

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

**ESTUDIO DE PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA
DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO YAQUI,
SONORA, MÉXICO**

TESIS

Que para obtener el Título de:
GEÓLOGO

Presenta:

LUIS ALBERTO LÓPEZ JIMÉNEZ

Hermosillo, Sonora,

Marzo de 2005.

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Departamento de Geología

Tel. 259-21-10 Fax. 259-21-11

Hermosillo, Sonora a 24 de Febrero de 2005

M.C. FRANCISCO J. GRIJALVA NORIEGA
Jefe del Dpto. de Geología
Universidad de Sonora
P r e s e n t e

Por este conducto me permito someter a su consideración el siguiente tema de Tesis:

**“ESTUDIO DE PROSPECCION HIDROGEOLOGICA DE LA CUENCA ALTA
DEL RIO YAQUI, SONORA, MEXICO”.**

Esto es con el fin de que el Pasante:

LUIS ALBERTO LOPEZ JIMENEZ

Pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Lic. en Geología.
En espera de su respuesta, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

M.C. MIGUEL RANGEL MEDINA
Director de Tesis

M.C. ISMAEL MINJAREZ SOSA
Co-Director de Tesis

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



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

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

DE MIS HIJOS
 HARA MI GRANDEZA

28 de Febrero, 2005.

M.C. MIGUEL RANGEL MEDINA
 Director de Tesis
M.C. ISMAEL MINJAREZ SOSA
 Co-Director de Tesis
 Presente.-

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

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO YAQUI, SONORA, MÉXICO”

Esto es con el fin de que el alumno:

LUIS ALBERTO LOPEZ JIMÉNEZ

pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su Título. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

M.C. ISMAEL MINJAREZ SOSA
M.C. JOSE ALFREDO OCHOA GRANILLO
M.C. MIGUEL RANGEL MEDINA

PRESIDENTE
SECRETARIO
VOCAL

Sin otro en particular, quedo de Ustedes

ATENTAMENTE

M.C. FRANCISCO J. GRIJALVA NORIEGA
JEFE DEL DEPARTAMENTO.



EL SABER DE MIS HIJOS
 HARA MI GRANDEZA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

C.c.p. Interesado.



NOMBRE DE LA TESIS:

“ESTUDIO DE PROSPECCION HIDROGEOLOGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO YAQUI, SONORA, MEXICO”

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

LUIS ALBERTO LOPEZ JIMENEZ

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

Ismael Minjarez Sosa
M.C. ISMAEL MINJAREZ SOSA

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

Jose Alfredo Ochoa Granillo
M.C. JOSE ALFREDO OCHOA GRANILLO

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

Miguel Rangel Medina
M.C. MIGUEL RANGEL MEDINA

ATENTAMENTE
“EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA”

Francisco Javier Grijalva Noriega
M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA
JEFE DE DEPARTAMENTO



EL SABER DE MIS HIJOS
 HARA MI GRANDEZA
 DEPARTAMENTO
 DE GEOLOGIA

Dedicatoria

Primeramente le agradezco a Dios que me haya permitido terminar una etapa más de vida. Por haberle dado la fuerza y valor a mi madre, para apoyarme a realizar esta meta.

También quiero dedicar este trabajo de Tesis con mucho cariño y amor, a mi madre, la persona que siempre me ha apoyado en las buenas y en las malas. Le quiero dar las gracias por todo lo que soy, y que gracias a sus sabios consejos me han ayudado a salir adelante, con mucho sacrificio y esfuerzo.

A mis hermanos, Francisco Nicolás y Brenda Patricia, que siempre me estuvieron alentando a salir adelante, gracias por brindarme su apoyo moral cuando más lo necesitaba.

A mi tío Martín, persona que ha sido como mi padre, que desde la infancia me ha apoyado en todos los aspectos y que gracias a sus consejos que nunca olvidare, me ha llevado a ser una persona capaz de lograr mis propias metas.

También quiero agradecer de ante mano, con mucho amor y cariño a Andrea Manzanares, por haber estado a mi lado en momentos tanto difíciles como de felicidad. Por motivarme a seguir adquiriendo más conocimientos.

Agradecimientos

Sin duda alguna, quiero agradecer a mi director de Tesis M.C. Miguel Rangel Medina, por su tiempo dedicado incondicionalmente, su apoyo, por los consejos que me ha brindado como Maestro y por la gran paciencia que ha tenido en el transcurso de la realización de esta investigación.

A los M.C. Ismael Minjarez y Alfredo Ochoa, por ser mis sinodales y por haberme apoyado a que este trabajo se realizara.

Al Geólogo Francisco Romero por brindarme parte de su tiempo y conocimientos para que se esta se pudiera llevar a cabo.

A mis compadres Geólogos German Figueroa y Jorge Ortiz, quienes siempre me han brindado sus consejos y conocimientos en esta etapa de mi vida.

A toda la familia Jiménez y Avechuco que siempre me alentaron a alcanzar mis metas.

A mis amigos Ulises, Rogelio, Alejandro, Ramón, Laura Ramírez, Samanta y Grisel, quienes siempre me motivaron incondicionalmente para que esta investigación se realizara.

INDICE

CAPITULOS Y SUBCAPITULOS	PAGINA
1.- INTRODUCCION	
1.1. Características del área de estudio	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Metas específicas	1
1.3. Marco Teórico	2
1.4. Metodología de trabajo	2
2.- GENERALIDADES	
2.1. Localización Geográfica	3
2.2. Flora y fauna	3
2.3. Principales actividades y volúmenes extraídos	5
3.- HIDROCLIMATOLOGÍA	
3.1. Clasificación climática	7
3.2. Temperatura	12
3.3. Precipitación	23
3.4. Evaporación potencial	35
3.5. Evapotranspiración real	42
3.6. Hidrografía de la cuenca	45
3.6.1. Escurrimientos	45
3.6.2. Sistemas de drenaje	47
3.7. Hidrología de la cuenca	47
3.7.1. Sistema de presas	47
3.7.2. Hidrometría	50
3.8. Características fisiográficas de la cuenca del Río Yaqui	53
3.8.1. Elementos fisiográficos	53
3.8.2. Hidromorfotectónica	56
4.- GEOLOGÍA	
4.1. Geología Superficial	58
4.2. Geología del subsuelo	60
4.3. Geología estructural	61
5.- HIDROGEOLOGÍA	
5.1. División administrativa de acuíferos	65
5.2. Unidades hidrogeológicas por subcuenca	67
5.3. Censo de aprovechamientos y usos del agua	77
5.3.1. Características de los aprovechamientos hidráulicos	79
5.4. Piezometría	89
5.4.1. Configuración del nivel estático por subcuenca	89
5.4.2. Configuración de Elevación de nivel estático por subcuenca	96
6.- ZONAS FACTIBLES PARA LA PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS	104
7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
8.- REFERENCIAS CITADAS	115

1.-INTRODUCCIÓN

1.1. Características del área de estudio.

La cuenca Río Yaqui representa una de las cuencas más importantes en el estado de Sonora. Queda comprendida dentro de la Región Hidrológica RH9 Sonora Sur, abarca una extensión de 73,609 kilómetros cuadrados, lo que representa el 29.98% del territorio estatal, es decir 67,628 Km. En algunas zonas serranas, alcanza elevaciones de hasta 3000 m.s.n.m.

La cuenca del Río Yaqui colinda en su parte norte-oeste con la cuenca del río Sonora y al sur-oeste con la cuenca del río Mátape. En la porción sur-central esta limitada por la cuenca del río Mayo. A lo largo de su límite este, es vecina de las Cuencas Cerradas del Norte (Casas Grandes).

En la zona serrana, se registra una precipitación promedio que varía de 1800mm, hasta 200mm en sus partes media y baja. Tiene una precipitación media anual de 527 milímetros y un coeficiente de escurrimiento de 7.9%, de acuerdo a datos de la Comisión Nacional del Agua. El escurrimiento medio anual del Río Yaqui es de 3291.7 Hm³ (CNA, 2002).

En cuanto a infraestructura se refiere, la cuenca Río Yaqui cuenta con un total de 18 presas de almacenamiento, 10 derivadoras y 3760 aprovechamientos subterráneos (REPDA) representados por pozos, norias y manantiales. Sobre el cauce del río, en cuyos márgenes floreció la Tribu Yaqui, se encuentran las presas Lázaro Cárdenas o Angostura, la Plutarco Elías Calles o El Novillo, y la Álvaro Obregón u Oviáchic, que es la abastecedora del agua para riego agrícola, industrial y doméstica del Valle del Yaqui.

La corriente más importante es el Río Yaqui, el cual nace en la confluencia de los Ríos Bavispe y Papigóchic, aguas abajo de la presa "La Angostura". El volumen medio anual escurrido en el Río Yaqui es alrededor de 2,800 millones de metros cúbicos, presentándose los mayores gastos con las lluvias de verano en la parte alta de la sierra, sin dejar de tener importancia las lluvias de invierno y las nevadas. Se considera que el Río Yaqui termina su escurrimiento en la presa Álvaro Obregón.

I.2. OBJETIVOS

Localizar sitios factibles para la prospección de aguas subterráneas, preferentemente en rocas fisuradas para brindar un abastecimiento sostenible que permita una explotación de agua subterránea a las comunidades de la cuenca alta del Río Yaqui.

1.2.1. Metas específicas

1.- Identificar Unidades hidrogeológicas dentro de las diferentes subcuencas que componen la parte alta de la cuenca Río Yaqui.

2.- Identificar zonas factibles en donde llevar a cabo exploraciones directas e indirectas con el objeto de prospectar acuíferos en rocas fisuradas.

3.- Mostrar la Hidroestratigrafía de las zonas prospectadas en secciones esquemáticas que presenten la columna litológica probable de los sitios recomendados para exploración.

1.3. MARCO TEORICO

El marco teórico del presente trabajo se basó en la definición del término Prospección Hidrogeológica, por lo que el desarrollo y alcance de actividades de esta tesis se cumplieron según lo establece el enunciado: Llevar a cabo una exploración del subsuelo, guiada por el estudio de lo observado en la superficie.

1.4. METODOLOGIA DE TRABAJO

La metodología usada para la realización de este estudio consistió de varias etapas:

a) Recopilación, análisis e integración de la información disponible.

A través de integración e interpretación de la información recopilada, contenida en documentos cartográficos, informes, boletines, realizados tanto en dependencias públicas o privadas como esta institución; que defina la situación actual del conocimiento geológico e hidrogeológico del área de estudio, así como de climatología, topografía y toda que sea de interés para este estudio. Se selecciono e integro la información útil para el buen desarrollo de este estudio, evaluando la cantidad y calidad de la información recopilada. Con esta información se constato los valores de precipitación y temperatura media anual y se describió la hidrografía, fisiografía, hidrología, climatología, y geología del subsuelo.

Clima. Se describió brevemente los tipos de clima predominantes con auxilio de la carta climática 1:1000 000, enunciándolos en orden de importancia y relacionándolos con datos medios y totales anuales de temperatura, precipitación; la morfología de la zona y puntos geográficos.

Geología. Se analizo la información existente sobre la geología del área de estudio y se describo en base a la carta geológica 1:250 000 e informe, ordenándolas por eras, periodos, y épocas según sea el caso. También se hizo una interpretación de las posibles unidades hidrogeológicas presentes en el subsuelo.

Hidrología Superficial. Se realizo un análisis de la información disponible sobre la hidrología superficial, definiendo la región hidrológica, ríos, escurrimientos, flujo base, calculo de velocidad media y coeficiente de escurrimiento para cada parte de la cuenca en estudio.

Hidrogeología. En este tema se relaciono las condiciones geológicas con las manifestaciones del agua subterránea para describir los acuíferos de mayor importancia y sus características principales como son: tipo, origen, material que lo constituye, uso, localización y condición geohidrológica. Además se menciona en forma breve, el desarrollo económico que deriva en estas zonas, Así como también número total de obras y tipo; incluye niveles tanto estáticos como dinámicos, gastos, dirección de flujo y recarga.

