b>102</b>	517185	3425959	1128.840	-1.01007475
<b>103</b>	519625	3426736	1221.074	6.60962063
<b>104</b>	516943	3424317	1213.613	-4.32621663
<b>105</b>	518476	3424356	1312.903	0.4508255
<b>106</b>	514754	3427438	1089.959	-5.2208743
<b>107</b>	515699	3428742	1192.265	-3.01508319
<b>108</b>	516428	3430098	1271.419	3.55821099
<b>109</b>	517872	3430630	1355.707	4.89922213
<b>110</b>	514927	3427120	1071.118	-4.34870291
<b>111</b>	512528	3429924	1068.768	-6.26011652
<b>112</b>	512634	3429254	1031.332	-1.94877745
<b>113</b>	513707	3429568	1100.126	-5.8399932
<b>114</b>	513647	3431110	1111.369	-3.68501973
<b>115</b>	512390	3430823	1073.227	-5.76959443
<b>116</b>	511564	3431582	1062.005	-5.93431068
<b>117</b>	512801	3431416	1118.117	-5.53555513
<b>118</b>	511558	3432272	1071.301	-6.2706906
<b>119</b>	511623	3433168	1097.792	-7.3567328
<b>120</b>	512496	3433998	1177.518	0.45039215
<b>121</b>	513811	3434961	1234.295	1.86194995
<b>122</b>	514444	3435492	1272.583	7.0254892
<b>123</b>	511155	3436440	1101.954	-4.47337042
<b>124</b>	512394	3437177	1210.736	-1.51853577
<b>125</b>	513815	3437841	1299.001	2.47596956
<b>126</b>	514717	3438252	1313.991	6.25698056
<b>127</b>	512050	3437633	1112.828	0.8233243
<b>128</b>	513685	3438453	1181.858	5.25801685
<b>129</b>	506153	3446600	1187.104	-4.00047716
<b>130</b>	507361	3447386	1236.903	1.81566515
<b>131</b>	508539	3447183	1294.364	3.27377382
<b>132</b>	509931	3446993	1229.534	8.45087127
<b>133</b>	507071	3445093	1148.124	0.13719584
<b>134</b>	508248	3446137	1245.523	5.21487725

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO**

<b>136</b>	499905	3448776	1031.619	-0.61815495
<b>137</b>	498451	3448109	1083.585	-1.54266076
<b>138</b>	497024	3448005	1155.258	1.65160657
<b>139</b>	495746	3448075	1076.664	-2.29855145
<b>140</b>	495439	3447076	1301.805	-2.03385899
<b>141</b>	497565	3447533	1159.636	-0.2596946
<b>142</b>	499905	3448776	1131.499	-0.4800515
<b>143</b>	498451	3448109	1203.019	-0.87055277
<b>144</b>	497024	3448005	1039.124	-7.83141634
<b>145</b>	495746	3448075	1064.973	-1.76202352
<b>146</b>	495439	3447076	1074.208	-4.45273382
<b>147</b>	497565	3447533	1180.108	1.95205695
<b>148</b>	499905	3448776	1309.298	2.50881617
<b>149</b>	498451	3448109	1120.822	-3.86607609
<b>150</b>	497024	3448005	1177.544	-3.83463624
<b>151</b>	495746	3448075	1005.907	-2.93487751
<b>152</b>	495439	3447076	1041.714	-2.53716526
<b>153</b>	497565	3447533	1011.224	-3.79951585
<b>154</b>	499905	3448776	1070.810	-5.64583114
<b>155</b>	498451	3448109	1056.283	-4.96226261
<b>156</b>	497024	3448005	1034.329	-4.21610734
<b>157</b>	495746	3448075	1025.117	-4.61089858
<b>158</b>	495439	3447076	1091.466	-2.96744019
<b>159</b>	497565	3447533	1092.712	-5.8379738
<b>160</b>	499905	3448776	1078.326	-5.25404143
<b>161</b>	498451	3448109	1110.455	2.03171459
<b>162</b>	497024	3448005	1137.531	2.79394561
<b>163</b>	495746	3448075	1140.699	2.25005015
<b>164</b>	495439	3447076	1152.387	0.8815674
<b>165</b>	497565	3447533	1161.394	1.71978588
<b>166</b>	499905	3448776	1177.771	1.65678383
<b>167</b>	498451	3448109	1184.656	-0.46105207
<b>168</b>	497024	3448005	1194.423	-1.84544365
<b>188</b>	499905	3448776	1208.943	-8.23424082
<b>189</b>	498451	3448109	1234.743	-0.64998675
<b>190</b>	497024	3448005	1261.198	-2.25161483
<b>191</b>	495746	3448075	1276.825	-2.60716908
<b>192</b>	495439	3447076	1329.944	1.85474669
<b>193</b>	497565	3447533	1341.130	-5.51452938
<b>240</b>	504271	3444139	1210.748	-3.40419733
<b>241</b>	503612	3443515	1210.328	-5.96885313
<b>242</b>	502750	3443126	1198.442	-7.67861601
<b>243</b>	501924	3442852	1186.697	-8.22864203
<b>247</b>	504271	3444139	1166.956	-4.69064179
<b>248</b>	503612	3443515	1231.074	-1.35843314
<b>249</b>	502750	3443126	1199.911	-3.03801518

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE),  
NORTE DE SONORA, MÉXICO**

<b>250</b>	501924	3442852	1234.441	1.06637038
<b>251</b>	506994	3447325	1237.326	1.18552843
<b>252</b>	505644	3445975	1165.941	-4.62479567
<b>253</b>	507677	3445297	1198.694	-0.58818293
<b>254</b>	506524	3444221	1134.803	-3.56508681
<b>255</b>	515093	3406070	866.280	-0.56856632
<b>256</b>	516705	3407592	889.525	-3.05469425
<b>257</b>	519248	3410489	948.761	-2.27381953
<b>258</b>	514529	3407815	851.364	-1.05603443
<b>259</b>	513249	3404713	845.454	1.21213191
<b>260</b>	513660	3407947	860.118	-0.95937337
<b>261</b>	505451	3434061	1419.991	1.85099519
<b>262</b>	506288	3434305	1281.887	0.64619125
<b>263</b>	507200	3434487	1216.902	-2.93551492
<b>264</b>	508113	3434251	1148.942	-2.11245622
<b>265</b>	509093	3433853	1075.457	-5.09528904
<b>266</b>	509130	3434887	1077.740	-4.89493572
<b>267</b>	508098	3434760	1118.060	-5.43759124
<b>269</b>	519867	3420386	1298.085	2.0710453
<b>270</b>	518873	3420495	1253.908	-0.61722737
<b>271</b>	517196	3420258	1149.390	-2.41256412
<b>272</b>	515899	3419380	1024.289	-3.93545137
<b>273</b>	514594	3419631	991.227	-3.94816691

# **ANEXO II**

## **(SECCIONES GRAVIMÉTRICAS COMPLEMENTARIAS)**

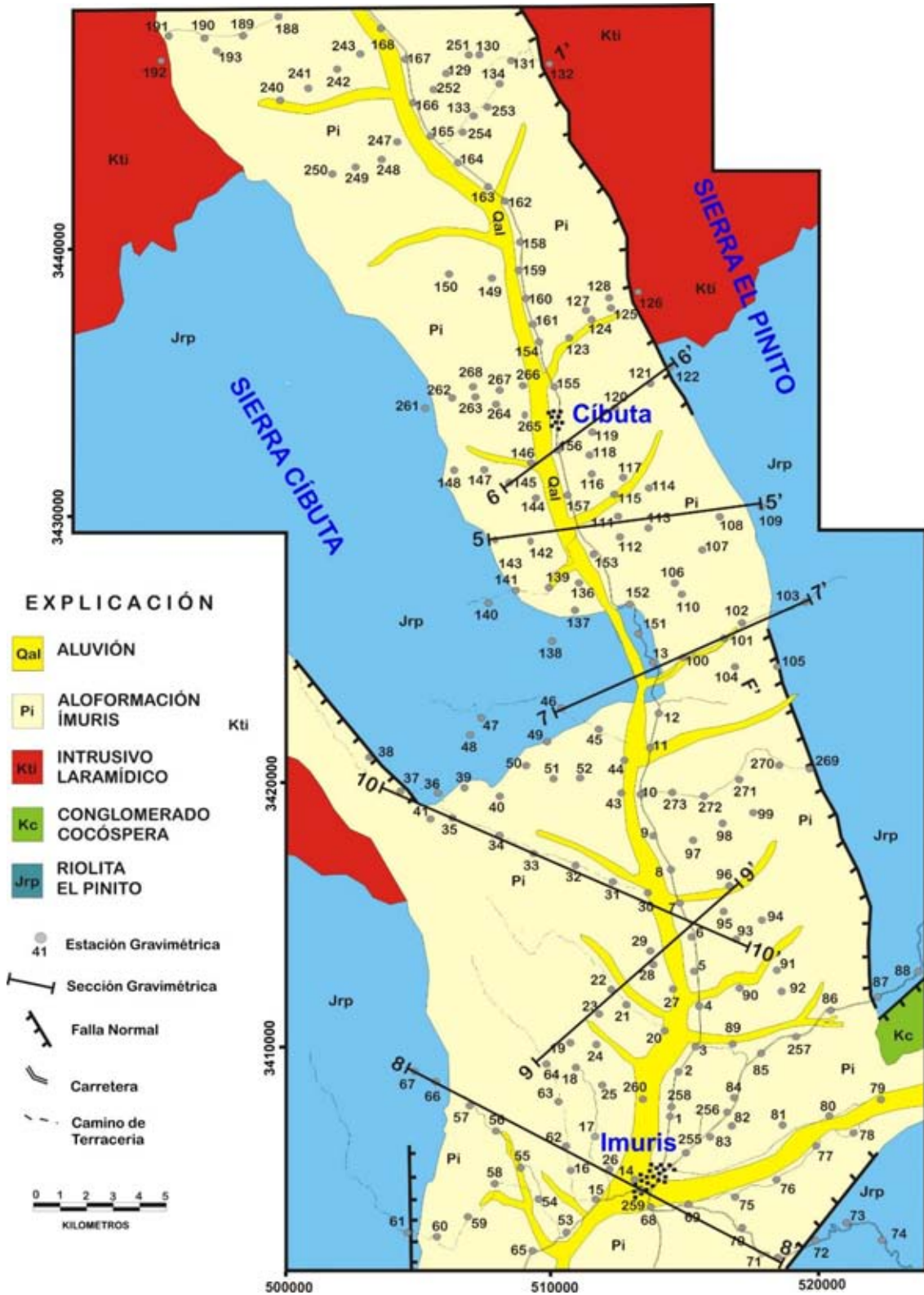


Fig. III.1 Localización de secciones gravimétricas complementarias en la cuenca Los Alisos.



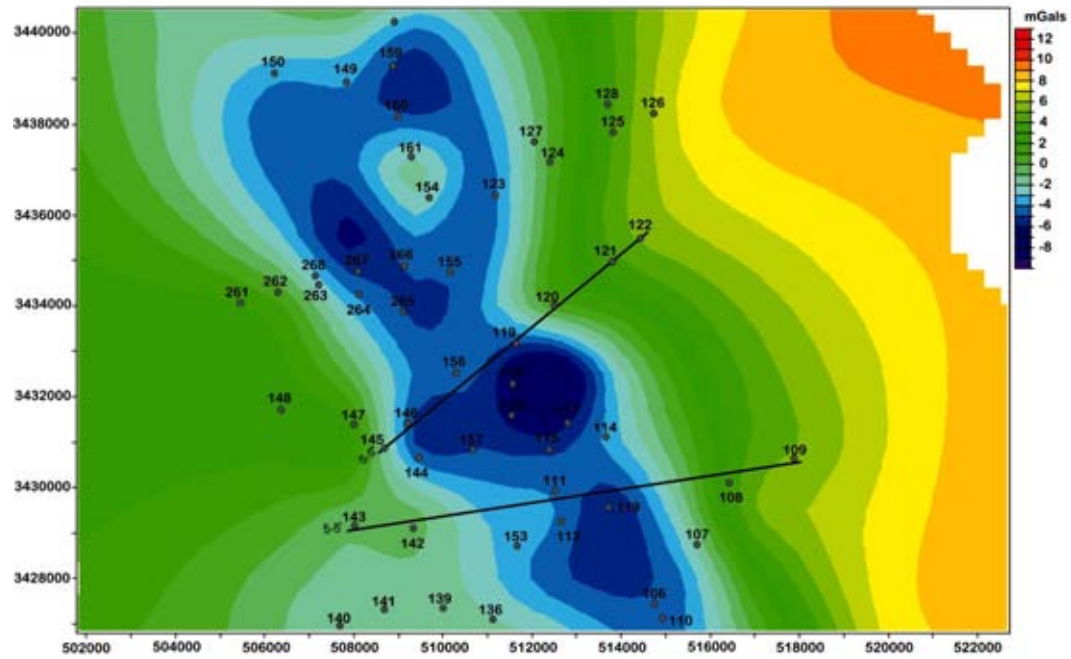


Fig. III.2 Localización de secciones gravimétricas 5-5' y 6-6' en plano de anomalía residual de la cuenca Los Alisos

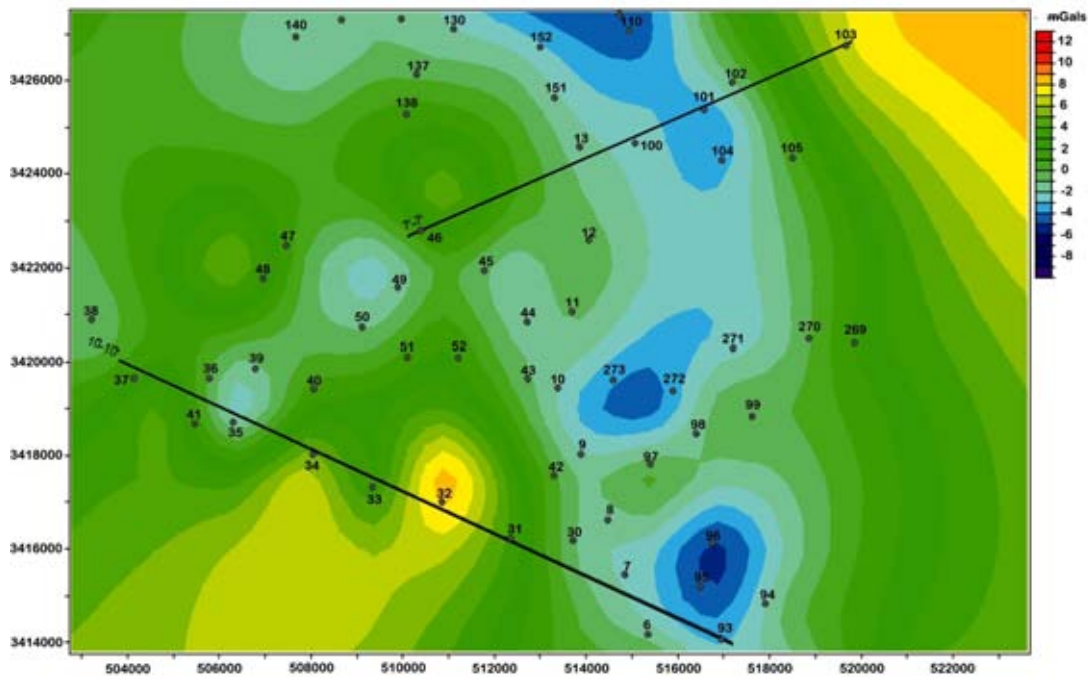


Fig. III.3 Localización de secciones gravimétricas 7-7' y 10-10' en plano de anomalía residual de la cuenca Los Alisos

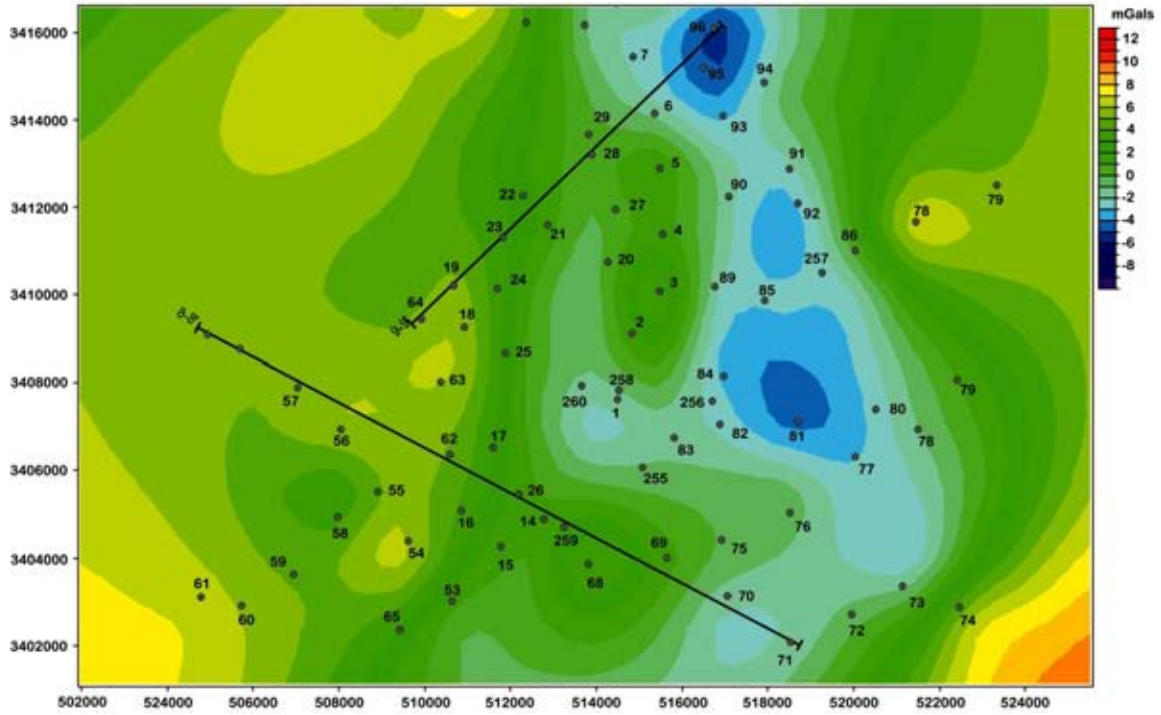


Fig. III.4 Localización de secciones gravimétricas 8-8'' y 9-9' en plano de anomalía residual de la cuenca Los Alisos

### PERFIL 5-5'

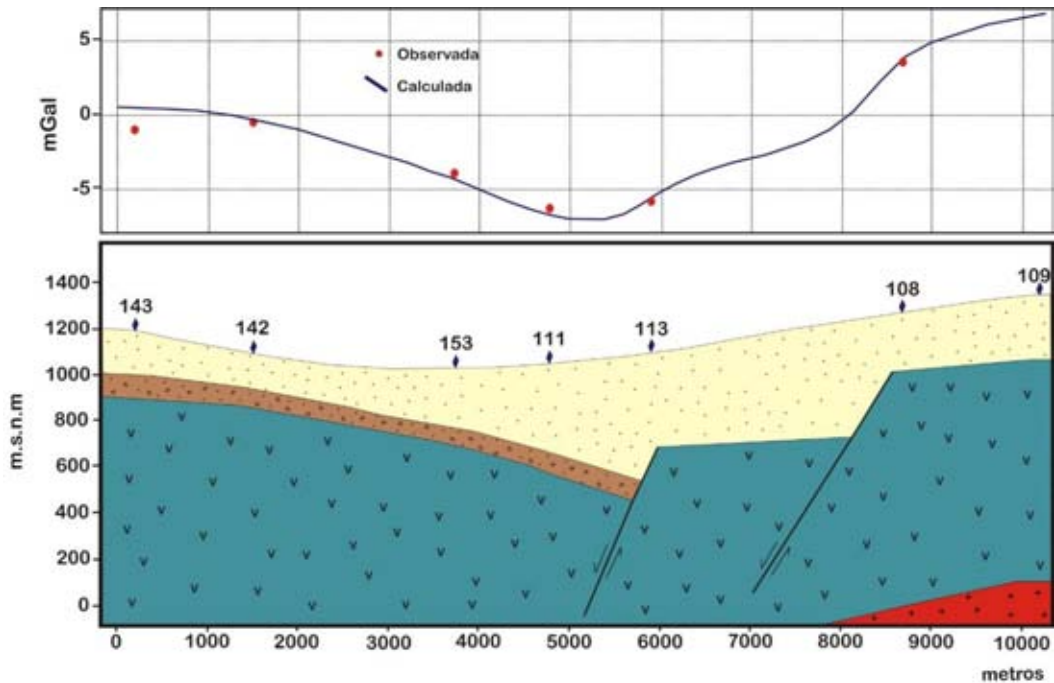


Fig. III.5 Perfil gravimétrico 5-5' en la cuenca Los Alisos. Simbología en figura 64

ESTACIÓN	ELEVACIÓN SUPERFICIAL	ELEVACIÓN AL BASAMENTO	ESPESOR DEL RELLENO SEDIMENTARIO
143	1189.34	901.57	287.77
142	1097.85	859.99	237.86
153	1029.65	698.64	331.01
111	1056.26	580.54	475.72
113	1096.19	652.07	444.12
108	1280.82	1019.67	261.15
109	1351.39	1019.67	331.72

Tabla III.1 Espesor del relleno sedimentario en el perfil 5-5' en la cuenca Los Alisos.

### PERFIL 6-6'

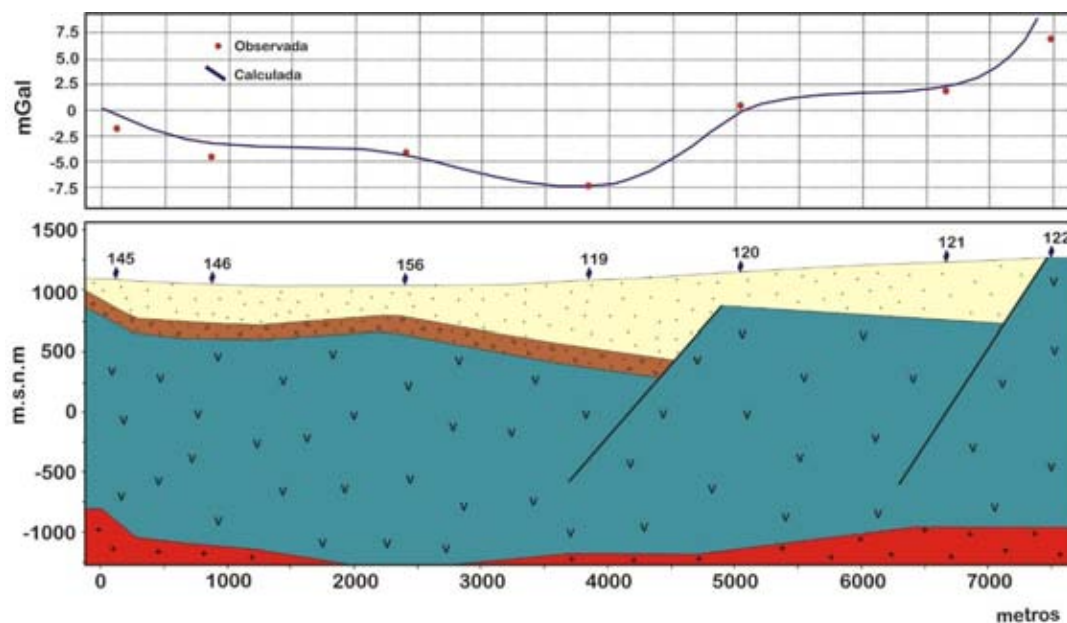


Fig. III.6 Perfil gravimétrico 6-6' en la cuenca Los Alisos. Simbología en figura 64

ESTACIÓN	ELEVACIÓN SUPERFICIAL	ELEVACIÓN AL BASAMENTO	ESPESOR DEL RELLENO SEDIMENTARIO
145	1095.46	743.16	352.30
146	1064.38	613.64	450.74
156	1046.24	652.49	393.75
119	1090.28	375.32	714.96
120	1160.22	872.68	287.54
121	1245.71	763.88	481.83
122	1284.11	RIOLITA	

Tabla III.2 Espesor del relleno sedimentario en el perfil 6-6' en la cuenca Los Alisos.

### PERFIL 7-7'

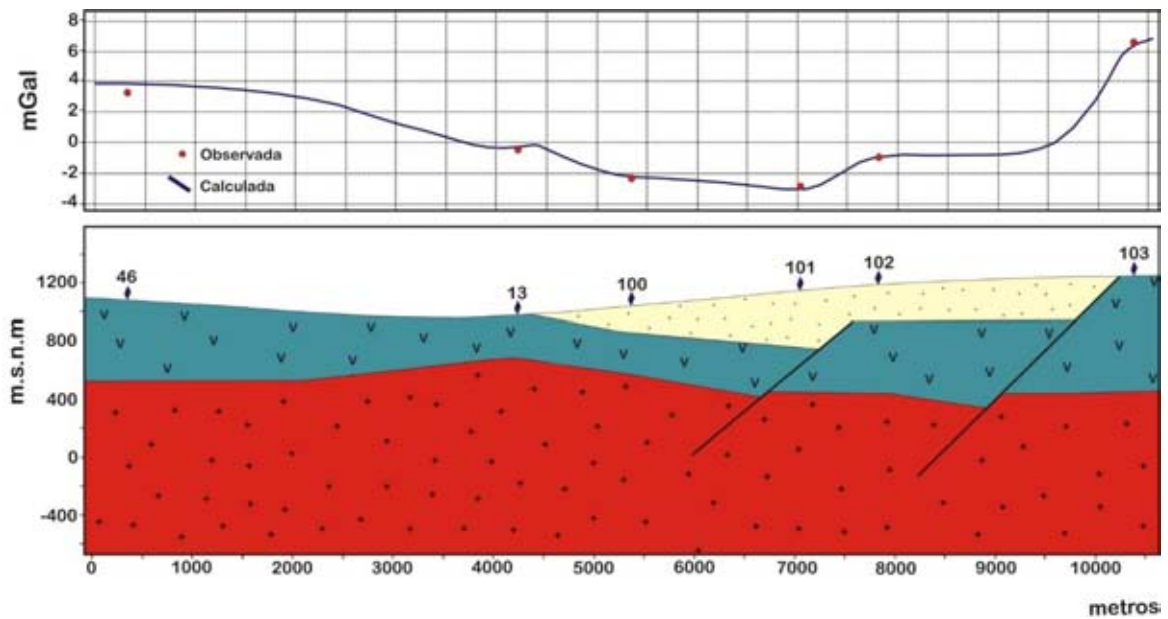


Fig. III.7 Perfil gravimétrico 7-7' en la cuenca Los Alisos. Simbología en figura 64

ESTACIÓN	ELEVACIÓN SUPERFICIAL	ELEVACIÓN AL BASAMENTO	ESPESOR DEL RELLENO SEDIMENTARIO
46	1090.25	RIOLITA	
13	984.64	RIOLITA	
100	1045.81	862.28	183.53
101	1151.48	773.30	378.18
102	1193.19	942.93	250.26
103	1257.15	RIOLITA	

Tabla III.3 Espesor del relleno sedimentario en el perfil 7-7' en la cuenca Los Alisos.

**PERFIL 8-8'**

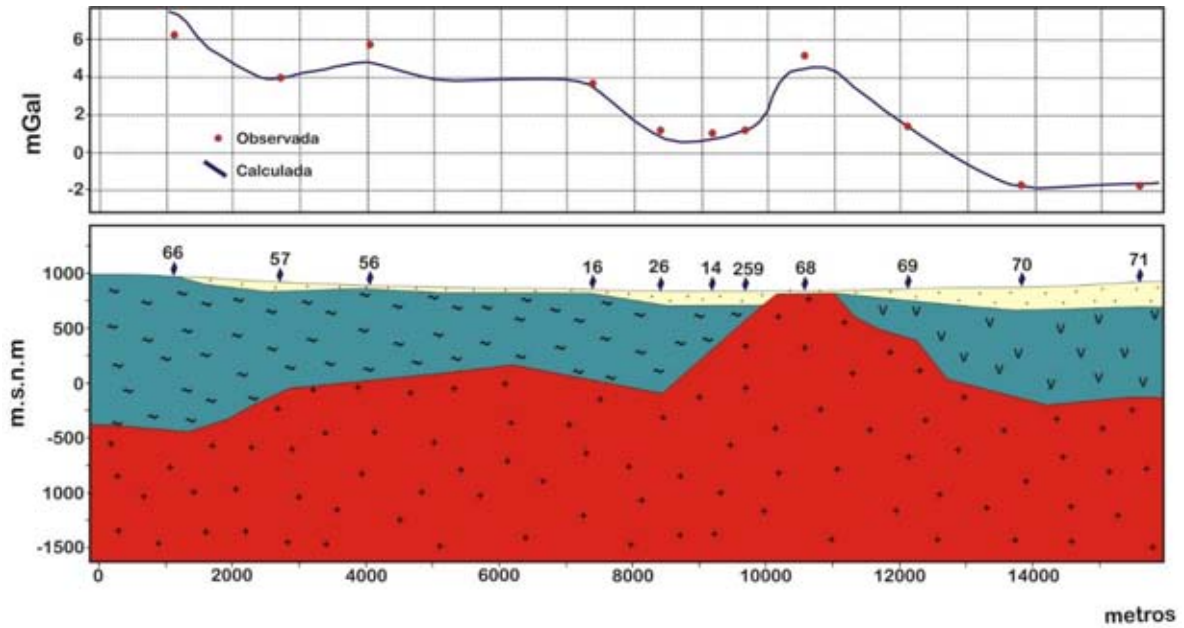


Fig. III.8 Perfil gravimétrico 8-8' en la cuenca Los Alisos. Simbología en figura 64

ESTACIÓN	ELEVACIÓN SUPERFICIAL	ELEVACIÓN AL BASAMENTO	ESPESOR DEL RELLENO SEDIMENTARIO
66	975.57	<b>METAMÓRFICO</b>	
57	923.50	840.17	83.33
56	892.22	863.61	28.61
16	853.19	824.55	28.64
26	842.78	717.79	124.99
14	837.57	712.58	124.99
259	840.17	715.19	124.98
68	842.78	819.34	23.44
69	863.61	756.85	106.76
70	879.23	668.32	210.91
71	923.50	694.35	229.15

Tabla III.4 Espesor del relleno sedimentario en el perfil 8-8' en la cuenca Los Alisos.

## PERFIL 9-9'

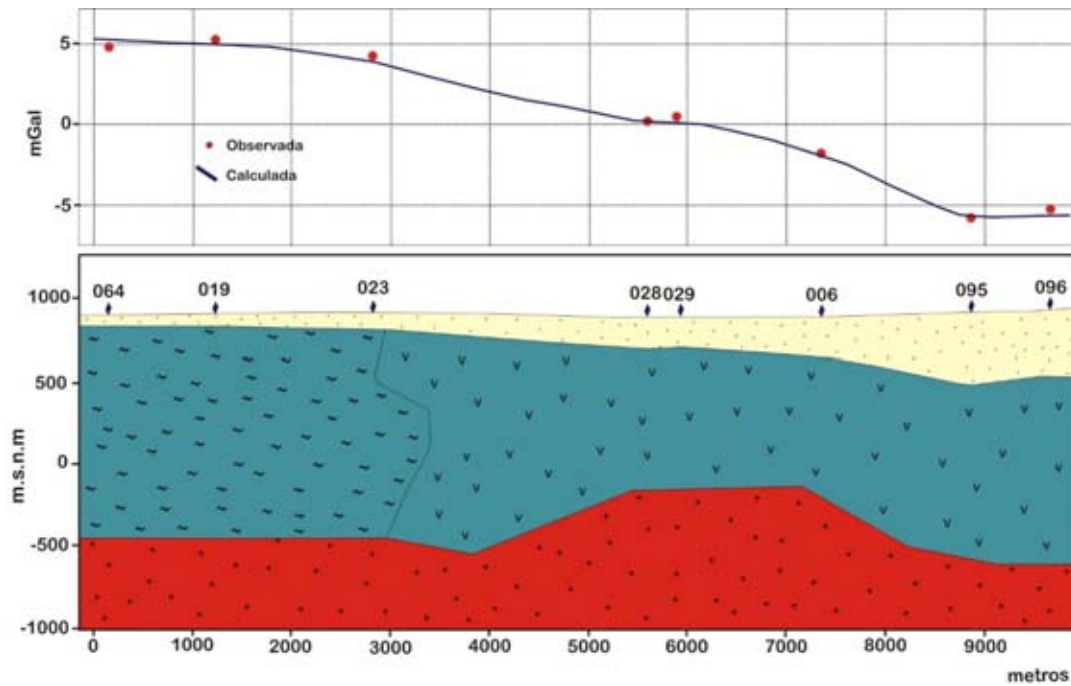


Fig. III.9 Perfil gravimétrico 9-9' en la cuenca Los Alisos. Simbología en figura 64

ESTACION	ELEVACIÓN SUPERFICIAL	ELEVACIÓN AL BASAMENTO	ESPESOR DEL RELLENO SEDIMENTARIO
64	916.04	845.25	70.79
19	920.92	845.25	75.67
23	935.56	825.72	109.84
28	903.83	708.56	195.27
29	903.83	718.32	185.51
6	908.71	662.18	246.53
95	933.12	486.43	446.69
96	950.21	542.57	407.64

Tabla III.5 Espesor del relleno sedimentario en el perfil 9-9' en la cuenca Los Alisos.