La descripción del acuífero contiene todas o algunas de las características geohidrológicas, dependiendo de la importancia, densidad de obras, capacidad acuífera gastos etc.

Censo de aprovechamientos. En esta etapa se preparo el material que comprende la zona o región a trabajar; así como la existencia de la información correspondiente. Se revisó el inventario total sobre el número, tipo, características constructivas, dotación volumétrica de todos los pozos registrados en el REPDA.

Se lleva a cabo la verificación e integración de 323 aprovechamientos, obteniendo su ubicación geográfica con GPS en campañas de campo. Se investigo el número, localización, uso entre otras características de los aprovechamientos hidráulicos de la región, como: nombre y datos del concesionario, localización y datos generales del aprovechamiento, características constructivas de la captación, piezometría, régimen de operación, usos principales del agua y volumen extraído, si es para uso agrícola que superficie es regada, cultivos principales, número de ciclos agrícolas, y habitantes servidos.

Como actividad final, en esta etapa, se llevo acabo un intercambio de opiniones entre los especialistas, con el fin de uniformizar criterios, evaluar la información recopilada; su grado de confiabilidad que tienen los trabajos consultados y el panorama que presentan en cuanto al recurso agua.

Edición final e impresión. Se uniformizo la presentación de los resultados obtenidos en estudio. En el informe final se incluye la información de campo y gabinete obtenida durante el desarrollo de las diferentes actividades.

2.- GENERALIDADES

2.1. Localización geográfica

De manera general, la cuenca Río Yaqui queda limitada por los paralelos 500,000 al Oeste, y 700,000 hacia el Este. En el Norte, justo con la frontera con Estados Unidos, esta limitada por los meridianos 3,467,000 y 3,000,000 en el sur.

La porción superior de la cuenca Río Yaqui representa el área de interés para este estudio, estas comprenden las subcuencas del Río Agua Prieta, Río Batepito, Río Bavispe Bajo, Río Bavispe-P. La Angostura, Río Moctezuma, Río Papigóchic, las cuales en conjunto conforman la cuenca alta del Río Yaqui en su porción superior en el estado de Sonora.

El área de estudio abarca en parte, y en algunos casos en su totalidad, a los municipios de Naco, Agua Prieta, Fronteras, Nacozari de García, Bavispe, Arizpe, Cumpas, Villa Hidalgo, Bacerac, Huachinera, Moctezuma, Huásabas, Granados, Divisaderos, Bacadehuachic, Nácori Chico, Tepache (Figura 1).

2.2. Flora y Fauna

En el área de estudio existen pastizales naturales, denominados también zacatales como navajita belluda, navajita delgada, zacate galleta, así como zacate tobozo y zacatón; en su parte central existen agrupaciones de bosques de encinos y pinos.

Entre las especies de fauna silvestre de importancia o con alguna categoría de protección se tienen Oso negro, puercoespín, puma, venado cola blanca, nutria, búho manchado, águila real, guajolote silvestre, tortuga del desierto, salamandras, rana leopardo y víboras de cascabel. Así como también, sobre el río Bavispe es factible la presencia de águila calva, guacamaya verde, cotorra serrana, jaguar, ocelote y jaguarundi.

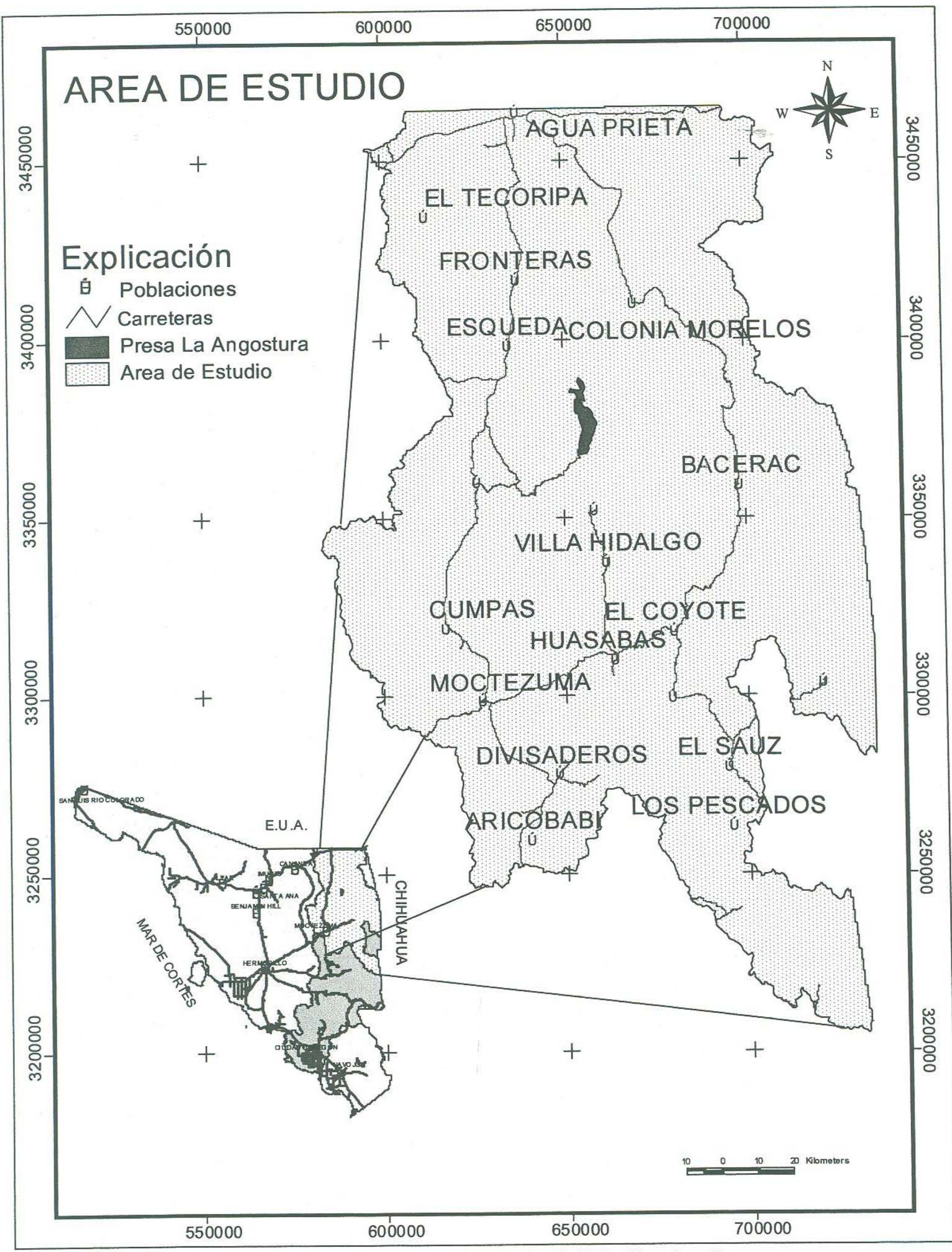


Figura 1.- Localización de la cuenca alta del Río Yaqui en Sonora.

2.3. Principales Actividades y Volúmenes extraídos

En el registro de la base datos del Registro Público de Derechos del Agua se tiene que para la cuenca alta del Río Yaqui, existen un total de 1564 aprovechamientos subterráneos (Figura 2).

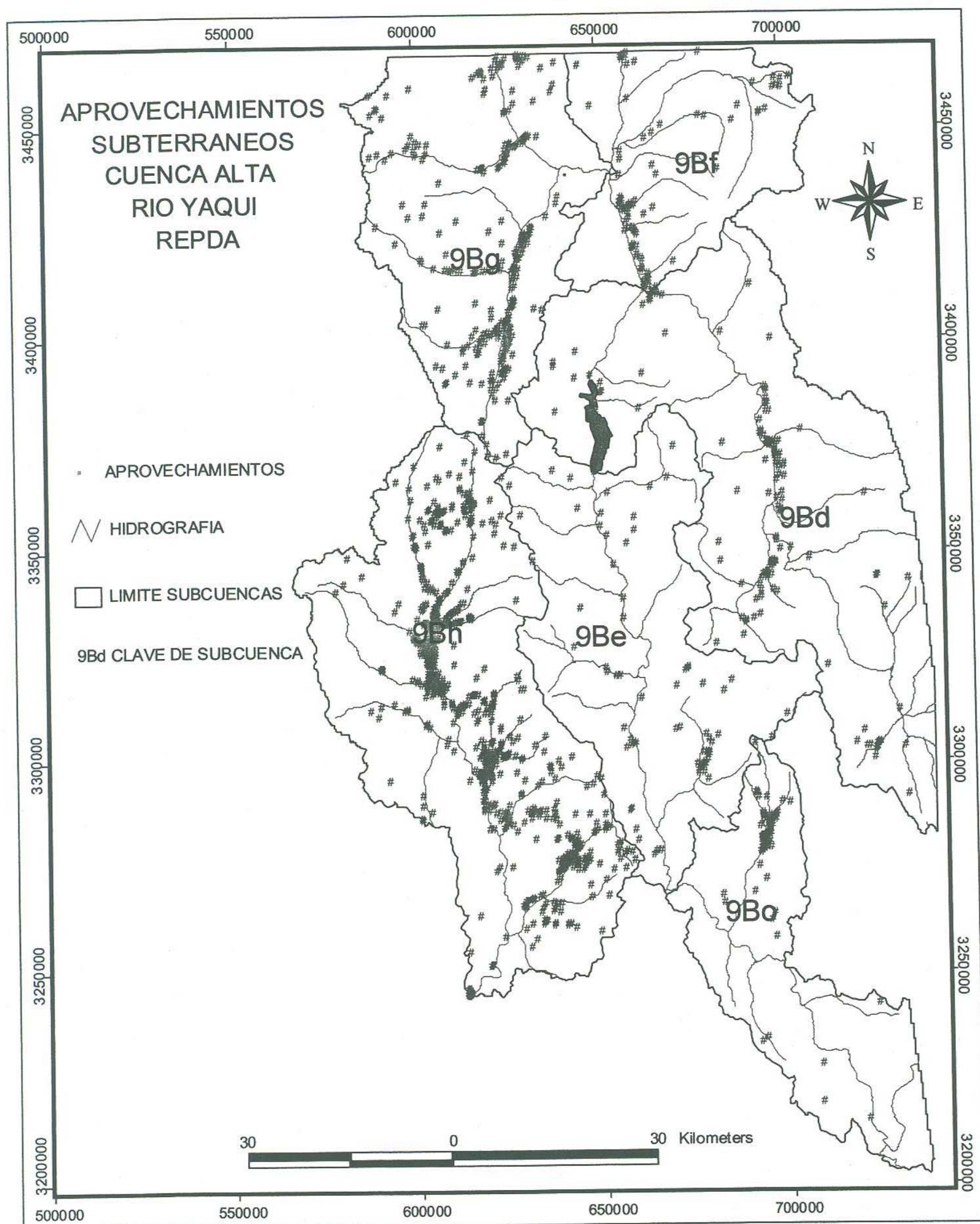


Figura 2.- Aprovechamientos Localizados en la Cuenca Alta del Río Yaqui (Fuente REPDA).

El uso principal del agua en la cuenca alta del Río Yaqui, es la actividad pecuaria, en donde el volumen total concesionado es del 52 %. En segundo termino se encuentra el uso agrícola con un 27.5 %. En menor cantidad, se encuentra el uso público urbano con un 17 %, seguida del uso domestico, el cual utiliza el 3 %. El agua utilizada para uso industrial es mínimo y solo representa el 0.4 % del total concesionado para la cuenca alta (Figura 3).