## PERFIL 10-10'

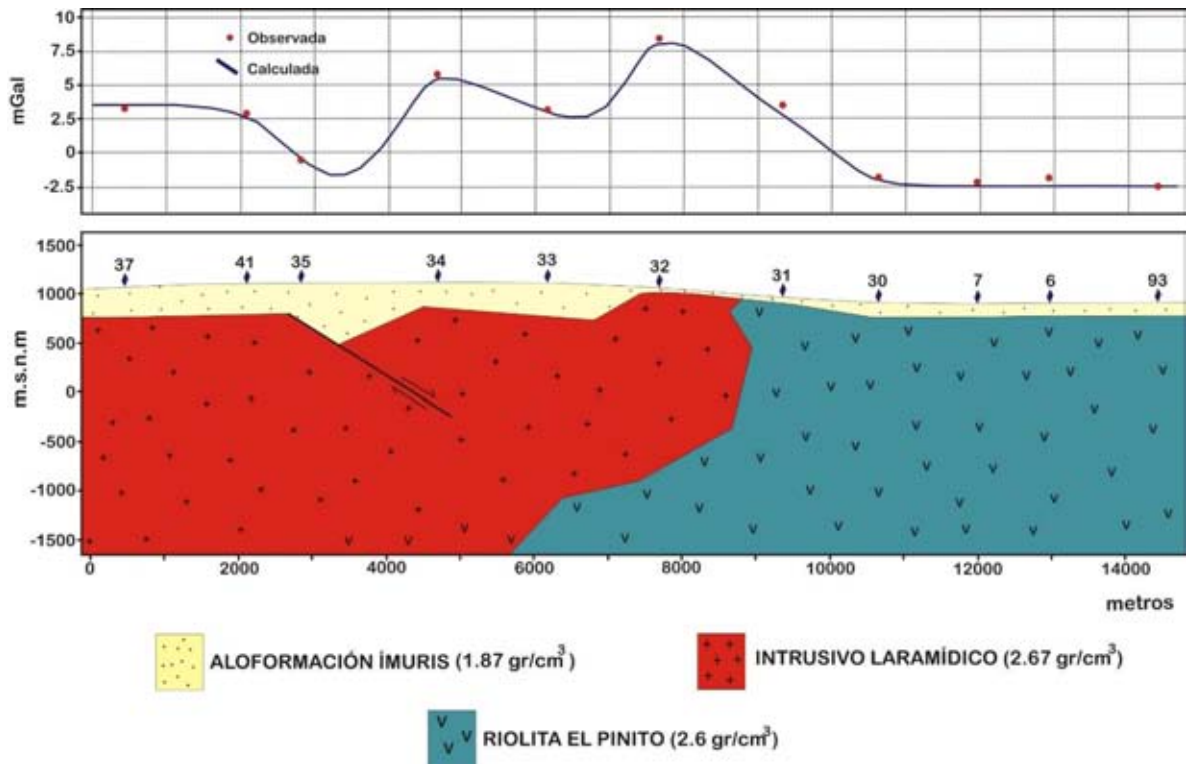


Fig. III.10 Perfil gravimétrico 10-10' en la cuenca Los Alisos. Simbología en figura 64

ESTACIÓN	ELEVACIÓN SUPERFICIAL	ELEVACIÓN AL BASAMENTO	ESPESOR DEL RELLENO SEDIMENTARIO
37	1079.33	775.84	303.49
41	1122.45	802.06	320.39
35	1119.54	630.21	489.33
34	1131.19	947.69	183.50
33	1128.28	807.88	320.40
32	1070.02	1029.25	40.77
31	976.86	924.39	52.47
30	918.56	770.02	148.54
7	909.83	772.93	136.90
6	918.56	784.58	133.98
93	924.39	784.58	139.81

Tabla III.6 Espesor del relleno sedimentario en el perfil 10-10' en la cuenca Los Alisos.

# **ANEXO III (SECCIONES MEDIDAS)**



ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y GEOFÍSICO DE LA CUENCA LOS ALISOS (BASIN AND RANGE), NORTE DE SONORA, MÉXICO

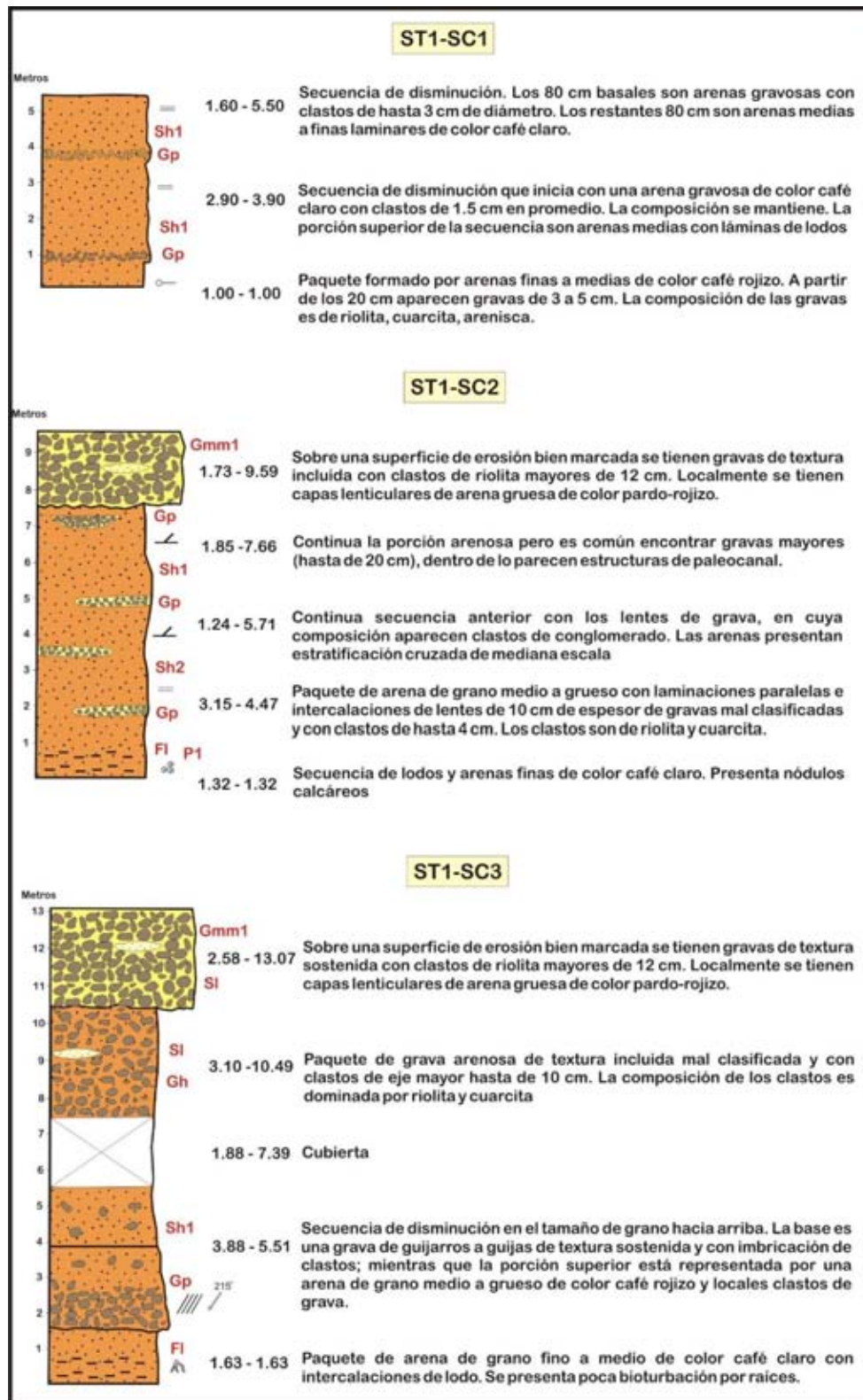


Figura IV.1 Secciones medidas del sitio ST1 Arroyo Cerro Blanco. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

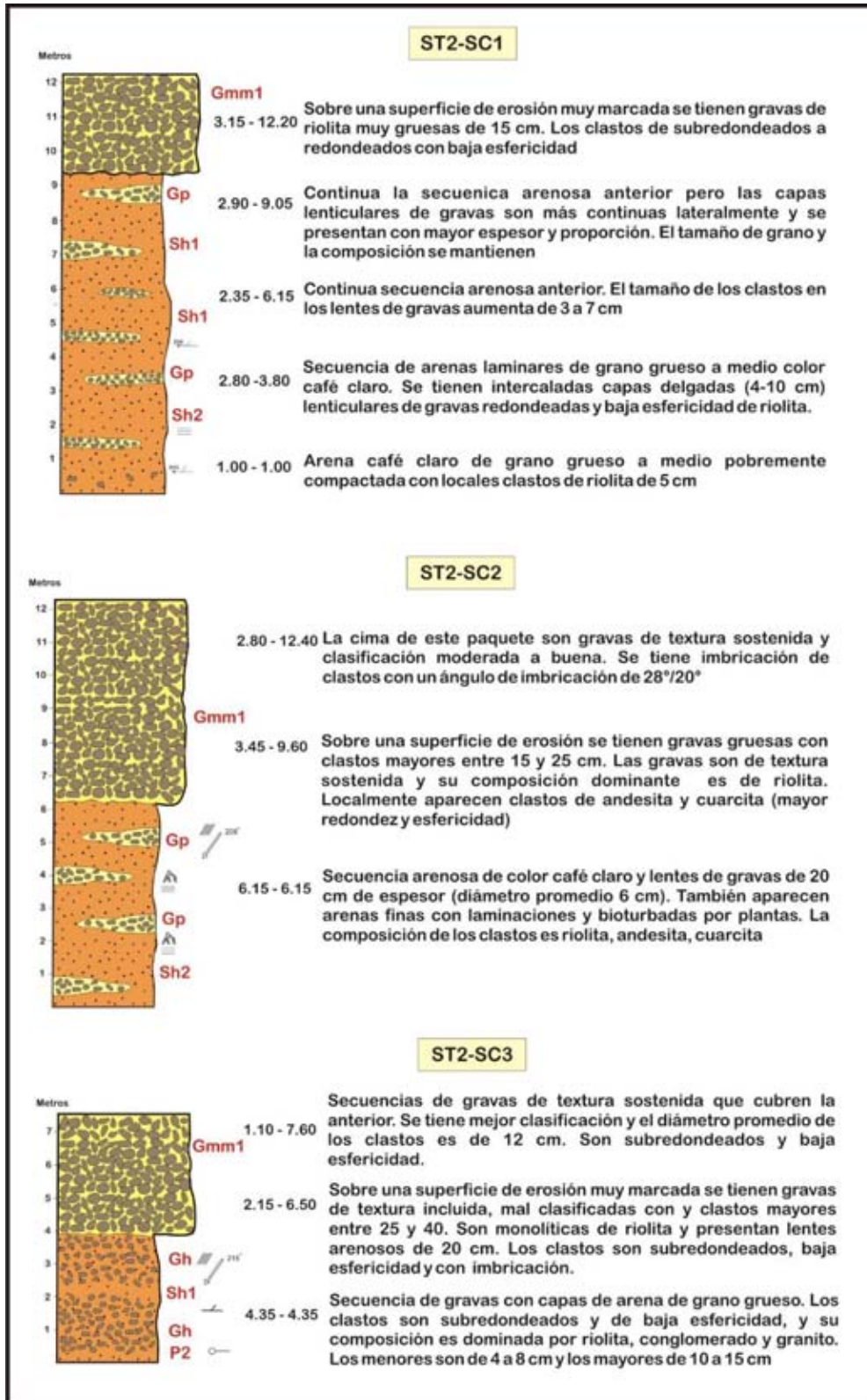


Figura IV.2 Secciones medidas del sitio ST2 Arroyo Los Janos. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

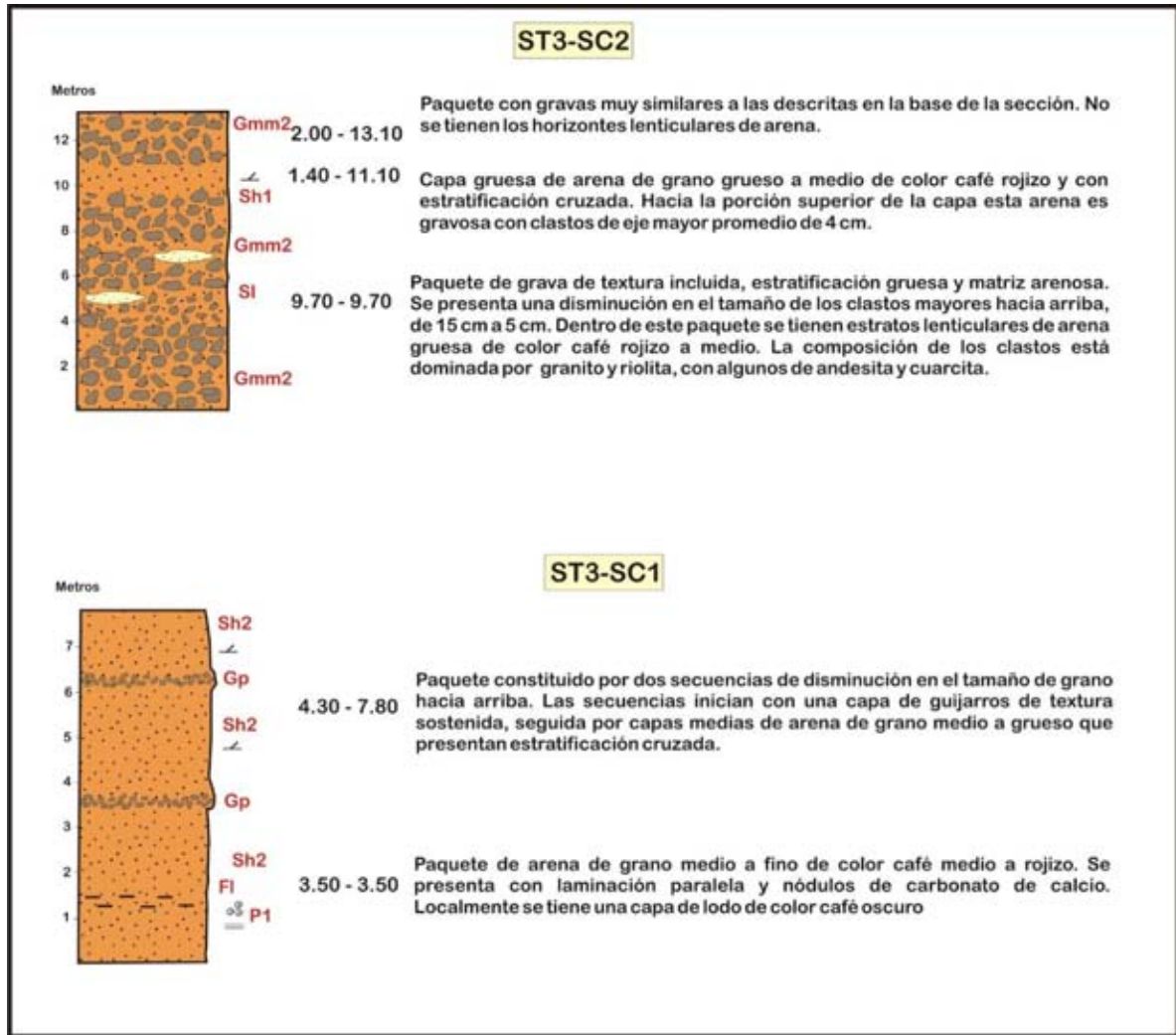


Figura IV.3 Secciones medidas del sitio ST3 Arroyo Las Flores. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

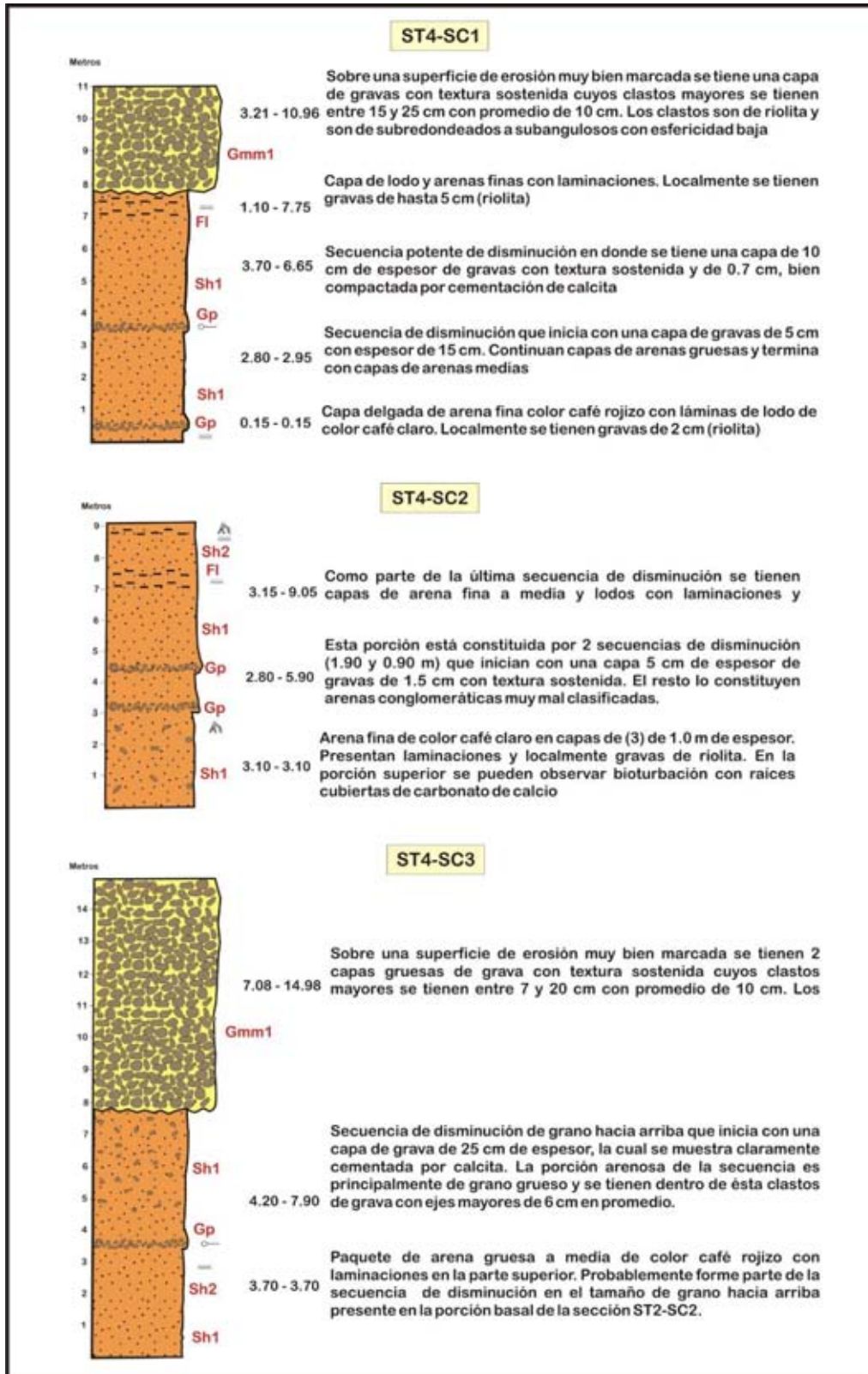


Figura IV.4 Secciones medidas del sitio ST4 Arroyo Las Palmillas. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

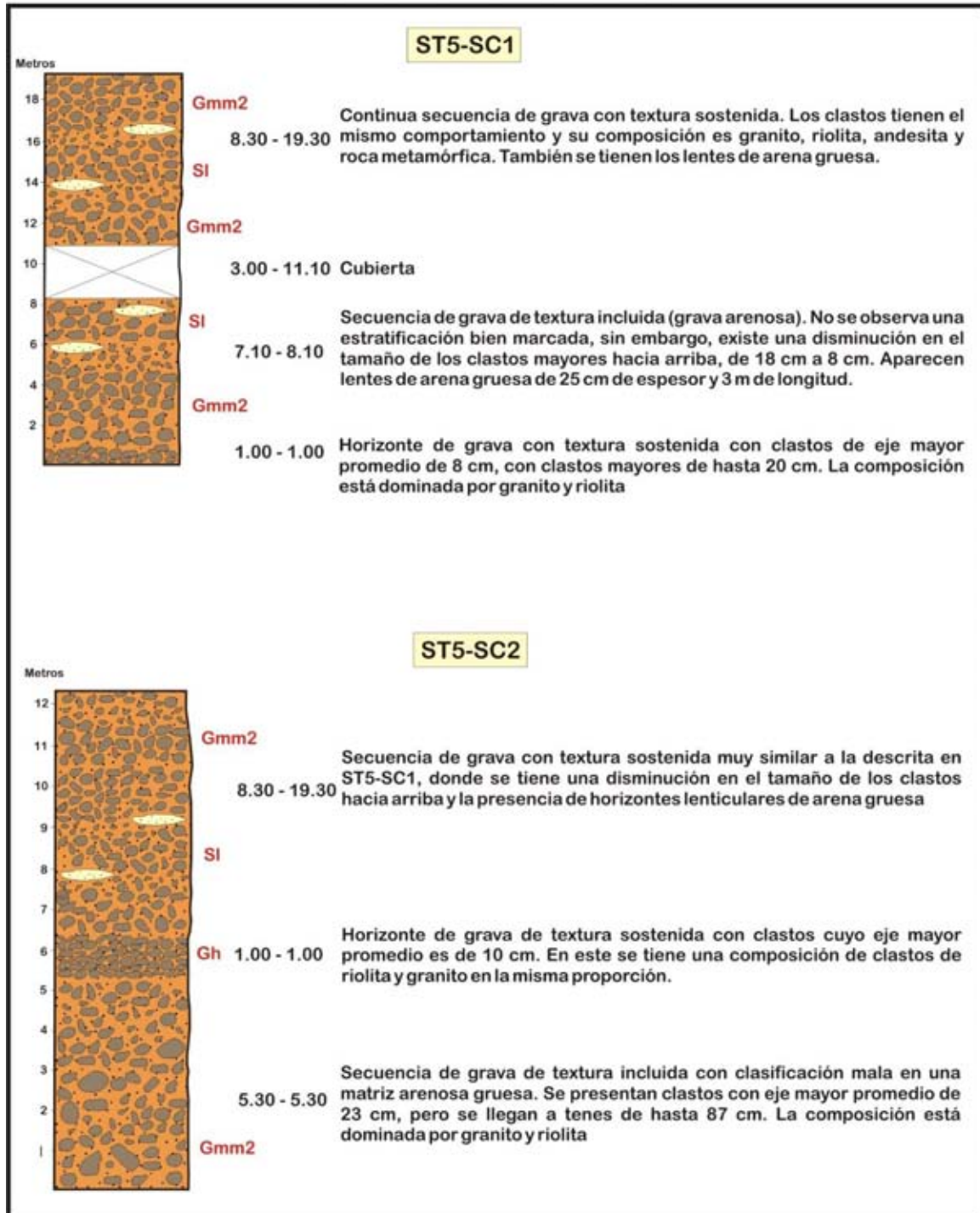


Figura IV.5 Secciones medidas del sitio ST5 Cañada El Apache. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

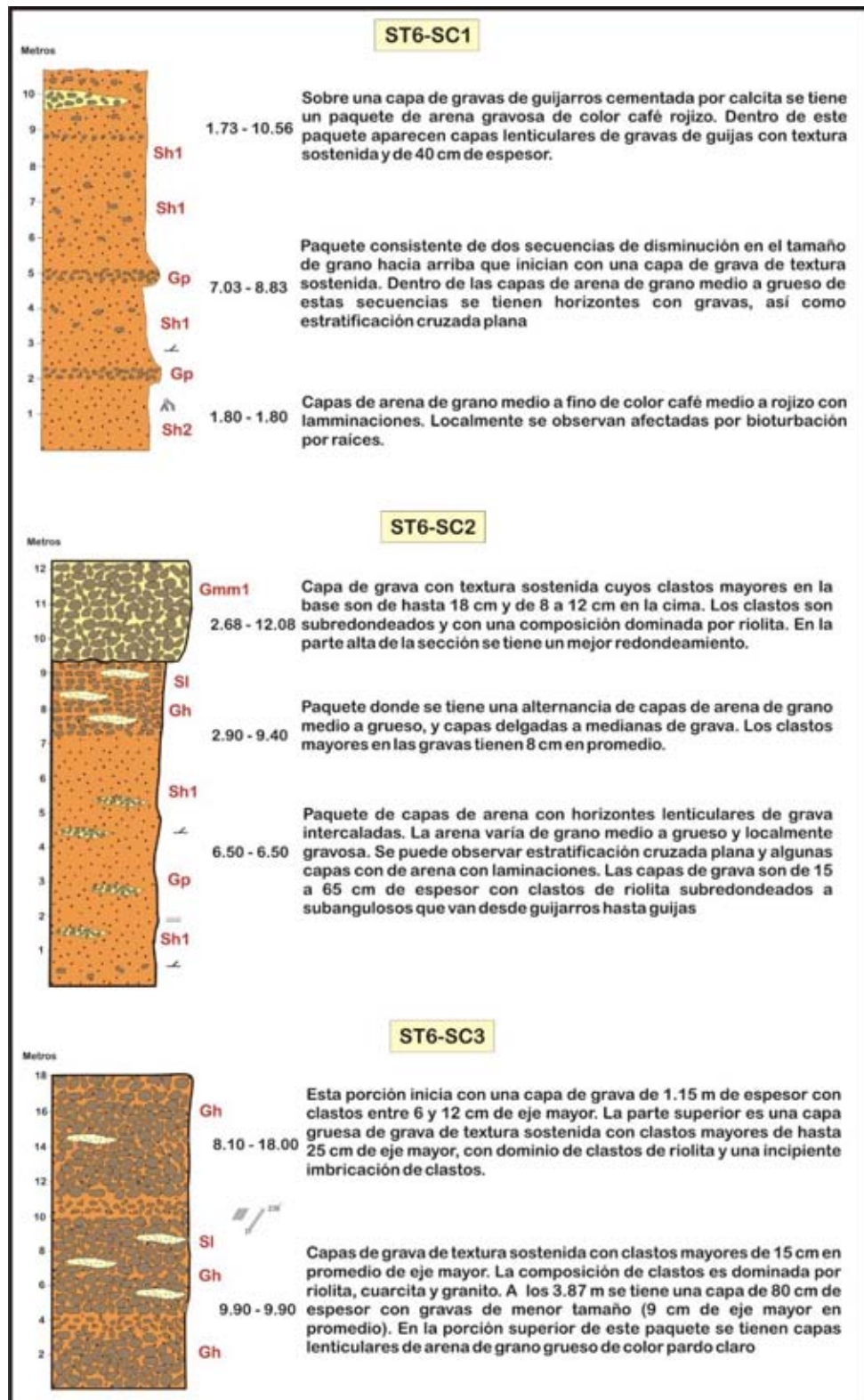


Figura IV.6 Secciones medidas del sitio ST6 Cañada La Emilia. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

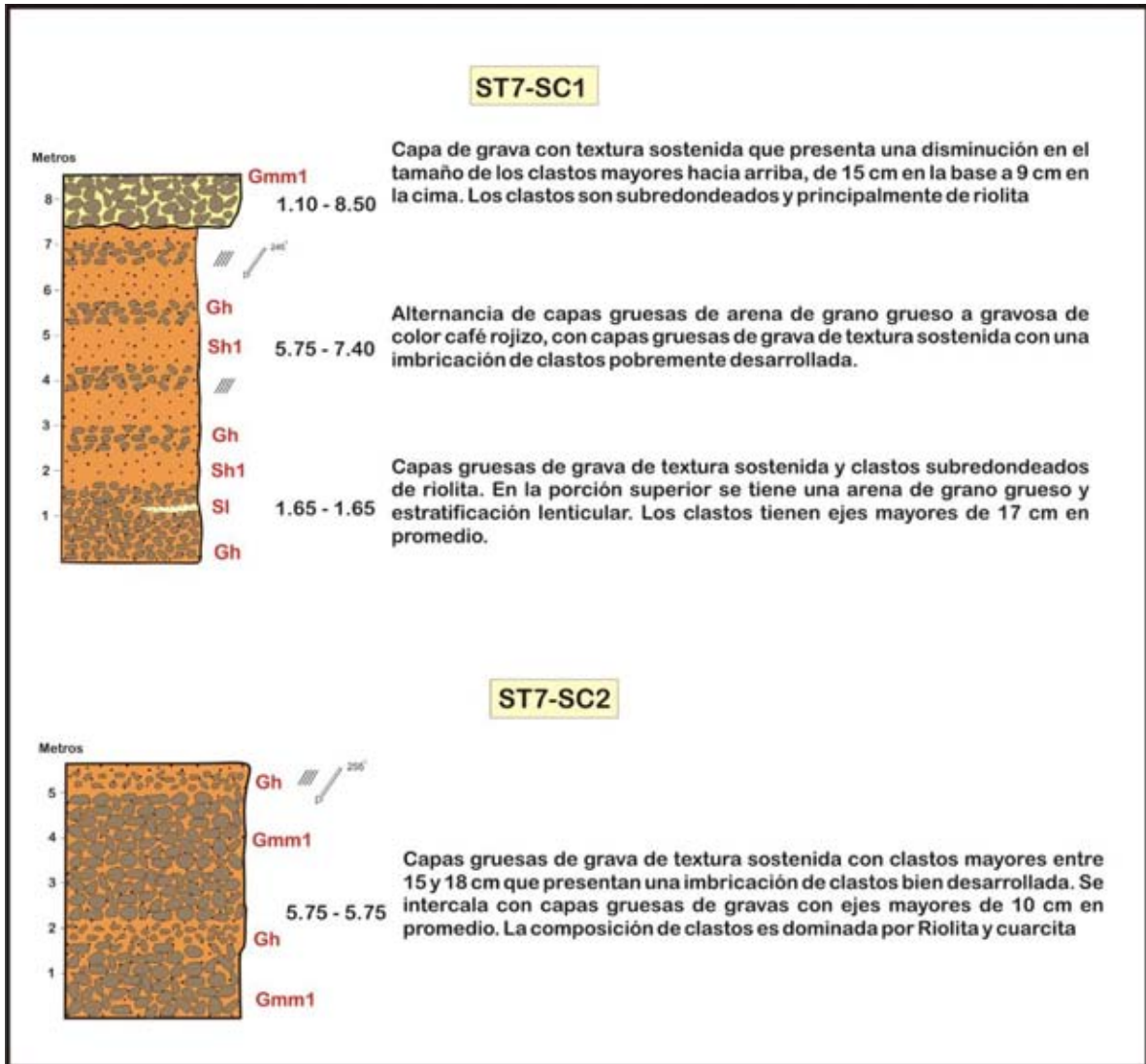


Figura IV.7 Secciones medidas del sitio ST7 Cañada Las Rastras. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