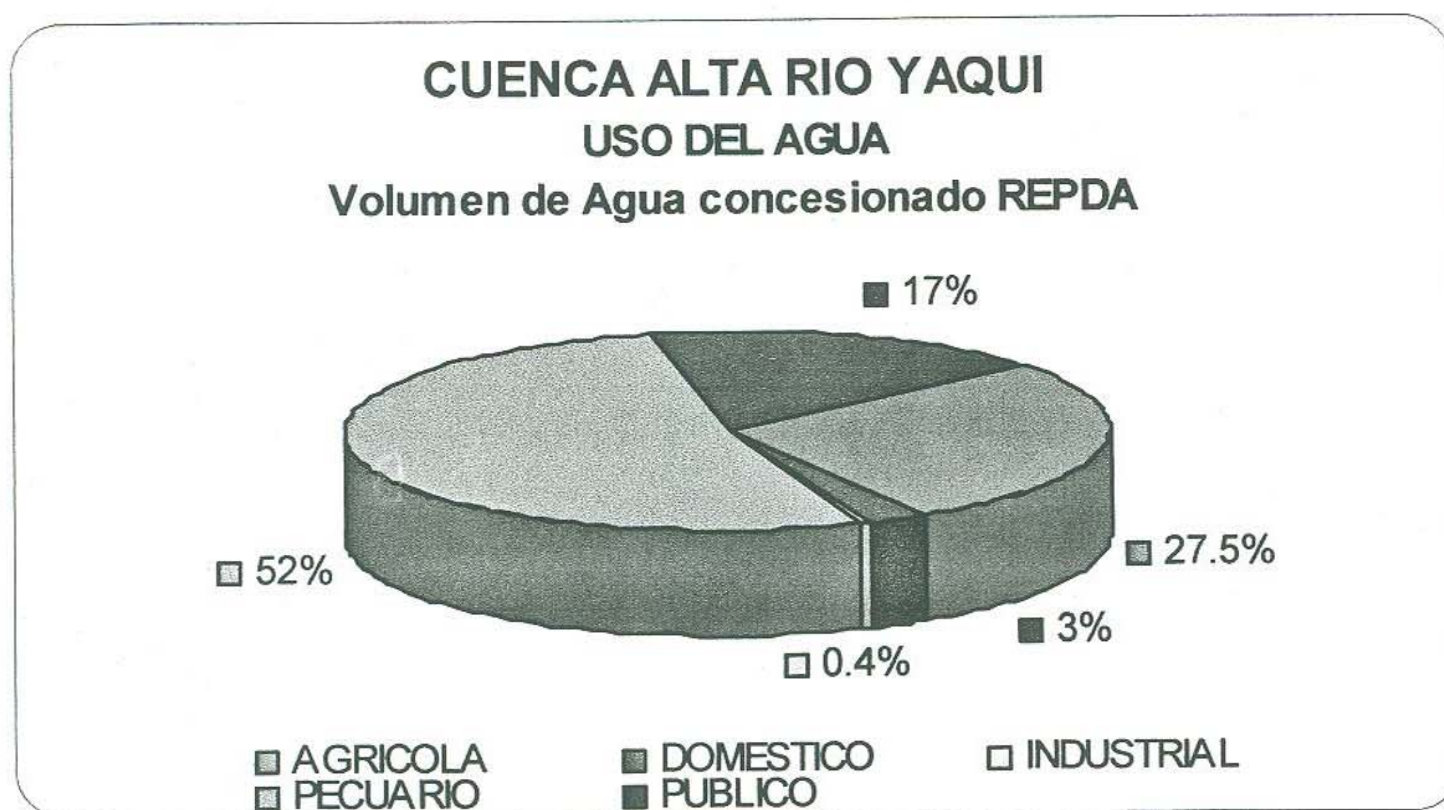


Figura 3-. Uso principal del agua en la Cuenca Alta Río Yaqui (Fuente: REPDA)

Los datos contenidos en el registro para cada aprovechamiento, son el título, clave del aprovechamiento, usos principales, volumen de extracción concesionados, ubicación en coordenadas UTM o Geográficas, municipio, clave del acuífero, profundidad, diámetro de las obras, diámetro de ademe, gasto, diámetro de descarga, tipo de bomba y tipo de motor.

La distribución de los aprovechamientos en la parte alta de la cuenca Río Yaqui no es muy homogénea. La mayoría de los aprovechamientos se localizan hacia la parte Oeste, particularmente en las subcuencas Agua Prieta y Moctezuma, y una concentración menor en las subcuencas Río Batepito, Río Bavispe Bajo, Río Papigóchic y Río Bavispe- Presa La Angostura.

Considerando la información contenida en el REPDA, el volumen total anual de agua para la cuenca alta del Río yaqui es de 70,505,987 hm³. Dentro de esta, las subcuencas del Río Agua Prieta y Río Moctezuma son las que representan los volúmenes mayores de extracción. Las subcuencas con menor volumen concesionado son las del Río Papigóchic y Río Bavispe- Presa la angostura.(Tabla 1).

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA VOLUMEN DE AGUA CONCESIONADO POR SUBCUENCA (REPDA) CUENCA ALTA RIO YAQUI	
SUBCUENCAS ALTAS	VOLUMEN (hm ³)
RIO AGUA PRIETA	30,989,137
RIO BATEPITO	6,374,201
RIO BAVISPE BAJO	5,517,249
RIO BAVISPE-PRESA LA ANGOSTURA	1,446,550
RIO MOCTEZUMA	25,899,066
RIO PAPIGOCHIC	279,784
TOTAL	70,505,987

Tabla 1.- Volumen anual de agua concesionado para cada subcuenca en la cuenca Alta del Río Yaqui.

3.- HIDROCLIMATOLOGIA

3.1. Clasificación climática

De los climas predominantes en la región de estudio destacan el seco, semiseco y subhúmedo, con sus variantes de tipo cálido, semicálido, templado, y en algunos casos semifrío, específicamente para el subhúmedo con humedad media y alta. (Figura 4).

Clima seco. El clima seco semicálido se presenta hacia la parte Suroeste del área de estudio, abarcando una franja desde las cercanías del poblado de El Crucero, pasando por Los Hoyos, Cumpas, Moctezuma, Divisaderos, Tepache y el ejido Casa Grande. Otra franja se manifiesta mas hacia el centro-Noreste, abarcando una zona desde Los Embudos hasta Villa Hidalgo. En estas zonas, el régimen de lluvias se presenta en verano, con lluvias invernales mayores del 10.2 %. La temperatura media anual es mayor de 18 °C, representando una zona semicalida con invierno fresco. Como se puede observar en la figura (4), este tipo de clima se presenta en la zonas mas elevadas del área de estudio.

En la zona comprendida por las poblaciones de Los Cumaros, Agua Prieta, Las Anitas, El Porvenir, Santa Rosa, La Isla y Cuchuta, entre otros, se alberga el clima seco templado, con régimen de lluvias en verano y lluvias invernales mayores al 10.2%. El verano en esta zona es cálido y presenta temperaturas medias anuales entre 12 y 18°C.

Clima Semiseco.. El clima semiseco semicálido abarca gran parte del área de estudio, desde las inmundaciones de Villa Hidalgo, Nácori chico, El Sauz hasta Los Pescados, cubre gran parte de la Subcuenca Papigochic. Este tipo de clima es característico de un régimen de lluvias en verano, y lluvias invernales mayores al 10.2%. La temperatura media anual es mayor de 18 °C indicando un clima con invierno fresco.

Al igual que el anterior, el clima semiseco templado, se encuentra ampliamente distribuido en la zona de estudio, sin embargo, este ocurre en la porción norte, es decir, en las zonas más altas del

área de estudio. El régimen de lluvia es característico en verano, y lluvias invernales mayores del 10.2%. El clima es templado con verano cálido y temperatura media anual entre 12 y 18°C.

Clima Subhúmedo. De los más secos de los subhúmedos, semicálidos con invierno fresco y régimen de lluvias en verano, se presenta solo en pequeñas porciones, hacia el centro y sureste del área, en la parte central se encuentra ubicada en la sierra al Oeste de Bavispe y la porción sureste se localiza en las poblaciones de San Rafael, San Antonio, Mesa Tres Ríos, Rancho Nuevo y el Rincón de Guadalupe. Este representa los climas más secos de los subhúmedos, con lluvias en verano y temperatura media de 12-18 °C, siendo templado.

El clima subhúmedo con humedad media, de tipo templado, se presenta en la porción norte, abarcando gran parte de la Subcuenca Río Agua Prieta y en los límites del estado de Sonora con Chihuahua, particularmente en el área de La Mesa Prieta. Representa un clima intermedio en cuanto al grado de humedad, con régimen de lluvias en verano.

Los climas subhúmedos con humedad media, de tipo semifrío, se presentan en dos porciones muy pequeñas, hacia el límite lateral de la zona de estudio. Específicamente, en el Rancho Cienega de Horcones en el extremo Este y Rancho Pitaycachi en el extremo Noreste.

Finalmente, el clima subhúmedo con humedad alta, representa a los más húmedos de los subhúmedos, de tipo semifrío, esta se manifiesta en la parte Este del área de estudio, en una pequeña porción, dentro de la zona de La Mesa Tres Ríos, con régimen de lluvias en verano.

Para el análisis climatológico; se consideraron 9 estaciones climatológicas, las cuales se encuentran ubicadas en Agua Prieta, Naco, Colonia Morelos, Nacozeni, Bacerac, P. La Angostura, El Tapiro, Granados y Bacadéhuachi, de las cuales se recopiló la información más completa de los registros de datos. (Tabla 2 y Figura 5)

La base de datos fue obtenida de los archivos históricos pertenecientes a la Gerencia Regional Noroeste de la Comisión Nacional del Agua (CNA), en esta ciudad.











Para el análisis climatológico de las estaciones seleccionadas se consideraron las precipitaciones medias mensuales, y se calcularon las medias totales anuales. De igual forma, para la evaporación y la temperatura se tomaron en cuenta los valores medios mensuales y se obtuvieron las medias totales anuales para cada estación.

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA LOCALIZACION DE ESTACIONES CLIMATOLOGICAS ANALIZADAS						
No.	ESTACION	EDO.	MUNICIPIO	COORDENADAS UTM		
				LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
1	AGUA PRIETA	SON	AGUA PRIETA	3466889	638254	1232
2	BACADEHUACHI	SON	BACADEHUACHI	3298810.2	679480.9	728
3	BACERAC	SON	BACERAC	3359813.1	698576.4	1066
4	COL. MORELOS	SON	AGUA PRIETA	3411744.5	670096.8	872
5	EL TAPIRO	SON	CUMPAS	3345277.9	613915.2	903
6	GRANADOS	SON	GRANADOS	3304422.8	663069.9	548
7	NACUZARI	SON	NACUZARI	3360884	625798.2	1162
8	P. LA ANGOSTURA	SON	VILLA HIDALGO	3368652	655029	860
9	NACO	SON	NACO	3465975	600113	1441

Tabla 2.- Estaciones climatológicas analizadas

TIPOS DE CLIMAS EN LA CUENCA ALTA RIO YAQUI

LEYENDA

-  Seco. Regimen de lluvias en verano. % de lluvia invernal > 10.2. Calidos. TMA > de 22°C. TMMF < 18°C.
-  Seco. Regimen de lluvias en verano. % de lluvia invernal > 10.2. Semicalido con invierno fresco. TMA > 18°C. TMMF < 18°C.
-  Seco. Regimen de lluvias en verano. % de lluvia invernal > 10.2. Templado con verano calido. TMA entre 12 y 18°C.
-  Semiseco. Regimen de lluvias en verano. % de lluvia invernal mayor de 10.2. Templado con verano calido. TMA entre 12 y 18 °C. TMMF entre 3 y 1
-  Semiseco. Regimen de lluvias en verano. % de lluvia invernal mayor de 10.2 Semicalido con invierno fresco. TMA > 18°C. TMMF < 18°C.
-  Subhumedo con humedad media (intermedios en cuanto al grado de humedad) , con regimen de lluvias en verano. Templado.
-  Subhumedo con humedad media (intermedios en cuanto al grado de humedad) , con regimen de lluvias en verano. Semifrio.
-  Subhumedo con humedad alta (los mas humedos de los subhumedos) , con regimen de lluvias en verano. Semifrio.
-  Subhumedo con humedad baja (los mas secos de los subhumedos) , con regimen de lluvias en verano.
-  Area de estudio