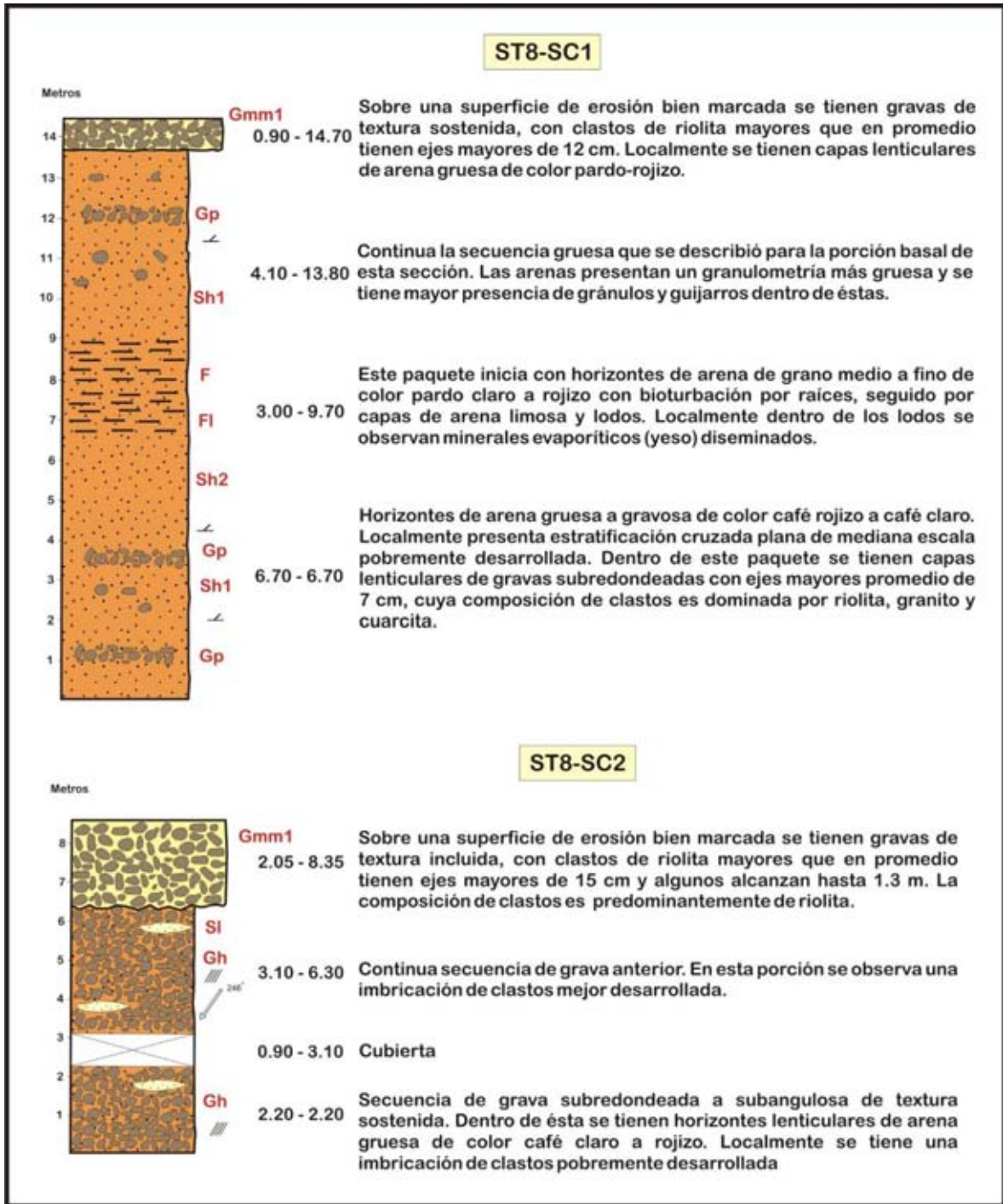


Figura IV.8 Secciones medidas del sitio ST8 Arroyo El Oregano. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1



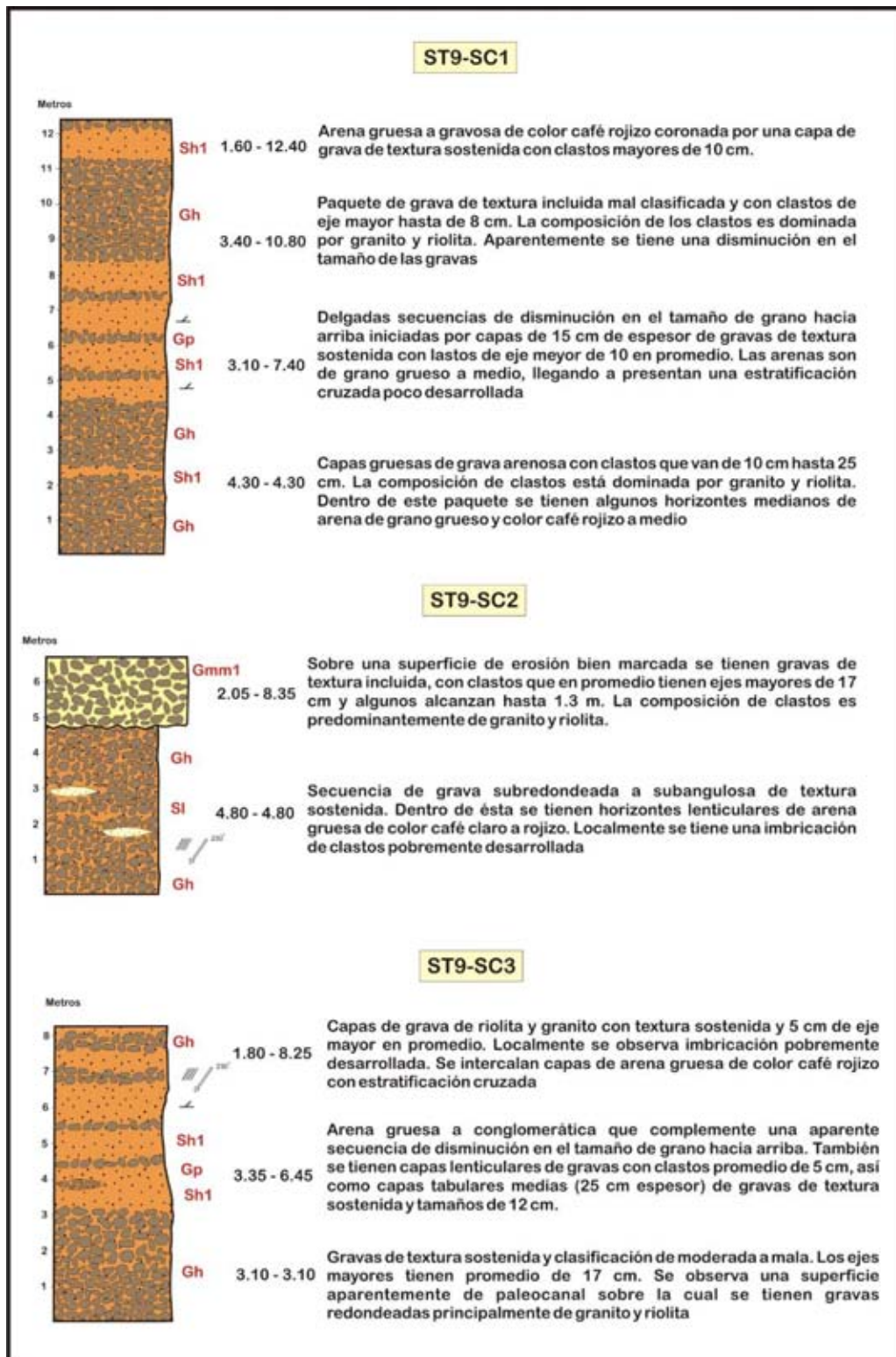


Figura IV.9 Secciones medidas del sitio ST9 Los Estanques. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

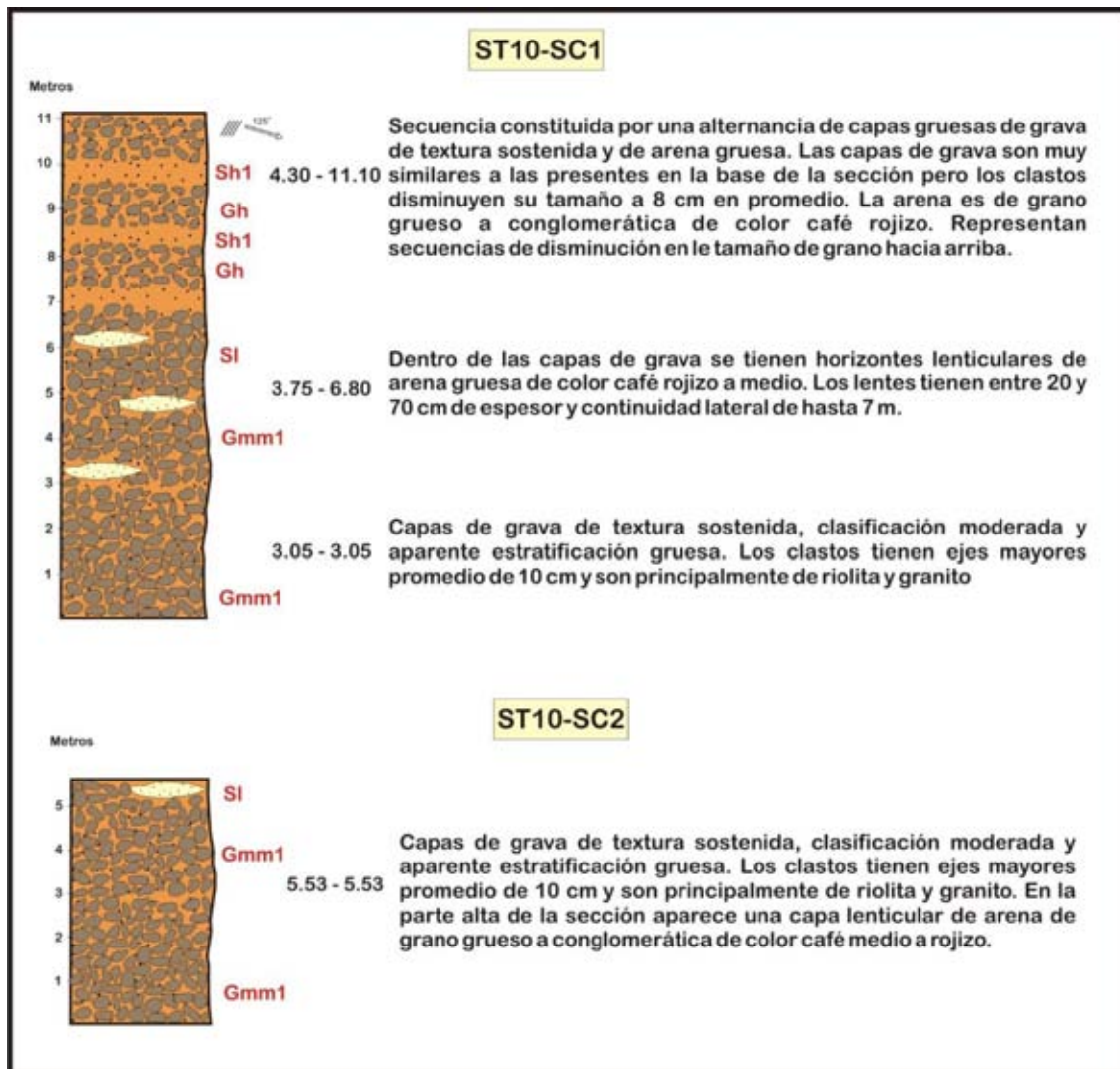


Figura IV.10 Secciones medidas del sitio ST10 Arroyo El Saucito. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

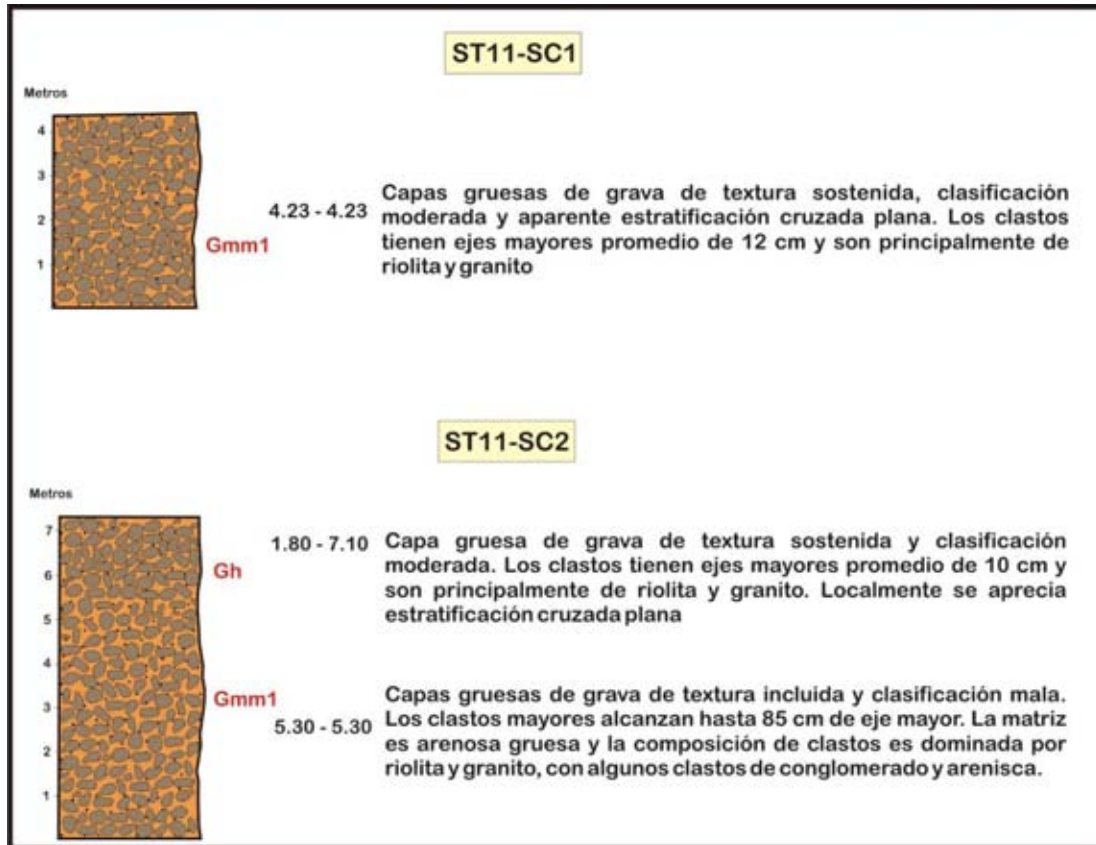


Figura IV.11 Secciones medidas del sitio ST11 Arroyo La Cieneguita. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

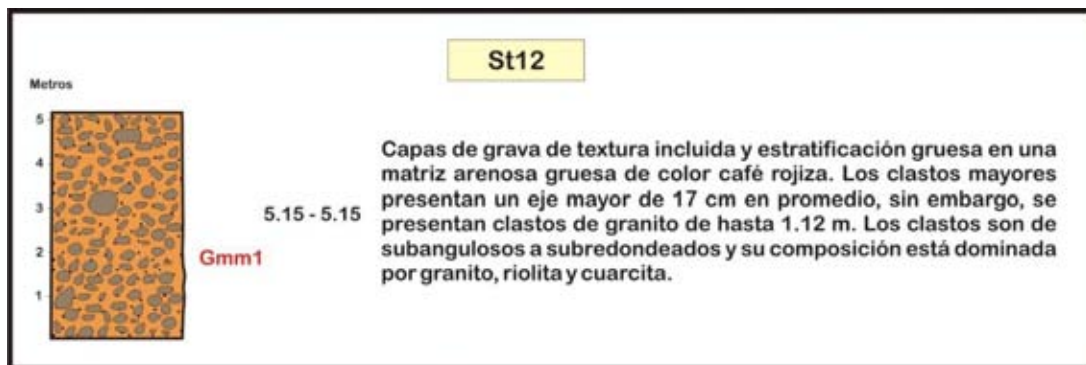


Figura IV.12 Secciones medidas del sitio St12 Arroyo El Tapón. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