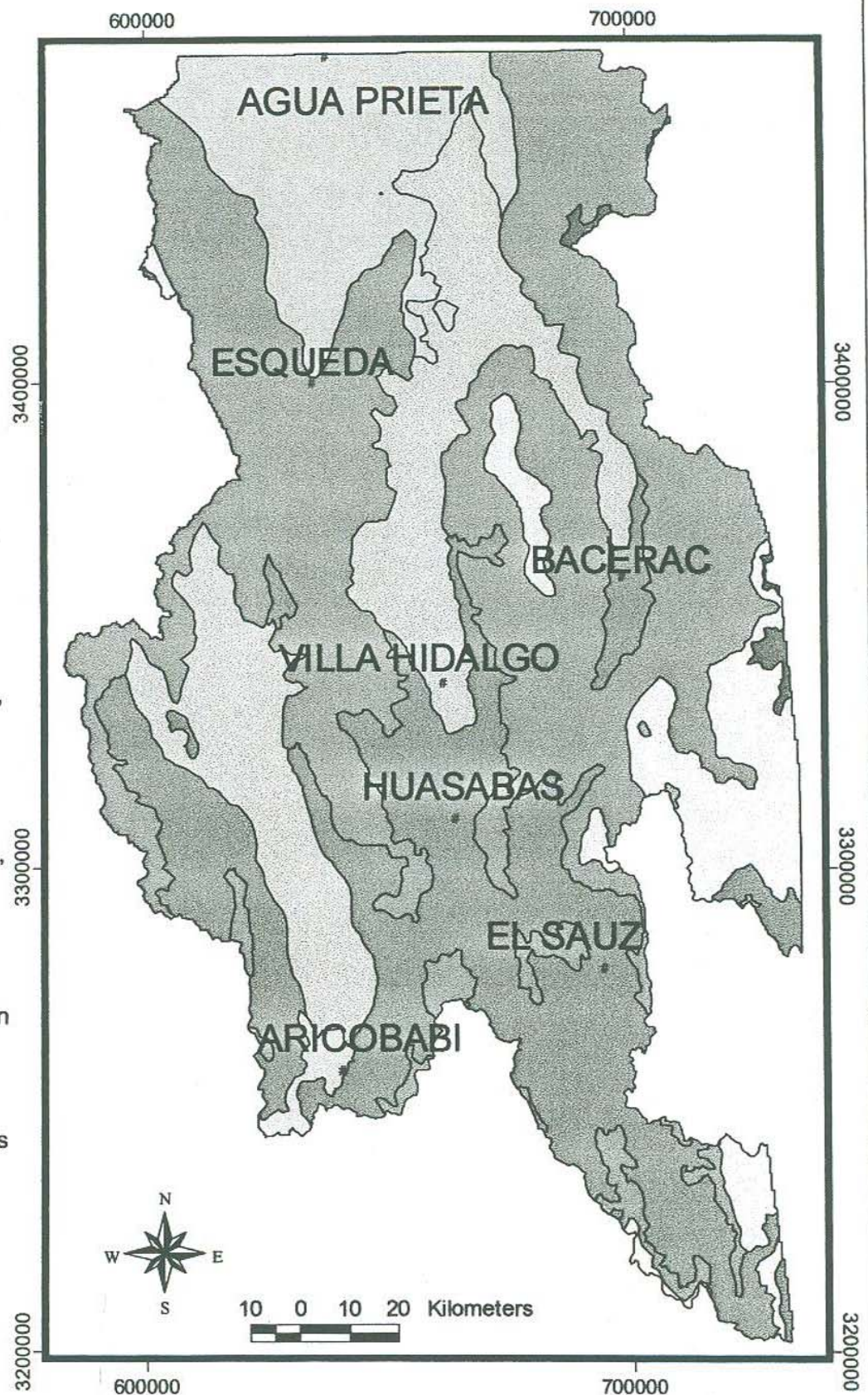


Figura 4.- Climas en la cuenca alta del Río Yaqui en Sonora (Modificado de INEGI, 2004)

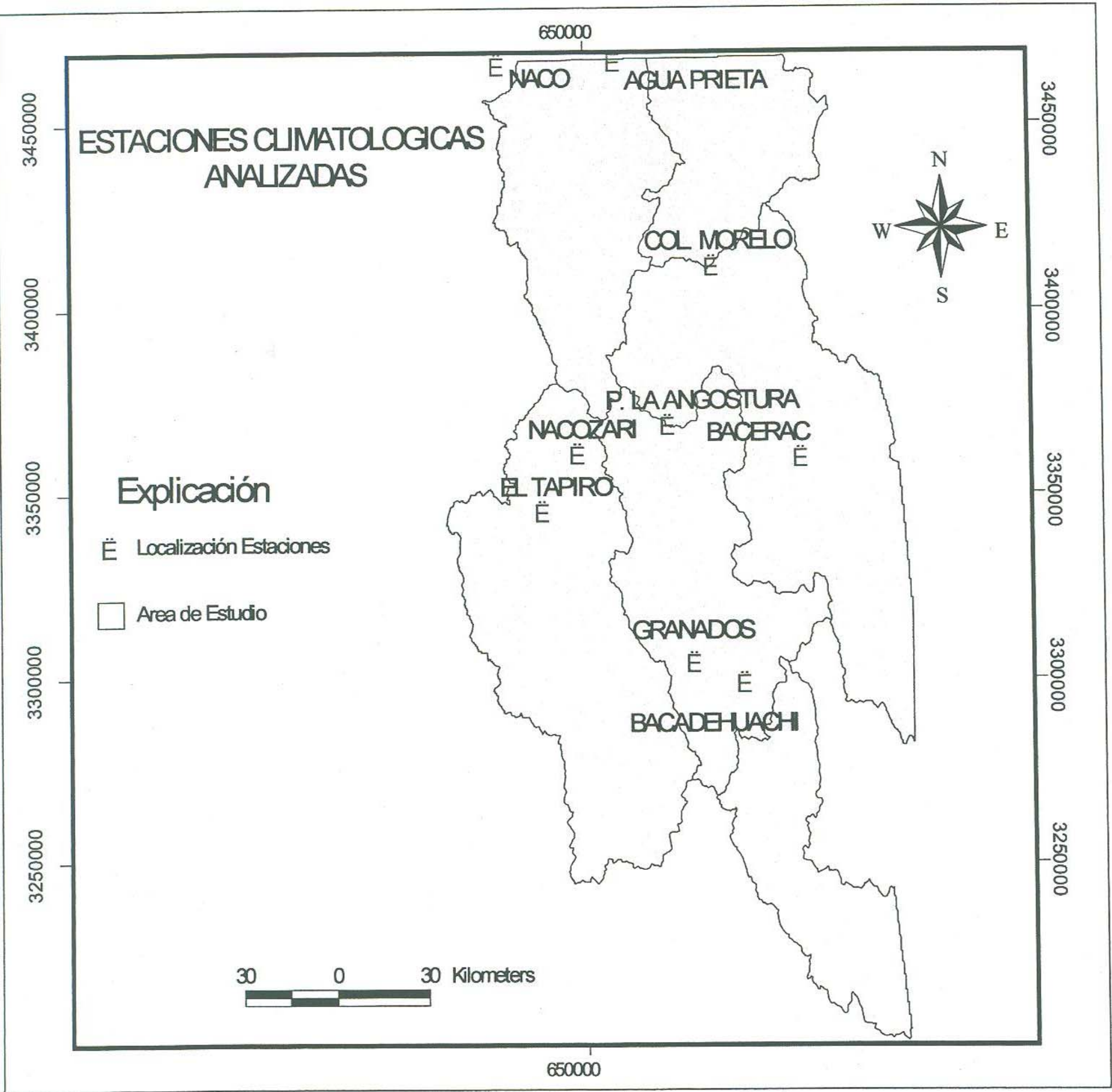


Figura 5.- Estaciones climatológicas analizadas.

3.2. Temperatura

El comportamiento general de la temperatura en la cuenca alta del río Yaqui se describe con base en los promedios obtenidos con los datos existentes. Los valores medios obtenidos para cada estación, se presentan en la tabla 3 , figura 6 y 7. El valor medio de temperatura calculado es de 19.8 °C, con una media mínima de 17 °C para la Estación Agua Prieta y media máxima de 22.4 °C para la Estación Granados.

Además se anexa una gráfica de temperaturas mensuales y anuales promedio para cada una de las estaciones; en ella se puede observar su comportamiento, con una curva asintótica, con su parte mas alta en los meses de verano, siendo la temperatura promedio mensual mayor.

UNIVERSIDAD DE SONORA				
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA				
TEMPERATURA MEDIA ANUAL				
No.	ESTACION	ESTADO	MUNICIPIO	MEDIA (°C)
1	AGUA PRIETA	SON	AGUA PRIETA	17
2	BACADEHUACHI	SON	BACADEHUACHI	21.11
3	BACERAC	SON	BACERAC	20.2
4	COL. MORELOS	SON	AGUA PRIETA	19.1
5	EL TAPIRO	SON	CUMPAS	20.4
6	GRANADOS	SON	GRANADOS	22.4
7	NACUZARI	SON	NACUZARI	19.9
8	P. LA ANGOSTURA	SON	VILLA HIDALGO	21
9	NACO	SON	NACO	17.2
TOTAL				19.8

Tabla 3.- Temperatura media anual en cada estación.

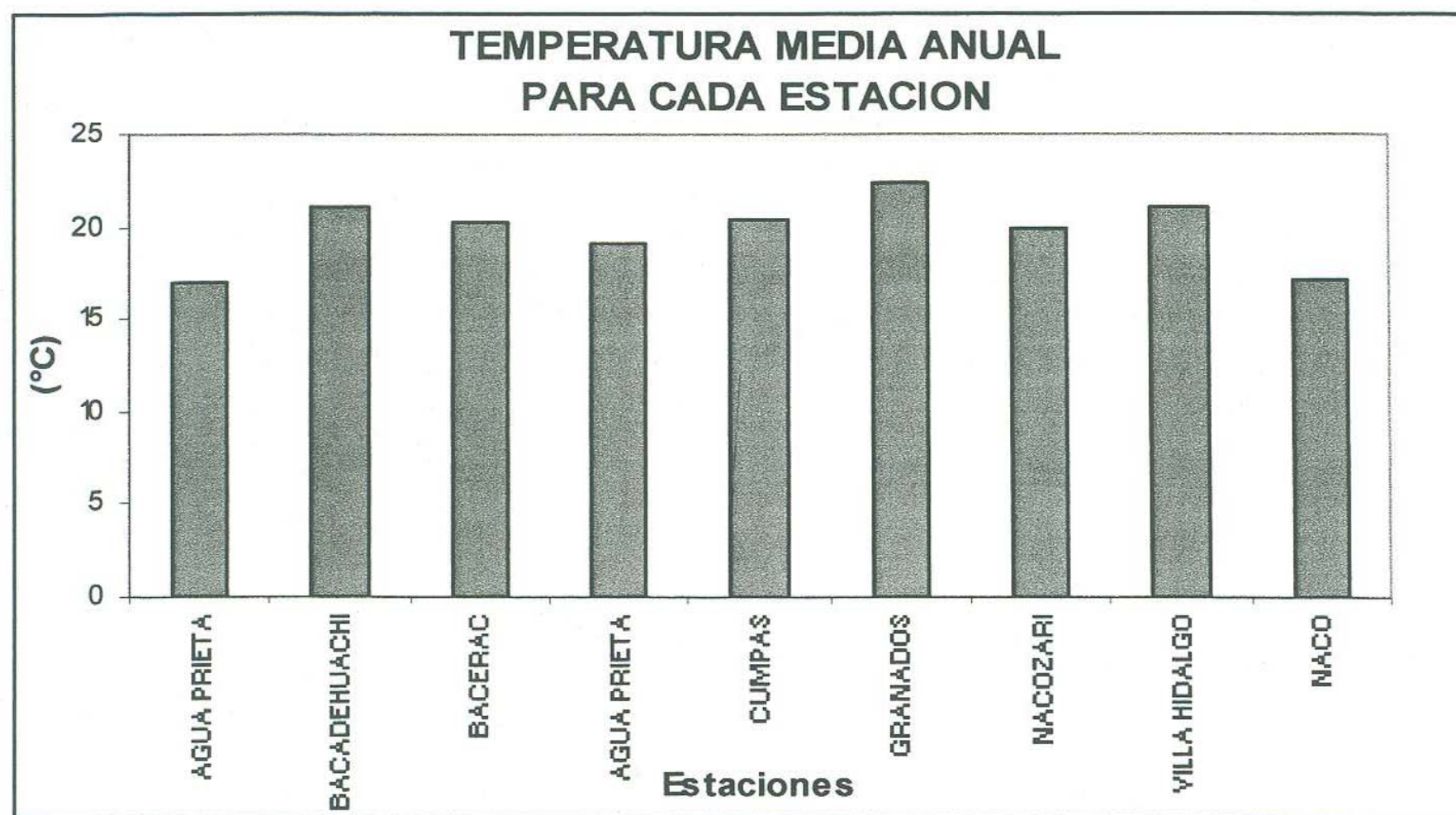


Figura 6.- Temperatura media anual para cada estación.