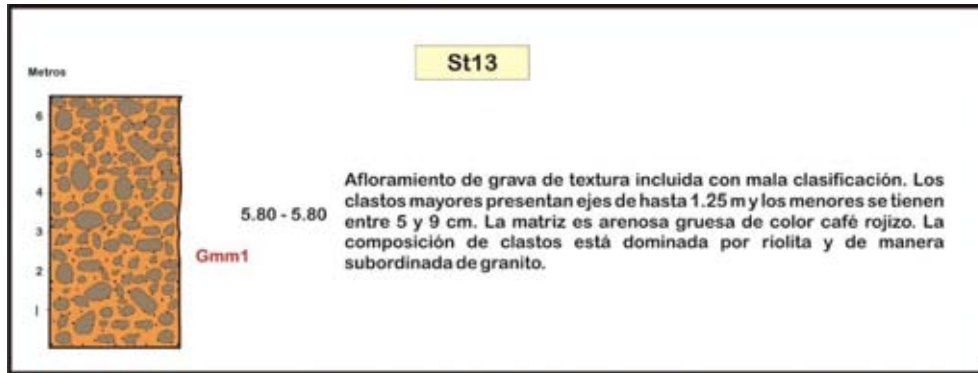


Figura IV.13 Secciones medidas del sitio St13 Arroyo La Tinaja. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

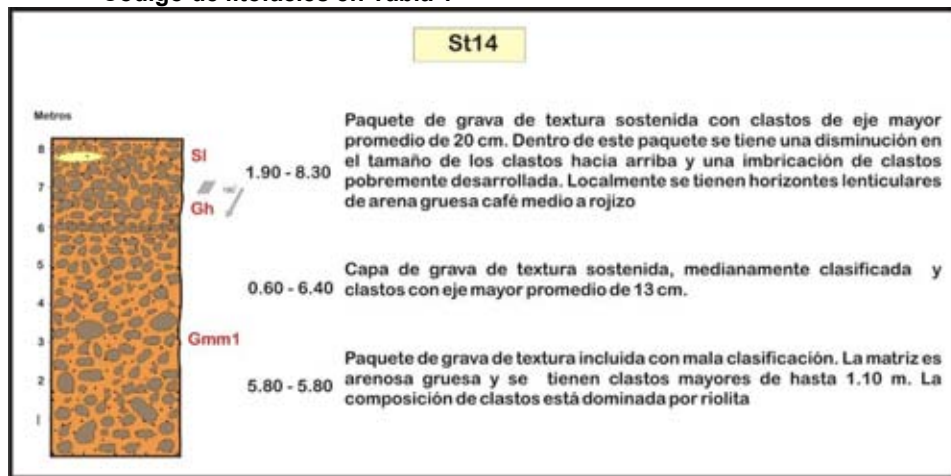


Figura IV.14 Secciones medidas del sitio ST14 Rancho Los Alisos. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

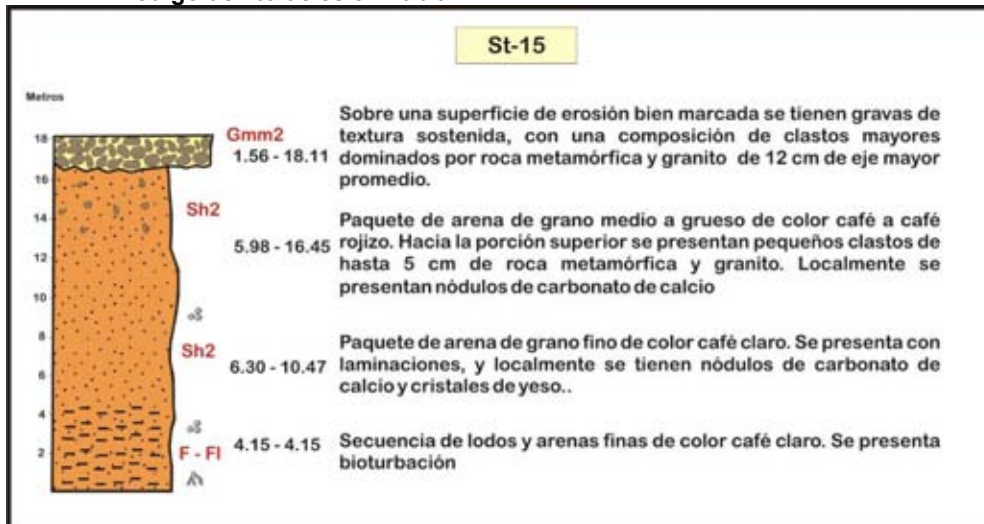


Figura IV.15 Secciones medidas del sitio ST15 Rancho El Fresnal. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

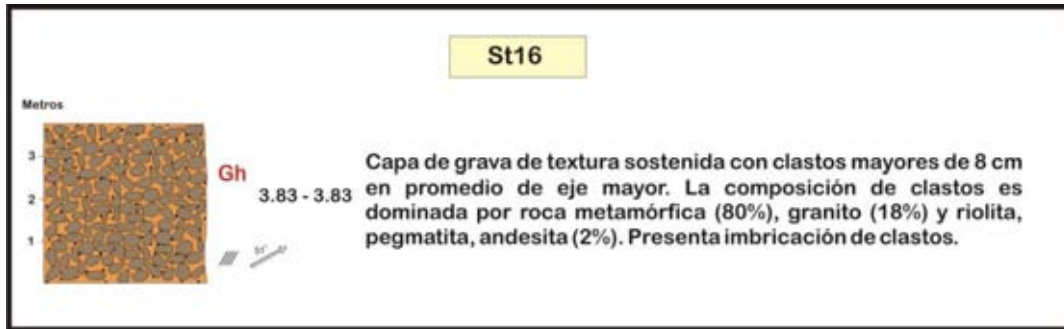


Figura IV.16 Secciones medidas del sitio ST16 Arroyo Los Sauces. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

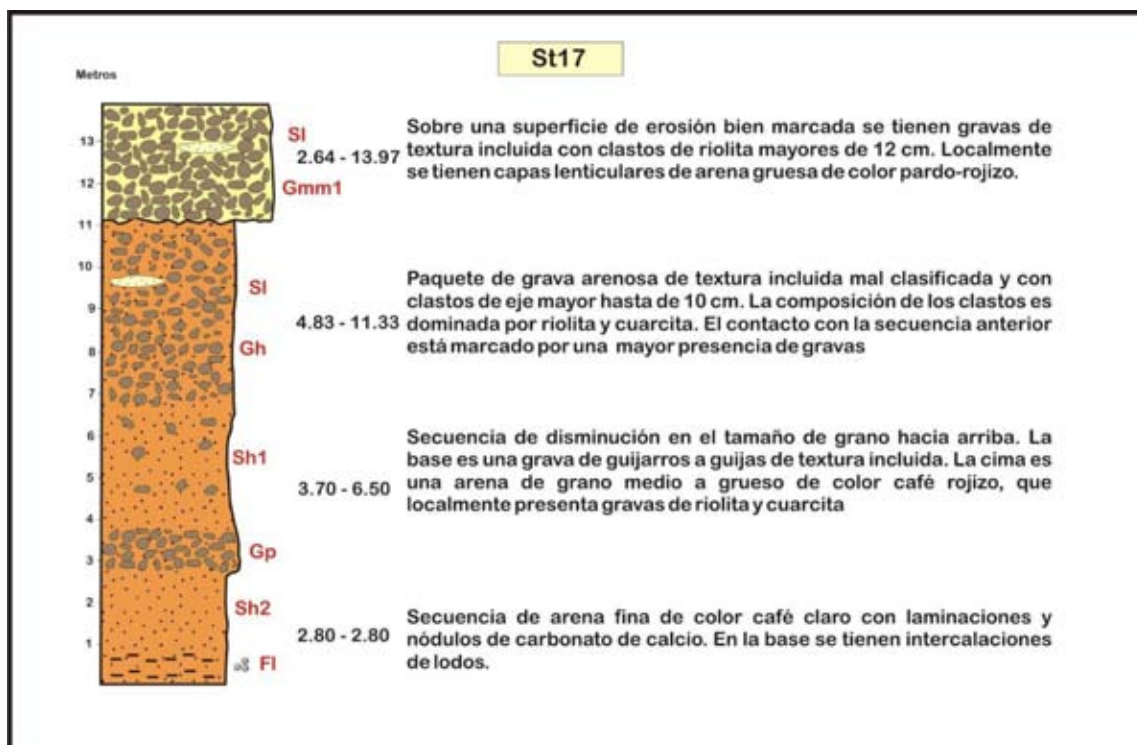


Figura IV.17 Secciones medidas del sitio ST17 Arroyo Babasac. Simbología en Figura 23. Código de litofacies en Tabla 1

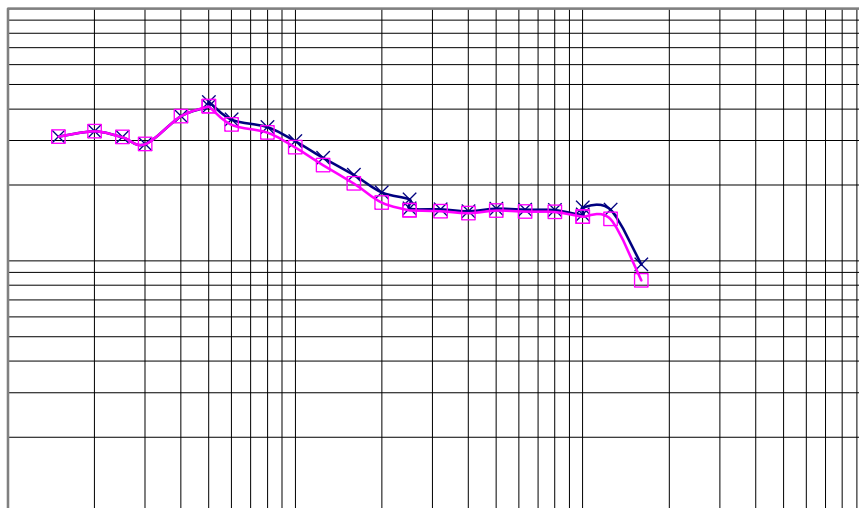
**ANEXO V**

**(TABLAS SONDEOS  
ELÉCTRICOS  
VERTICALES)**

**SEV 1**

Estación	AB/2	MN/2	I	DV	K	Ja		
			m.A.	m.v.				
1	1	0.25m			5.89			
2	1.5	0.25m	240	0.543	13.74	31.08		31.08
3	2	0.25m	270	0.356	24.74	32.62		32.62
4	2.5	0.25m	345	274.5	38.87	30.92		30.92
5	3	0.25m	340	175.6	56.15	28.99		28.99
6	4	0.25m	710	265.3	100.18	37.43		37.43
7	5	0.25m	270	70.6	156.68	40.96		40.96
7	5	1.0m	290	0.328	37.69	42.62	-1.66	40.96
8	6	1.0m	380	213	64.79	36.31		34.65
9	8	1.0m	425	145.6	98.96	33.9		32.24
10	10	1.0m	435	83.4	155.5	29.81		28.15
11	12.5	1.0m	380	39.9	243.86	25.6		23.94
12	16	1.0m	320	17.5	400.55	21.9		20.24
13	20	1.0m	275	8.2	626.74	18.68		17.02
14	25	1.0m	280	5	980.17	17.5		15.84
14	25	5.0m	270	23.1	188.49	16.12	-0.28	15.84
15	32	5.0m	245	12.5	313.85	16.01		15.73
16	40	5.0m	195	5.2	494.8	15.73		15.45
17	50	5.0m	280	5.8	777.54	16.1		15.82
18	63	5.0m	295	3.8	1239.4	15.96		15.68
19	80	5.0m	315	2.5	2002.76	15.89		15.61
20	100	5.0m	185	0.9	3133.74	15.24		14.96
20	100	20.0m	190	4.1	753.98	16.27	-1.31	14.96
21	125	20.0m	135	1.8	1195.77	15.94		14.63
22	160	20.0m	225	1.1	1979.2	9.67		8.36
23	200	20.0m			3110.17			
24	250	20.0m			4877.32			
25	320	20.0m			8011.06			
26	400	20.0m			12534.95			

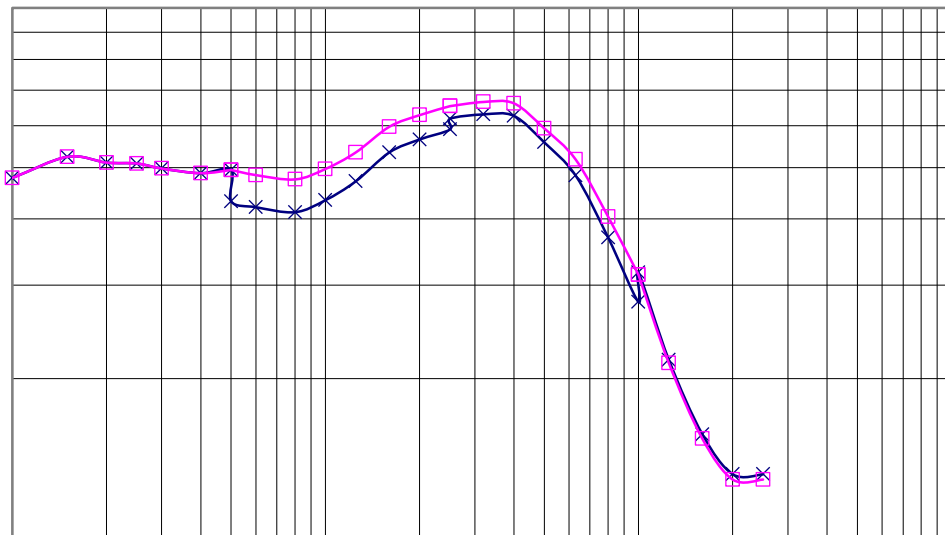
**IMURIS SEV-1**



**SEV3**

Estación	AB/2	MN/2	I	DV	K	Ja		
			m.A.	m.v.				
1	1	0.25m	370	3003	5.89	47.8		47.8
2	1.5	0.25m	205	282	13.74	52.4		52.4
3	2	0.25m	235	485	24.74	51.1		51.1
4	2.5	0.25m	360	471	38.87	50.9		50.9
5	3	0.25m	370	328	56.15	49.8		49.8
6	4	0.25m	320	156	100.18	48.8		48.8
7	5	0.25m	340	107.4	156.68	49.5		49.5
7	5	1.0m	340	390	37.69	43.2	6.3	49.5
8	6	1.0m	300	195	64.79	42.1		48.4
9	8	1.0m	240	99.9	98.96	41.2		47.5
10	10	1.0m	355	99	155.5	43.4		49.7
11	12.5	1.0m	540	104.2	243.86	47.1		53.4
12	16	1.0m	310	41.3	400.55	53.4		59.7
13	20	1.0m	480	43.1	626.74	56.5		62.8
14	25	1.0m	445	26.8	980.17	59		65.3
14	25	5.0m	445	145.6	188.49	61.8	3.5	93.5
15	32	5.0m	485	97.3	313.85	63		94.7
16	40	5.0m	485	61.4	494.8	62.6		94.3
17	50	5.0m	280	20.1	777.54	55.8		87.5
18	63	5.0m	600	23.4	1239.4	48.3		80
19	80	5.0m	440	2.1	2002.76	36.9		68.6
20	100	5.0m	540	4.8	3133.74	27.9		59.6
20	100	20.0m	530	22.3	753.98	31.7	27.9	31.7
21	125	20.0m	330	6	1195.77	21.7		21.7
22	160	20.0m	415	3.3	1979.2	15.7		15.7
23	200	20.0m	470	2	3110.17	13.2		13.2
24	250	20.0m	590	1.6	4877.32	13.2		13.2
25	320	20.0m			8011.06			
26	400	20.0m			12534.95			

**IMURIS SEV-3**

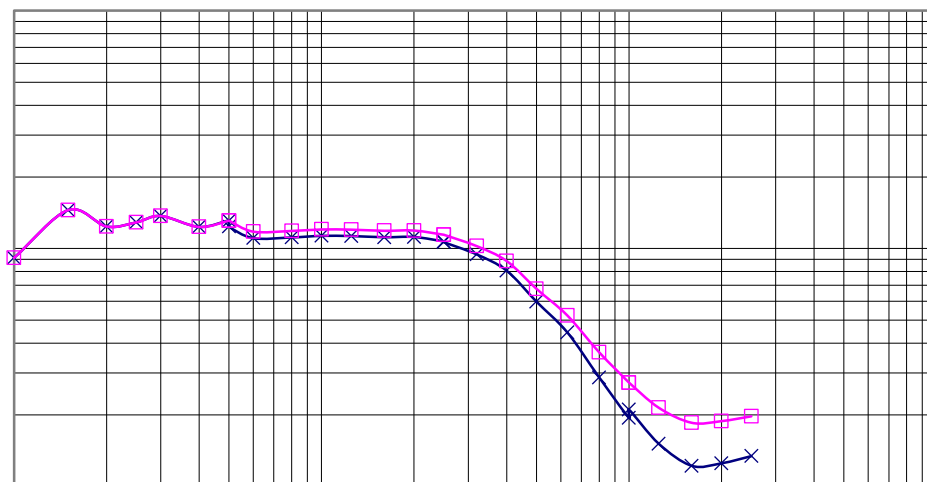




**SEV4**

Estación	AB/2	MN/2	I		K	Ja		
			m.A.	m.v.				
1	1	0.25m	280	2310	5.89	91.3		91.3
2	1.5	0.25m	65	686	13.74	145		145
3	2	0.25m	45	225	24.74	123.7		123.7
4	2.5	0.25m	160	530	38.87	128.8		128.8
5	3	0.25m	205	500	56.15	137		137
6	4	0.25m	240	319	100.18	123.2		123.2
7	5	0.25m	415	317	156.68	131		131
7	5	1.0m	415	1363	37.69	123.8	7.2	168.2
8	6	1.0m	180	307	64.79	110.5		154.9
9	8	1.0m	465	523	98.96	111.3		155.7
10	10	1.0m	530	385	155.5	113		157.4
11	12.5	1.0m	255	118	243.86	112.8		157.2
12	16	1.0m	230	64	400.55	111.5		155.9
13	20	1.0m	255	45.5	626.74	111.8		156.2
14	25	1.0m	350	38.2	980.17	107		151.4
14	25	5.0m	355	200.2	188.49	106.3	45.1	106.3
15	32	5.0m	305	91.7	313.85	94.4		94.4
16	40	5.0m	255	41.6	494.8	80.7		80.7
17	50	5.0m	225	17.3	777.54	59.8		59.8
18	63	5.0m	120	4.3	1239.4	44.4		44.4
19	80	5.0m	265	3.8	2002.76	28.7		28.7
20	100	5.0m	355	2.2	3133.74	19.4		19.4
20	100	20.0m	355	10.3	753.98	21	-1.6	21
21	125	20.0m	95	1.2	1195.77	15.1		15.1
22	160	20.0m	195	1.2	1979.2	12.2		12.2
23	200	20.0m	195	0.7	3110.17	12.5		12.5
24	250	20.0m	365	1	4877.32	13.4		13.4
25	320	20.0m			8011.06			
26	400	20.0m			12534.95			

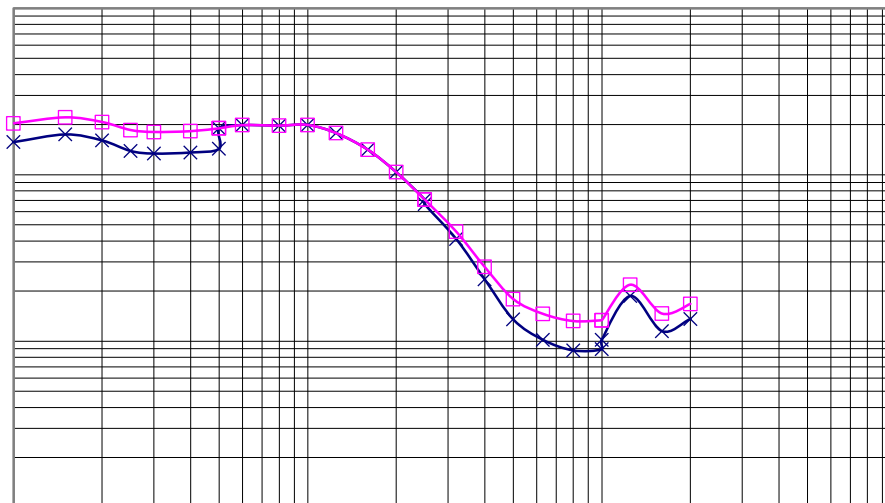
**IMURIS SEV-4**



**SEV6**

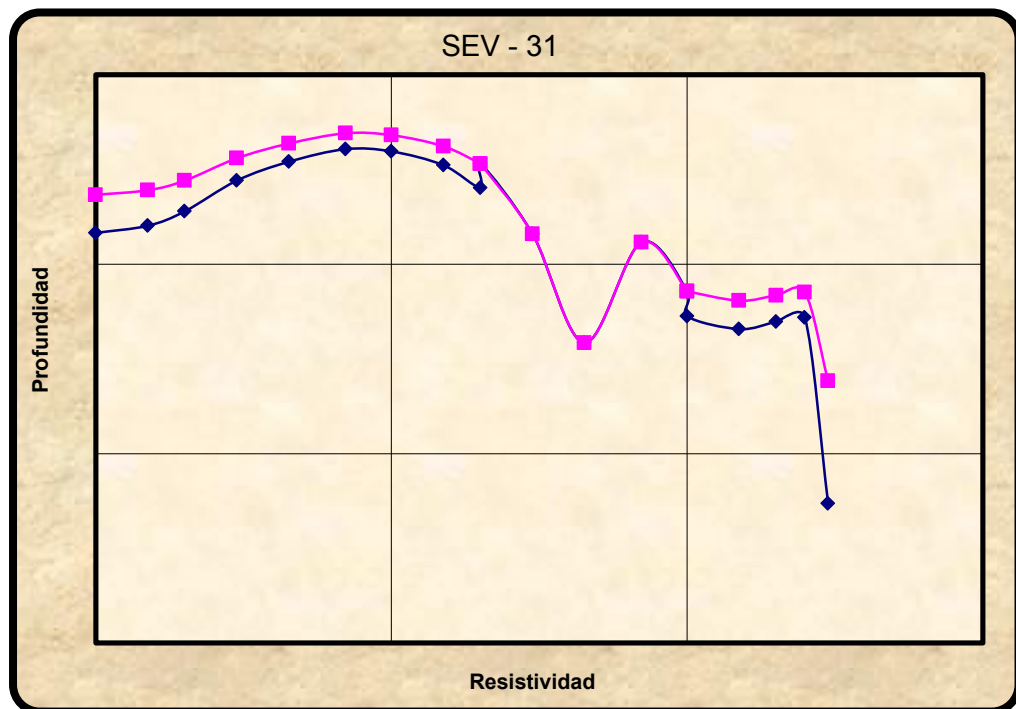
Estación	AB/2	MN/2	I	DV	K	Ja		
			m.A.	m.v.				
1	1	0.25m	120	3200	5.89	157.1		157.1
2	1.5	0.25m	70	890	13.74	174.7		174.7
3	2	0.25m	56	364	24.74	160.8		160.8
4	2.5	0.25m	92	329	38.87	139		139
5	3	0.25m	54	129	56.15	134.1		134.1
6	4	0.25m	51	69.3	100.18	136.1		136.1
7	5	0.25m	52	47.6	156.68	143.4		143.4
7	5	1.0m	52	262.4	37.69	190.1	143.4	190.1
8	6	1.0m	62	190.1	64.79	198.7		198.7
9	8	1.0m	53	105.8	98.96	197.5		197.5
10	10	1.0m	110	141	155.5	199.3		199.3
11	12.5	1.0m	64	46.7	243.86	177.9		177.9
12	16	1.0m	110	38.9	400.55	141.6		141.6
13	20	1.0m	110	18.2	626.74	103.7		103.7
14	25	1.0m	170	12.3	980.17	70.91		70.91
14	25	5.0m	170	60	188.49	66.5	4.41	66.5
15	32	5.0m	180	23.6	313.85	41.1		41.1
16	40	5.0m	170	8.1	494.8	23.5		23.5
17	50	5.0m	230	4	777.54	13.5		13.5
18	63	5.0m	195	1.6	1239.4	10.2		10.2
19	80	5.0m	295	1.3	2002.76	8.8		8.8
20	100	5.0m	140	0.4	3133.74	8.95		8.95
20	100	20.0m	140	1.9	753.98	10.2	-1.25	10.2
21	125	20.0m	60	0.5	1195.77	18.7		18.7
22	160	20.0m	155	0.9	1979.2	11.5		11.5
23	200	20.0m	160	0.7	3110.17	13.6		13.6
24	250	20.0m			4877.32			
25	320	20.0m			8011.06			
26	400	20.0m			12534.95			

**IMURIS SEV-6**



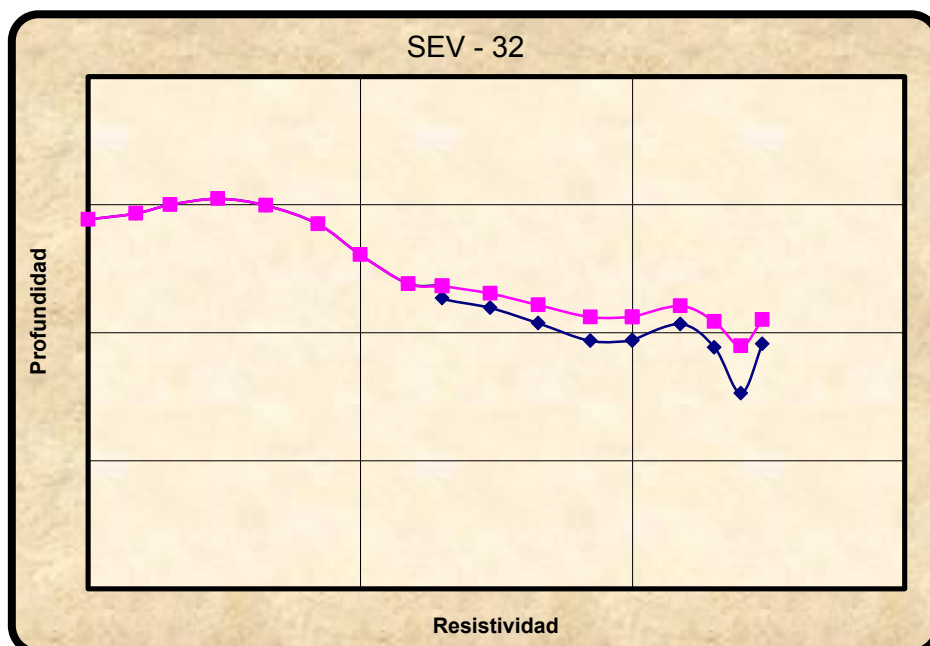
**SEV31**

AB/2	MN/2	K (mts)	SP	TXI (miliamperes)	Resistividad (Ohms-mts)	SD
1.00	0.25	5.89	9	4.9	146.20	0.30
1.50	0.25	13.74	9	4.7	159.50	0.00
2.00	0.25	24.75	7	4.0	190.00	0.50
3.00	0.25	56.16	7	1.4	276.20	1.10
4.50	0.25	126.84	4	6.8	347.10	0.00
7.00	0.25	307.40	4	6.6	404.60	0.90
10.00	0.25	627.93	4	6.7	393.50	0.30
15.00	0.25	1,413.00	2	10.7	332.70	0.00
20.00	0.25	2,513.00	2	54.4	252.90	0.50
20.00	4.50	132.60	34	6.5	338.90	11.00
30.00	4.50	307.10	34	6.3	144.20	0.20
45.00	4.50	699.80	29	19.0	38.41	3.20
70.00	4.50	1,703.00	21	64.3	130.60	0.30
100.00	4.50	3,483.60	17	53.2	71.86	0.30
100.00	20.00	753.90	-7	53.7	53.15	0.10
150.00	20.00	1,735.70	-12	58.4	45.41	0.20
200.00	20.00	3,110.18	-14	71.2	49.65	1.00
250.00	20.00	4,877.33	-14	91.3	52.36	1.00



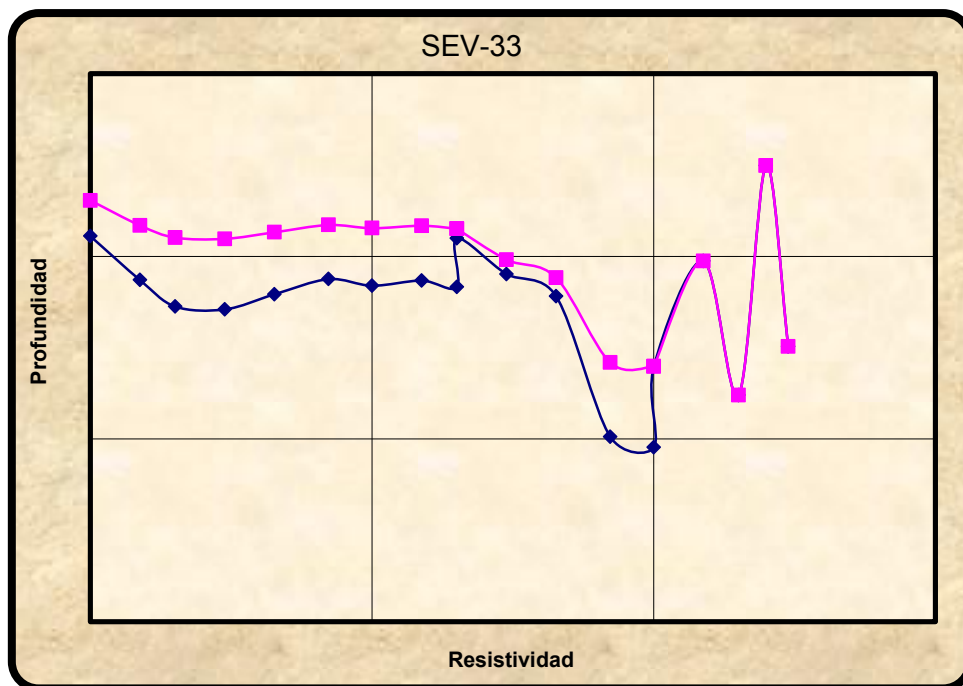
**SEV32**

AB/2	MN/2	K (mts)	SP	TXI (miliamperes)	Resistividad (Ohms-mts)	SD
1.00	0.25	5.89	70	4.8	766.60	1.30
1.50	0.25	13.74	68	3.5	854.50	2.20
2.00	0.25	24.75	65	3.8	997.90	3.10
3.00	0.25	56.16	63	2.8	1,112.00	0.90
4.50	0.25	126.84	61	3.2	985.10	1.10
7.00	0.25	307.40	61	2.9	704.70	0.70
10.00	0.25	627.93	58	3.0	406.20	1.00
15.00	0.25	1,413.00	56	21.8	241.30	24.90
20.00	0.25	2,513.00	53	23.1	231.70	2.80
20.00	4.50	132.60	17	3.5	185.70	0.40
30.00	4.50	307.10	17	3.8	156.40	0.10
45.00	4.50	699.80	17	42.4	118.70	0.10
70.00	4.50	1,703.00	17	38.2	86.34	0.30
100.00	4.50	3,483.60	17	29.5	86.48	2.40
100.00	20.00	753.90	9	29.7	87.53	0.70
150.00	20.00	1,735.70	9	27.5	116.80	0.60
200.00	20.00	3,110.18	7	29.1	76.77	0.90
250.00	20.00	4,877.33	2	43.2	33.67	0.70
300.00	20.00	7,037.10	2	44.2	81.65	7.30