Figura 7.-Distribución de temperatura media anual en la cuenca alta Río Yaqui.

Estación Agua Prieta: el periodo de análisis es de 1961 a 2003. La temperatura media anual es de 17 ° C, con una máxima de 28.8 ° C en el mes de julio de 1964 y una mínima de 0.3 ° C en diciembre de 1986. La temperatura promedio mensual mayor es la del mes de julio, con 26.0° C, la media para el mes de agosto se encuentra 1.1° C por debajo de la máxima. Los meses mas fríos son enero y diciembre, con promedios de 7.7° C y 7.4 ° C. (Figura 8 y 9)

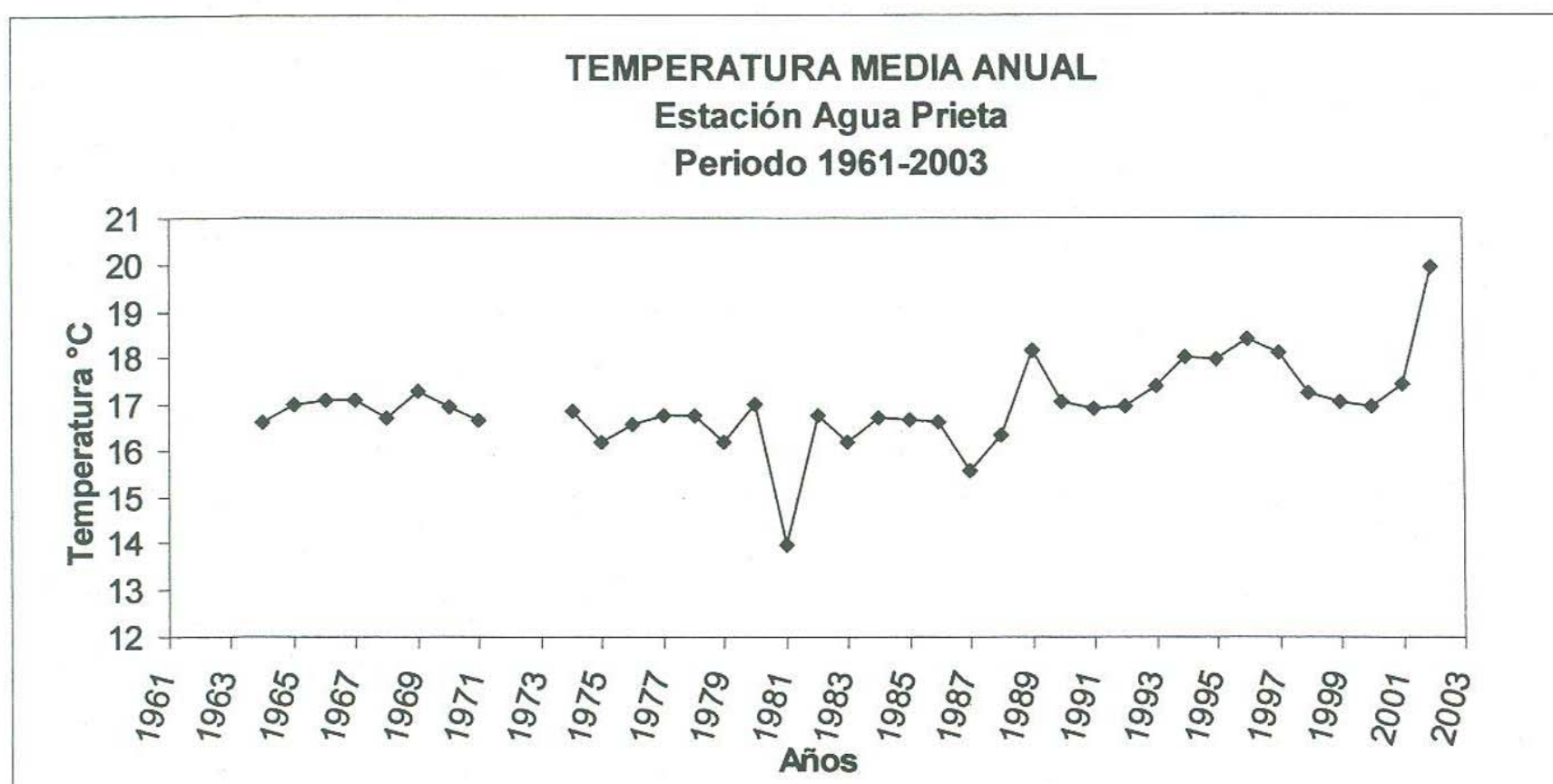


Figura 8.-- Estación Climatológica Agua Prieta, temperatura media anual, periodo 1961- 2003.

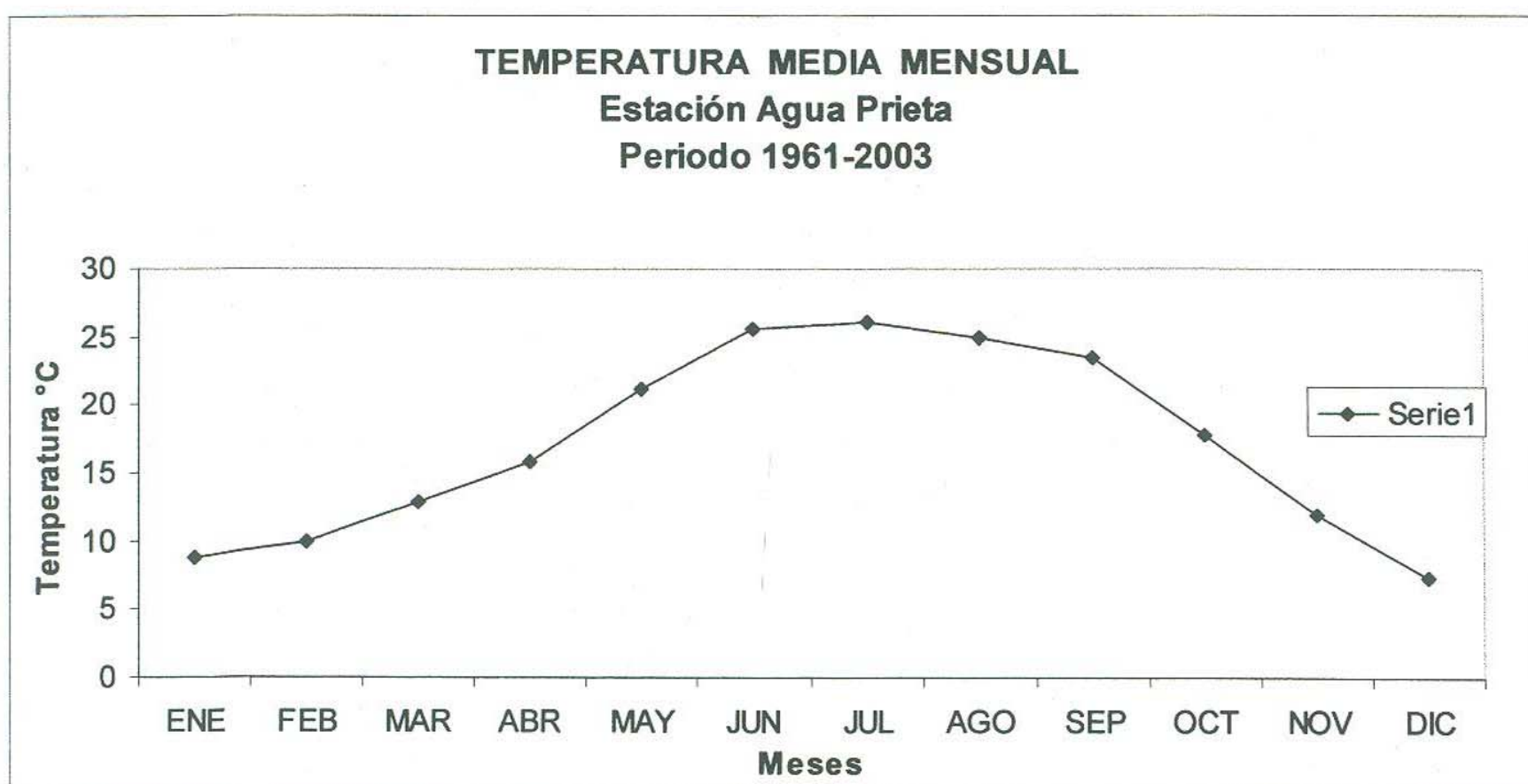


Figura 9.- Estación Climatológica Agua Prieta, temperatura media mensual, periodo 1961- 2003.

Estación Climatológica Bacadéhuachi: el periodo de análisis es de 1964 a 2003, La temperatura media anual es de 24.1 °C, con una máxima 33.7° C en el mes de julio del 2003 y una mínima de 6 ° C en diciembre de 1980. La temperatura promedio mensual mayor es la del mes de junio, con 28.9 °C, la media para el mes de julio se encuentra 0.3 ° C por debajo de la máxima. El mes mas frío es diciembre, con promedio de 6 ° C. (Figura 10 y 11)

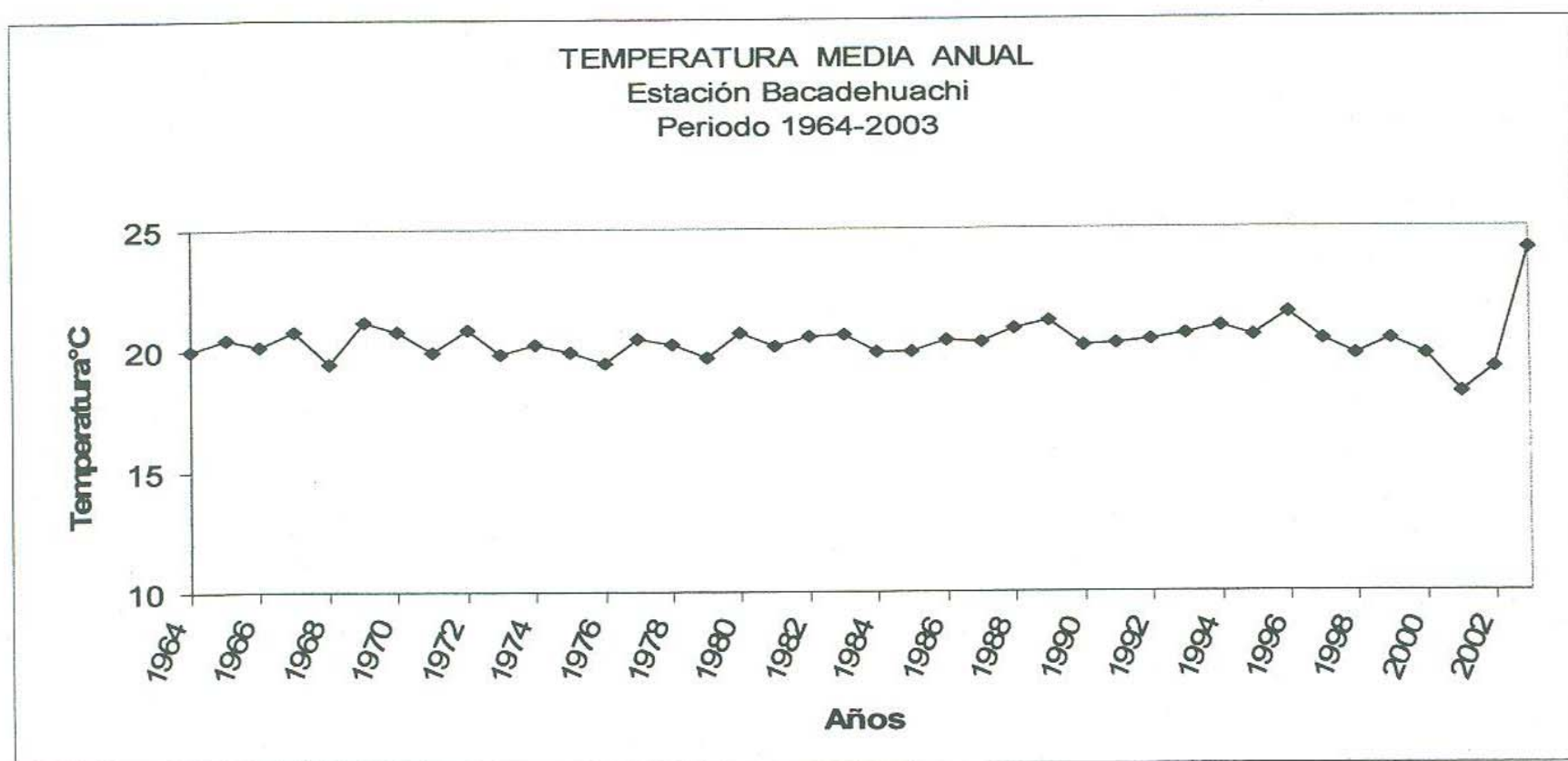


Figura 10.- Estación Climatológica Bacadéhuachi, temperatura media anual, periodo 1964-2003.

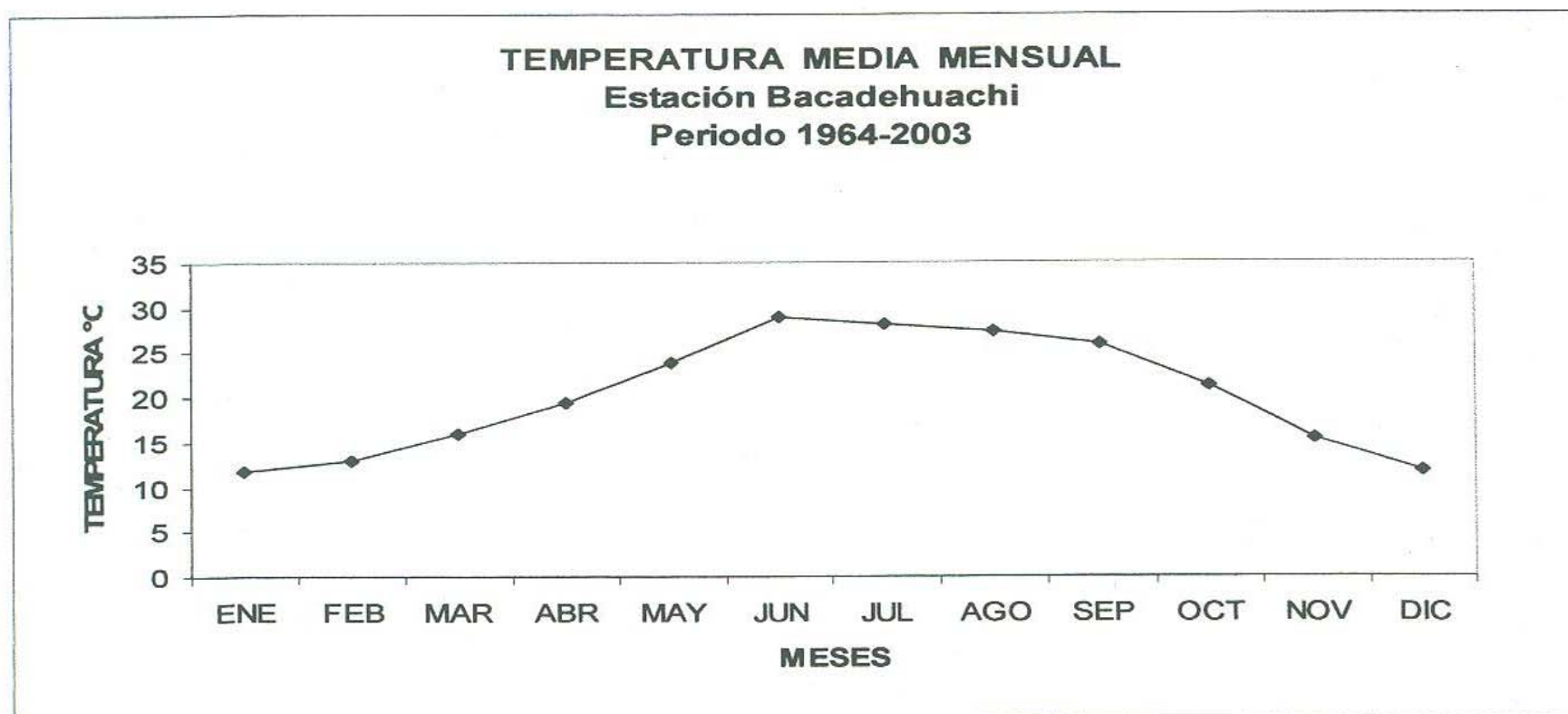


Figura 11.- Estación Climatológica Bacadéhuachi, temperatura media mensual, periodo 1964-2003.

Estación Climatológica Bacerac: El periodo de análisis es de 1992 a 2003, es corto debido a la falta de información. La temperatura media anual es de 21°C, con una máxima de 35.4 °C en el mes de agosto del 2002 y una mínima de 9.3 °C en enero de 1995. La temperatura promedio mensual mayor es la del mes de junio, con 29.1 °C, la media para el mes de agosto se encuentra 0.4 °C por debajo de la máxima. Los meses mas fríos son enero y diciembre, con promedios de 11.4 °C y 11.3 °C. (Figura 12 y 13)

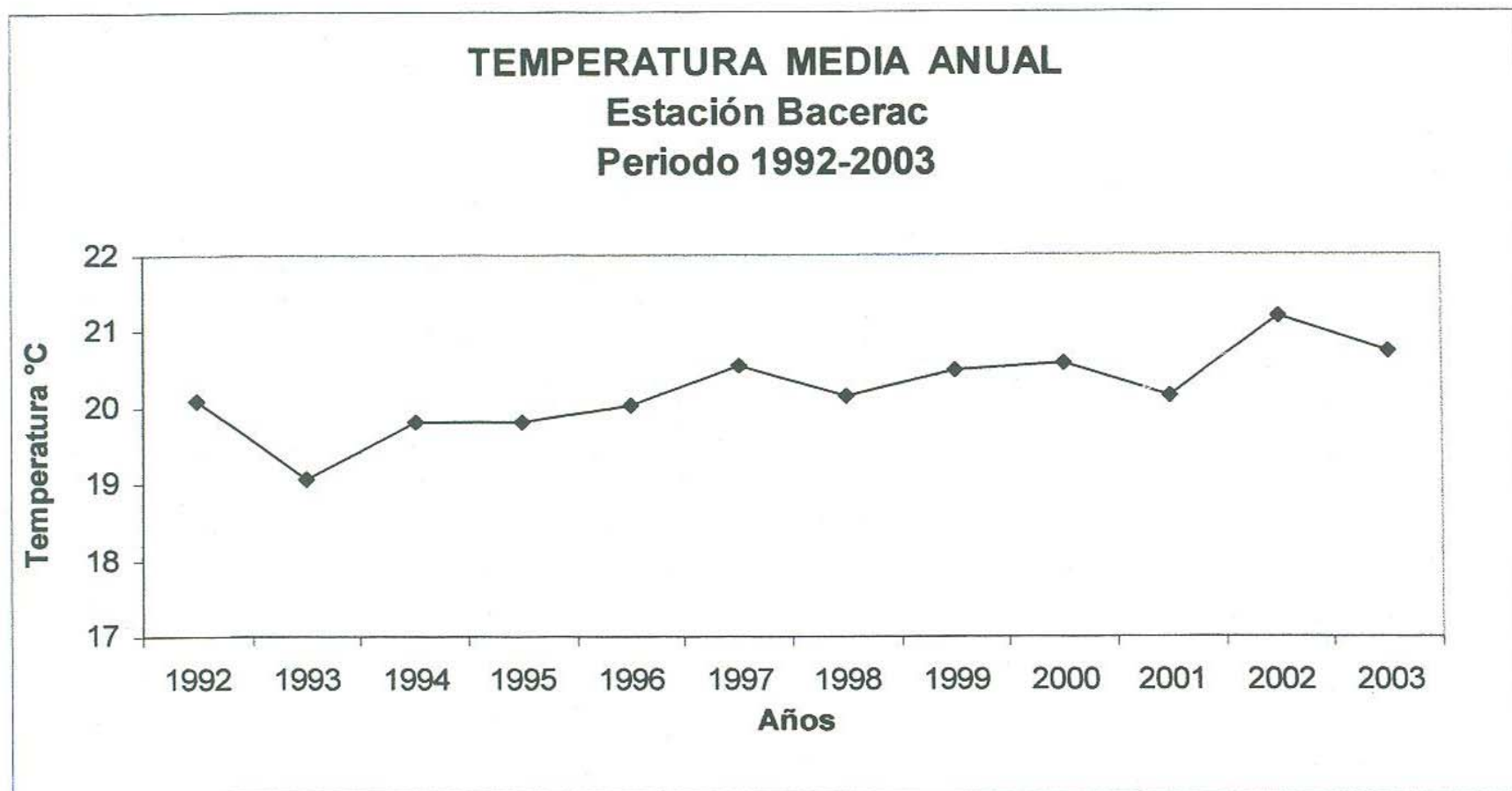


Figura 12.-Estación Climatológica Bacerac, temperatura media anual, periodo 1992-2003.