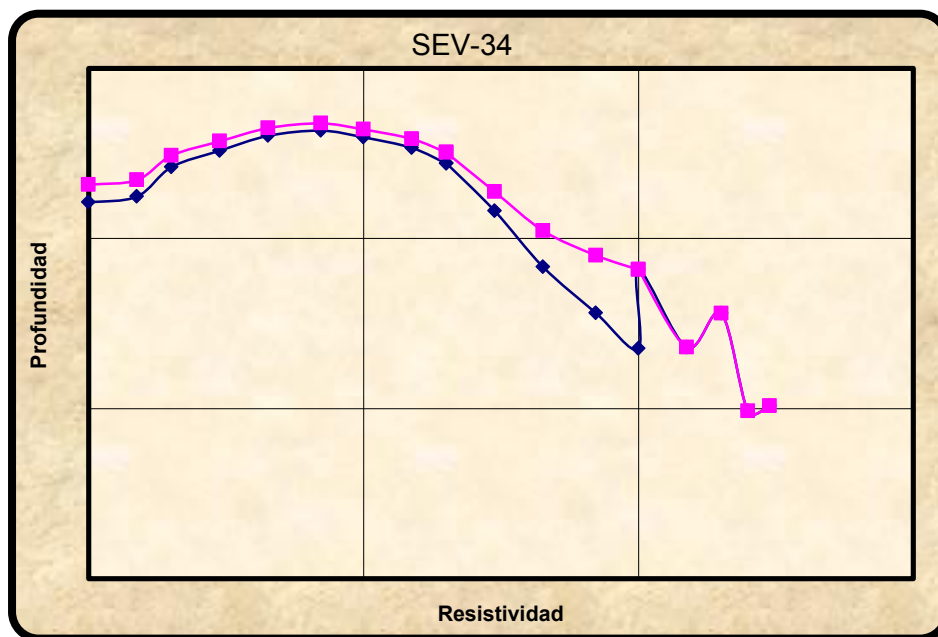
**SEV33**

AB/2	MN/2	K (mts)	SP	TXI (miliamperes)	Resistividad (Ohms-mts)	SD
1.00	0.25	5.89	24	10.9	128.80	0.10
1.50	0.25	13.74	14	6.0	74.08	0.10
2.00	0.25	24.75	12	3.4	53.08	0.00
3.00	0.25	56.16	9	8.7	51.20	0.10
4.50	0.25	126.84	9	6.9	61.94	0.10
7.00	0.25	307.40	7	44.7	74.96	0.20
10.00	0.25	627.93	7	92.4	69.05	0.10
15.00	0.25	1,413.00	4	97.8	73.64	0.00
20.00	0.25	2,513.00	4	107.0	68.02	0.20
20.00	4.50	132.60	2	13.5	125.50	0.10
30.00	4.50	307.10	-4	9.1	79.92	0.40
45.00	4.50	699.80	-7	70.7	60.36	0.20
70.00	4.50	1,703.00	-7	67.8	10.29	0.30
100.00	4.50	3,483.60	-2	96.6	8.99	1.10
100.00	20.00	753.90	75	96.9	24.92	0.10
150.00	20.00	1,735.70	68	18.2	94.26	4.40
200.00	20.00	3,110.18	63	28.8	17.38	0.60
250.00	20.00	4,877.33	58	22.1	313.70	6.70
300.00	20.00	7,037.10	46	74.3	32.08	0.10



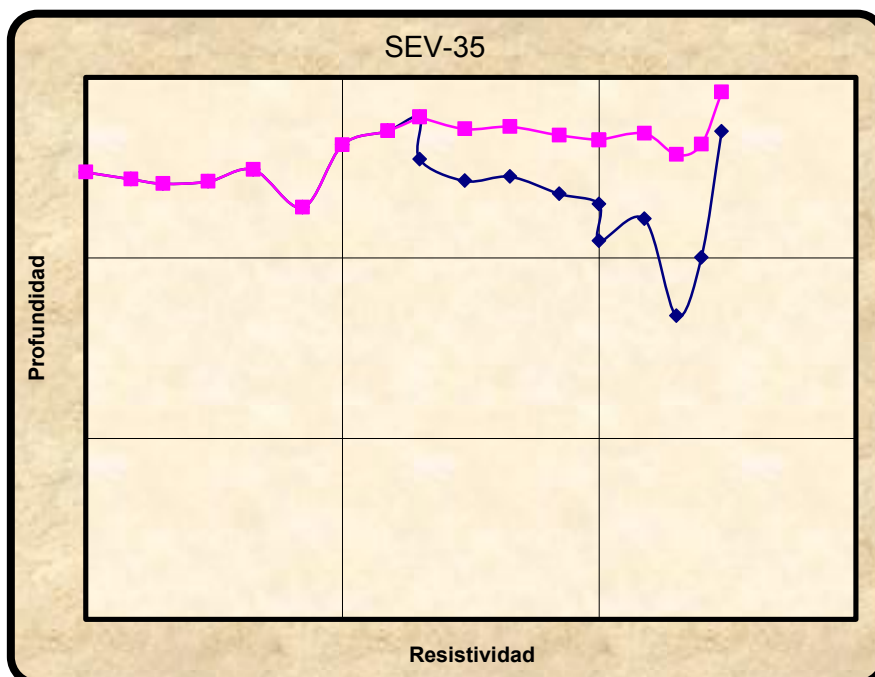
**SEV34**

AB/2	MN/2	K (mts)	SP	TXI (miliamperes)	Resistividad (Ohms-mts)	SD
1.00	0.25	5.89	43	11.3	162.90	0.10
1.50	0.25	13.74	34	8.2	176.60	0.10
2.00	0.25	24.75	29	9.5	262.90	0.20
3.00	0.25	56.16	29	4.7	328.40	0.50
4.50	0.25	126.84	29	10.2	401.70	0.10
7.00	0.25	307.40	26	8.5	430.90	0.00
10.00	0.25	627.93	24	15.0	393.50	0.00
15.00	0.25	1,413.00	24	13.1	340.90	0.80
20.00	0.25	2,513.00	24	12.4	276.10	0.20
20.00	4.50	132.60	156	12.3	277.20	0.20
30.00	4.50	307.10	151	13.0	145.20	0.10
45.00	4.50	699.80	143	90.6	68.00	0.00
70.00	4.50	1,703.00	129	49.8	36.49	0.20
100.00	4.50	3,483.60	122	35.6	22.50	0.20
100.00	20.00	753.90	4	35.7	65.62	0.40
150.00	20.00	1,735.70	4	59.5	22.89	0.40
200.00	20.00	3,110.18	4	110.0	36.29	0.20
250.00	20.00	4,877.33	2	71.8	9.66	0.60
300.00	20.00	7,037.10	2	48.6	10.38	2.00



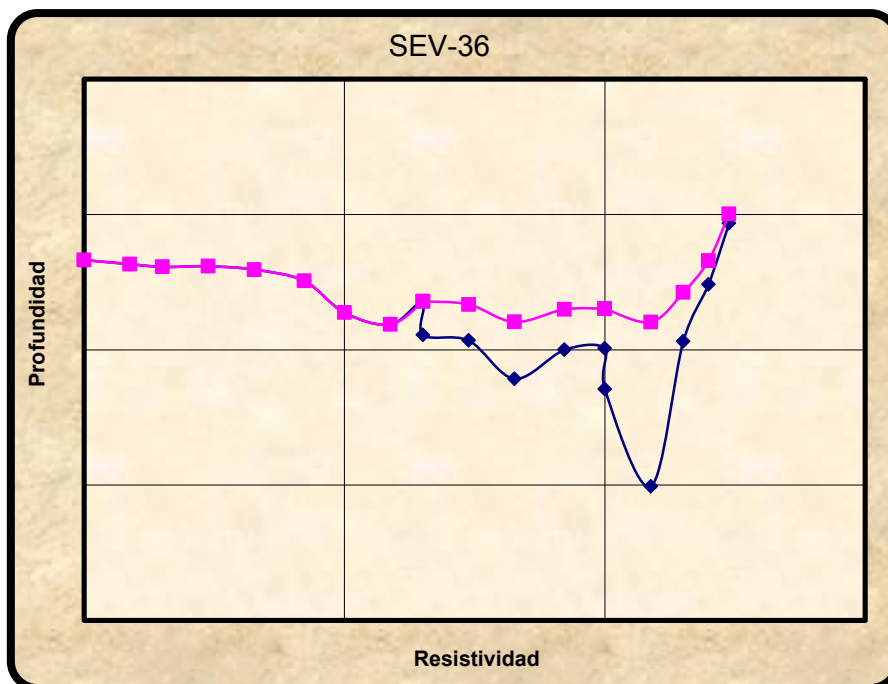
**SEV35**

AB/2	MN/2	K (mts)	SP	TXI (miliamperes)	Resistividad (Ohms-mts)	SD
1.00	0.25	5.89	7	2.5	298.40	0.60
1.50	0.25	13.74	9	3.1	272.90	0.20
2.00	0.25	24.75	9	2.3	257.70	0.30
3.00	0.25	56.16	9	3.0	265.00	1.20
4.50	0.25	126.84	9	2.7	307.90	0.70
7.00	0.25	307.40	19	9.0	190.10	13.00
10.00	0.25	627.93	9	3.6	422.30	0.60
15.00	0.25	1,413.00	9	7.2	504.80	0.80
20.00	0.25	2,513.00	12	14.7	601.60	10.10
20.00	4.50	132.60	75	2.3	350.70	4.00
30.00	4.50	307.10	75	5.1	266.70	7.80
45.00	4.50	699.80	73	13.3	281.60	2.80
70.00	4.50	1,703.00	68	18.0	226.30	3.30
100.00	4.50	3,483.60	68	16.5	198.30	10.40
100.00	20.00	753.90	87	16.8	124.00	2.20
150.00	20.00	1,735.70	85	0.7	164.20	1.10
200.00	20.00	3,110.18	85	23.8	47.70	2.60
250.00	20.00	4,877.33	82	40.7	100.20	2.00
300.00	20.00	7,037.10	82	27.0	500.50	5.10



**SEV36**

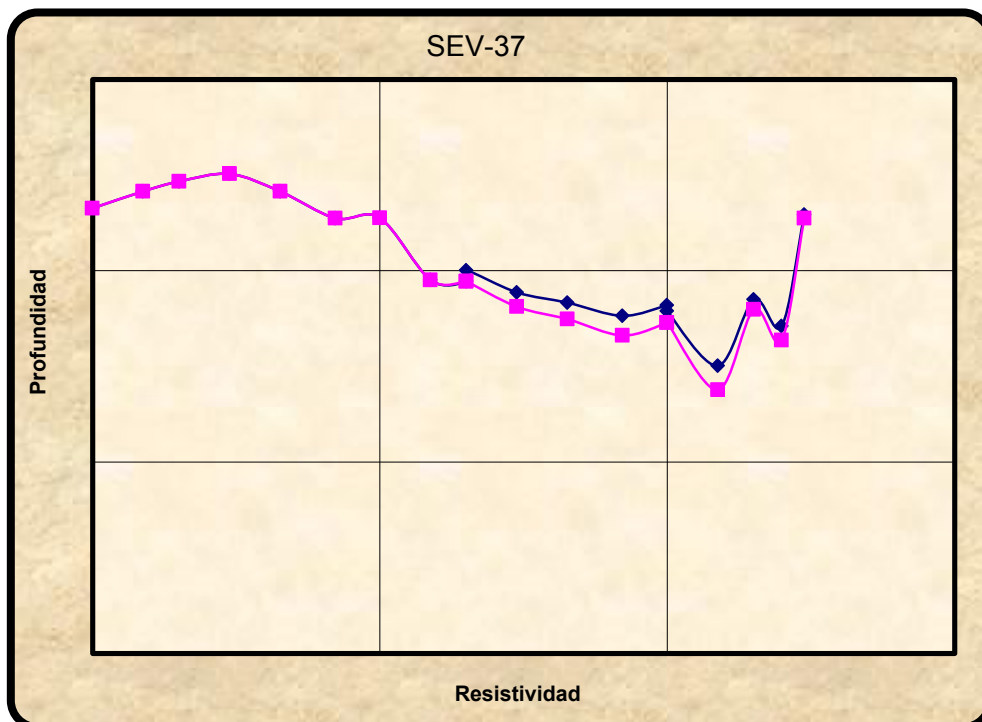
AB/2	MN/2	K (mts)	SP	TXI (miliamperes)	Resistividad (Ohms-mts)	SD
1.00	0.25	5.89	68	6.1	461.20	0.40
1.50	0.25	13.74	58	5.2	429.60	0.70
2.00	0.25	24.75	53	3.9	409.90	0.00
3.00	0.25	56.16	48	2.4	414.00	2.60
4.50	0.25	126.84	43	5.5	391.70	0.30
7.00	0.25	307.40	39	3.6	323.30	0.60
10.00	0.25	627.93	34	16.4	187.90	0.70
15.00	0.25	1,413.00	29	35.0	153.80	0.80
20.00	0.25	2,513.00	26	28.0	227.90	1.20
20.00	4.50	132.60	34	4.0	128.60	0.30
30.00	4.50	307.10	34	16.4	117.00	1.40
45.00	4.50	699.80	34	15.7	61.10	3.10
70.00	4.50	1,703.00	34	27.3	99.89	0.10
100.00	4.50	3,483.60	39	29.1	102.20	2.80
100.00	20.00	753.90	51	29.0	51.13	17.90
150.00	20.00	1,735.70	51	37.5	9.77	4.20
200.00	20.00	3,110.18	48	31.5	115.30	1.20
250.00	20.00	4,877.33	48	36.0	304.40	2.00
300.00	20.00	7,037.10	48	2.3	859.40	4.45





**SEV37**

AB/2	MN/2	K (mts)	SP	TXI (miliamperes)	Resistividad (Ohms-mts)	SD
1.00	0.25	5.89	-25	2.6	212.40	0.70
1.50	0.25	13.74	-21	10.2	260.30	0.00
2.00	0.25	24.75	-21	9.6	293.20	0.10
3.00	0.25	56.16	-21	13.0	320.80	0.00
4.50	0.25	126.84	-19	6.9	259.70	0.20
7.00	0.25	307.40	-19	8.6	188.10	0.10
10.00	0.25	627.93	-17	10.7	188.80	0.30
15.00	0.25	1,413.00	-14	51.5	89.52	1.00
20.00	0.25	2,513.00	-14	85.0	88.16	0.50
20.00	4.50	132.60	39	10.8	100.40	0.00
30.00	4.50	307.10	34	42.1	77.06	0.10
45.00	4.50	699.80	34	54.1	68.10	0.10
70.00	4.50	1,703.00	35	64.3	58.13	0.00
100.00	4.50	3,483.60	24	61.1	65.83	0.40
100.00	20.00	753.90	-29	60.4	61.64	0.00
150.00	20.00	1,735.70	-36	44.9	31.88	0.30
200.00	20.00	3,110.18	-39	35.7	70.73	1.50
250.00	20.00	4,877.33	-43	77.5	51.38	1.00
300.00	20.00	7,037.10	-48	38.3	196.50	1.10



**SEV50**

AB/2	MN/2	K (mts)	SP	TXI (miliamperes)	Resistividad (Ohms-mts)	SD
1.00	0.25	5.89	51	5.8	87.58	0.10
1.50	0.25	13.74	48	5.2	82.60	0.00
2.00	0.25	24.75	46	8.2	77.42	0.10
3.00	0.25	56.16	46	8.1	71.78	0.00
4.50	0.25	126.84	43	8.1	68.54	0.20
7.00	0.25	307.40	43	14.7	67.73	0.10
10.00	0.25	627.93	41	28.0	67.26	6.50
15.00	0.25	1,413.00	41	35.6	80.67	1.40
20.00	0.25	2,513.00	39	14.6	132.70	76.20
20.00	4.50	132.60	51	13.6	34.99	9.10
30.00	4.50	307.10	41	8.5	85.59	0.30
45.00	4.50	699.80	39	45.8	75.59	0.10
70.00	4.50	1,703.00	122	0.4	24.70	34.00
100.00	4.50	3,483.60	34	50.0	90.04	0.40
100.00	20.00	753.90	78	49.7	36.97	0.30
150.00	20.00	1,735.70	70	64.7	43.41	0.30
200.00	20.00	3,110.18	65	47.7	34.39	0.90
250.00	20.00	4,877.33	53	33.1	130.30	24.30
300.00	20.00	7,037.10	56	46.3	167.50	1.50