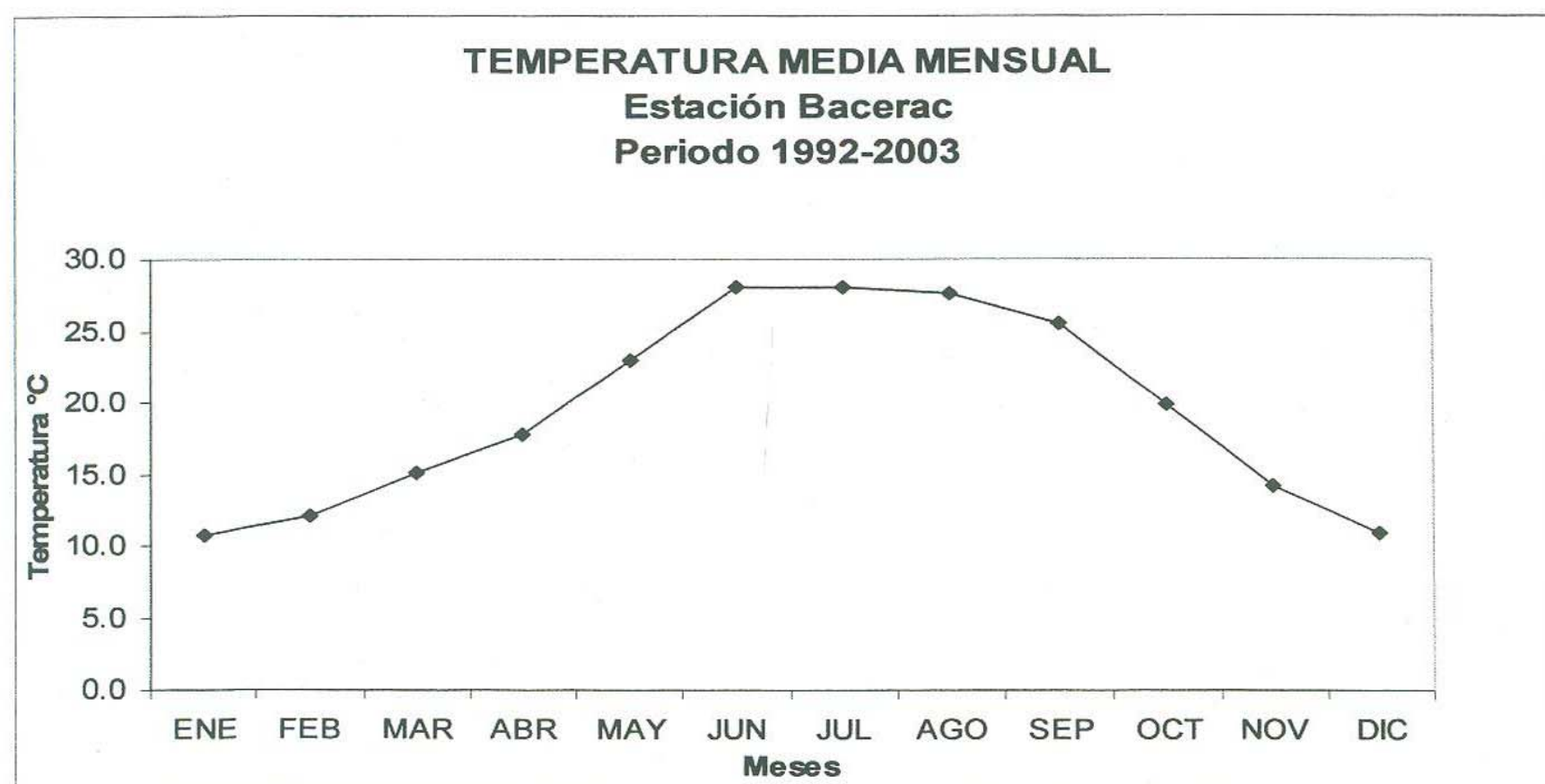


Figura 13.- Estación Climatológica Bacadéhuachi, temperatura media mensual, periodo 1992-2003.

Estación Climatológica Col. Morelos: el periodo de análisis es de 1965 a 2003. La temperatura media anual es de 19.1 °C, con una máxima de 33.1 °C en el mes de septiembre del 2002 y una mínima de 7.3 °C en enero de 1979. La temperatura promedio mensual mayor es la del mes de julio, con 28.2 °C y la temperatura mensual menor es de 10.1 °C en los meses de enero y diciembre. (Figura 14 y 15)

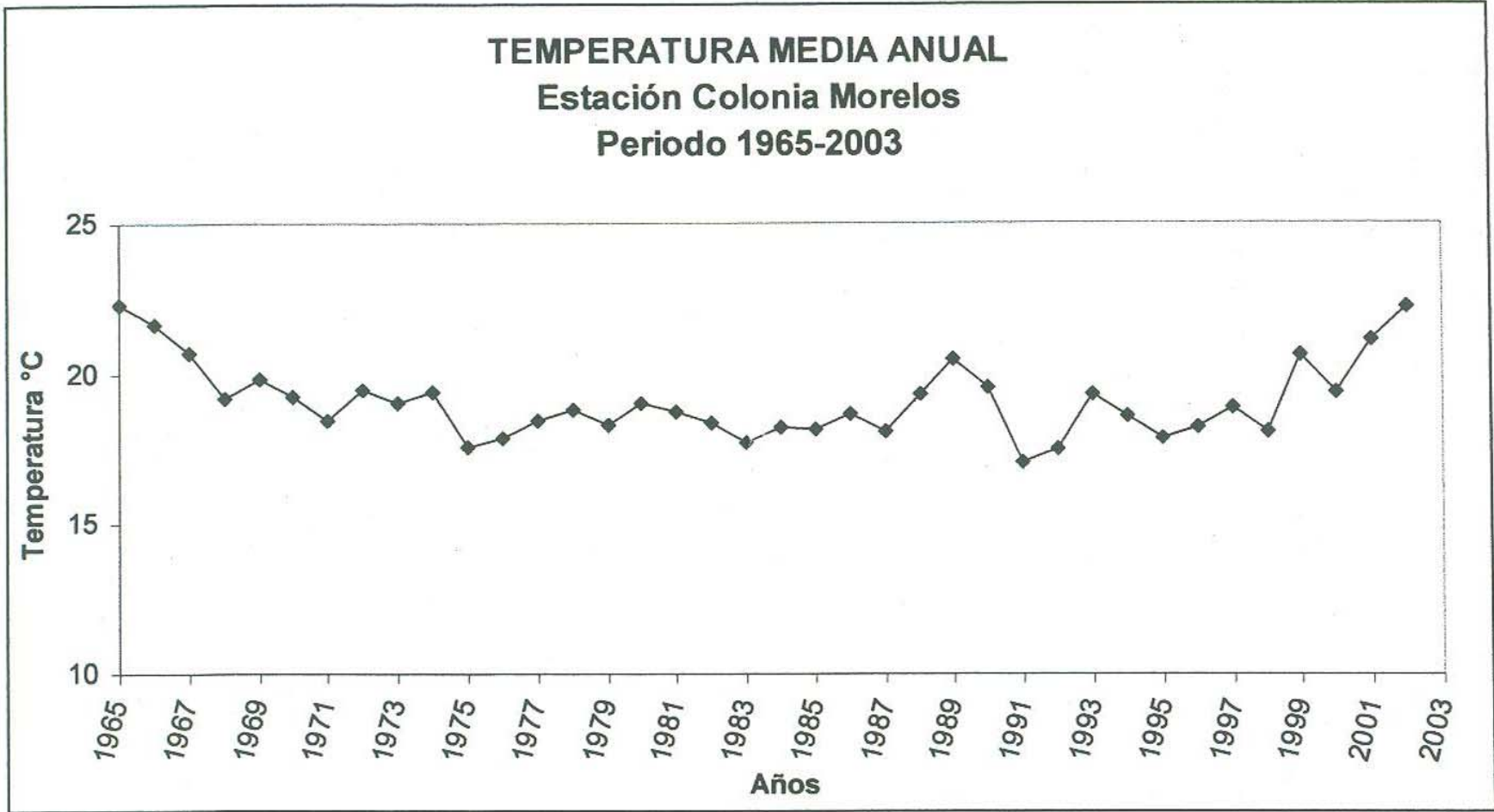


Figura 14.- Estación Climatológica Colonia Morelos, temperatura media anual, periodo 1965-2003.

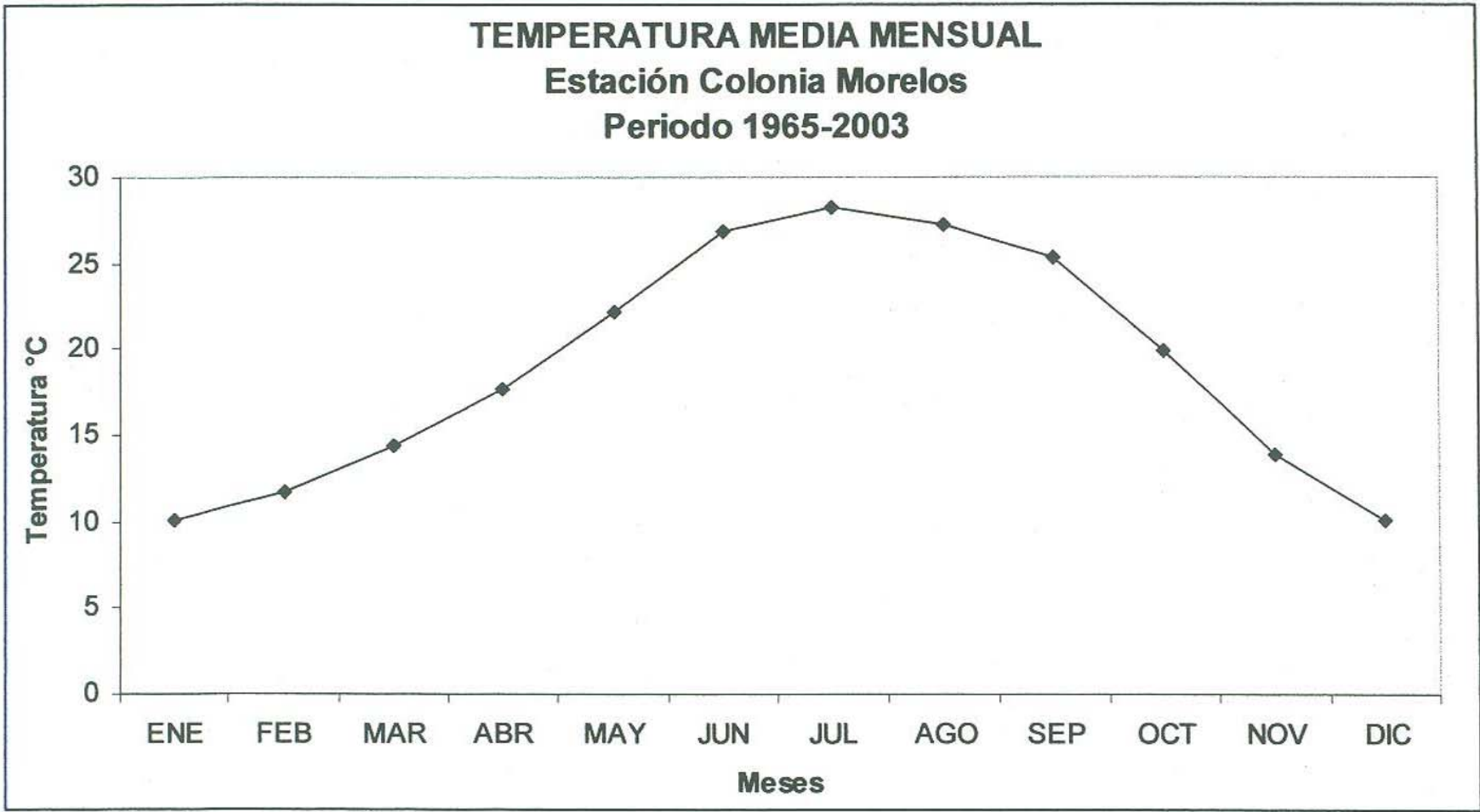


Figura 15.- Estación Climatológica Colonia Morelos, temperatura media mensual, periodo 1965-2003.

Estación Climatológica Granados: el periodo de análisis es de 1980 a 2003. La temperatura media anual es de 22.4 °C, con una máxima de 34.9 °C en el mes de junio del 2002 y una mínima de 11.3 °C en diciembre de 1982. La temperatura promedio mensual mayor es la del mes de junio, con 31.3 °C. El mes mas frío es diciembre con un promedio de 12.9 °C. (Figura 16 y 17)

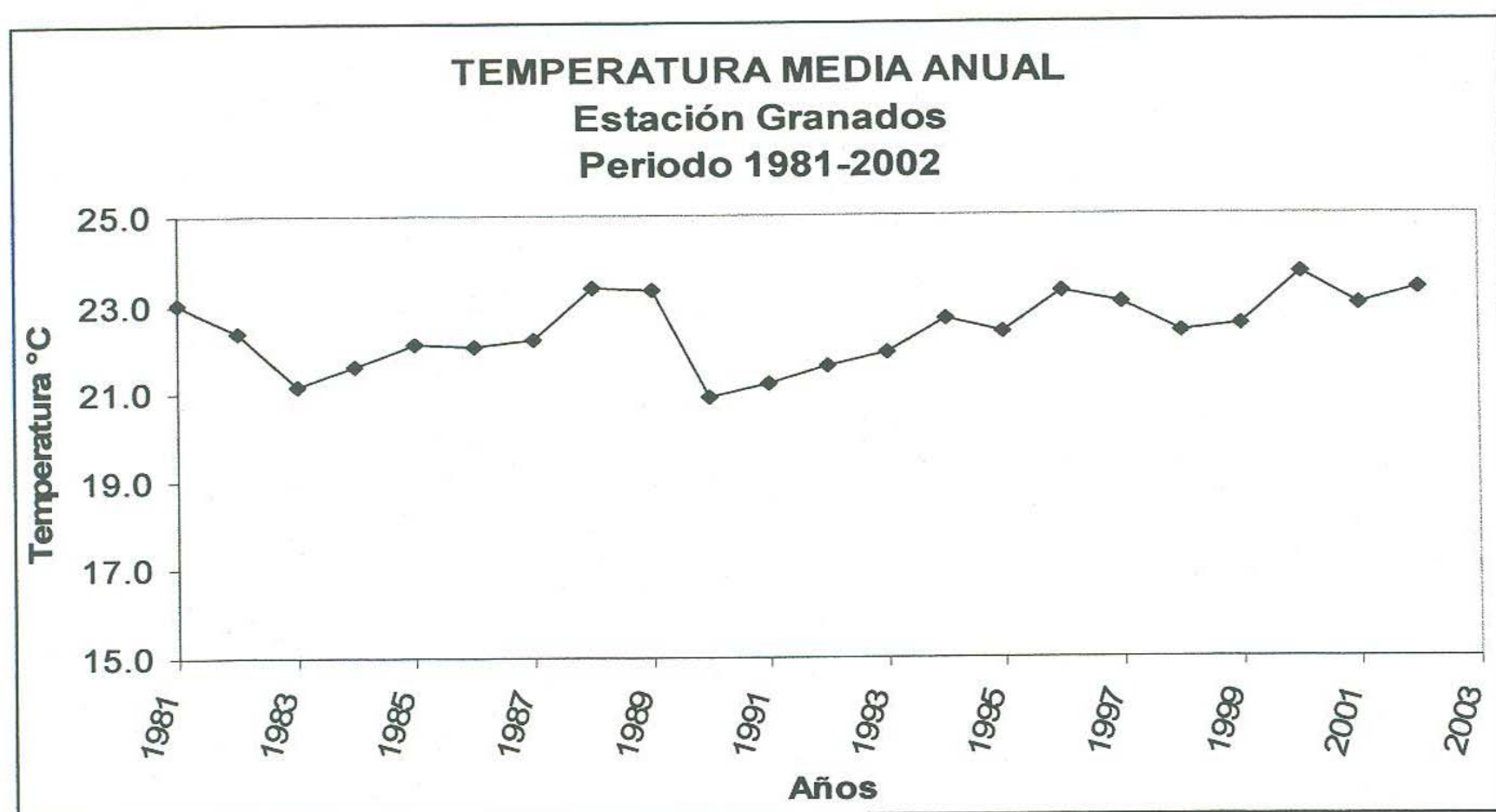


Figura 16.- Estación Climatológica Granados, temperatura media anual, periodo 1981-2002.

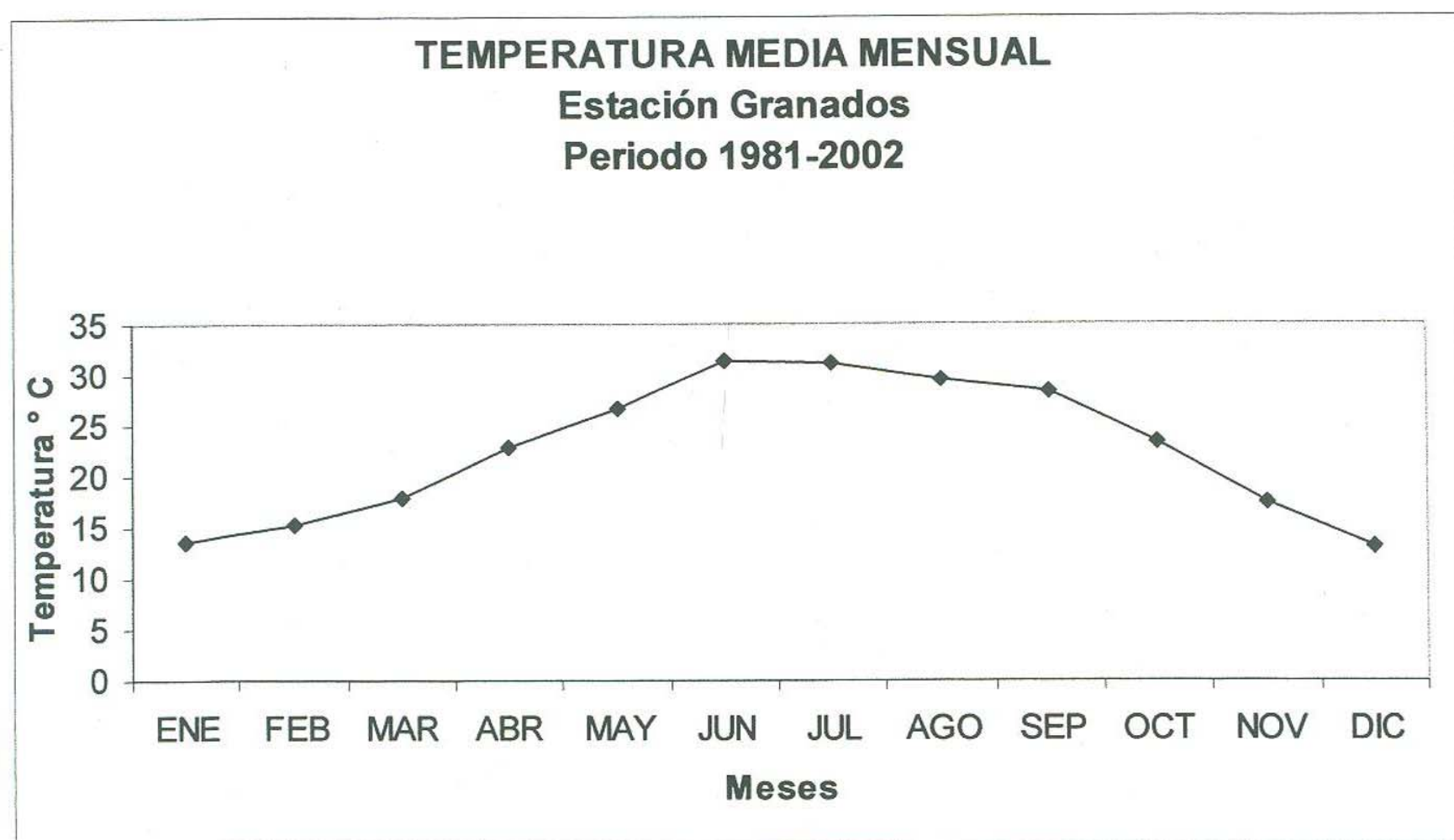


Figura 17.- Estación Climatológica Granados, temperatura media mensual, periodo 1981-2002.

Estación Climatológica Nacozari: En esta estación el periodo de tiempo para cual se tienen datos continuos es de 38 años, que van de 1964 a 2002. La temperatura media anual es de 19.9 °C, con una máxima de 34.9 °C en el mes de junio de 1990 y una mínima de 7.8 °C en diciembre de 1977. La temperatura promedio mensual mayor es la del mes de julio, con 27.8 °C, la media para el mes de junio se encuentra 0.1 °C por debajo de la máxima. La temperatura mensual menor es en el mes de enero con un promedio de 11.7 °C. (Figura 18 y 19)

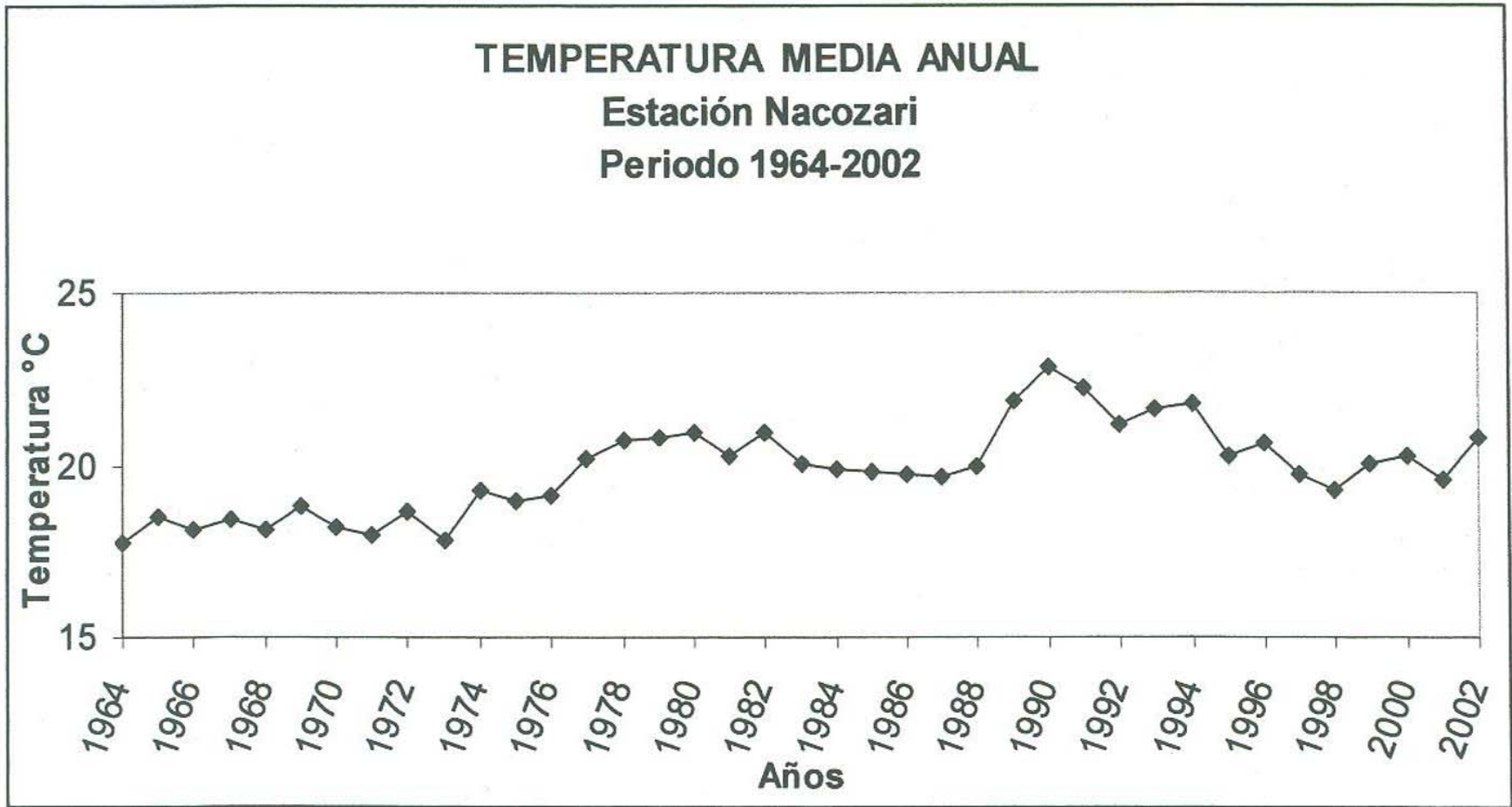


Figura 18.- Estación Climatológica Nacozari, temperatura media anual, periodo 1964-2002.

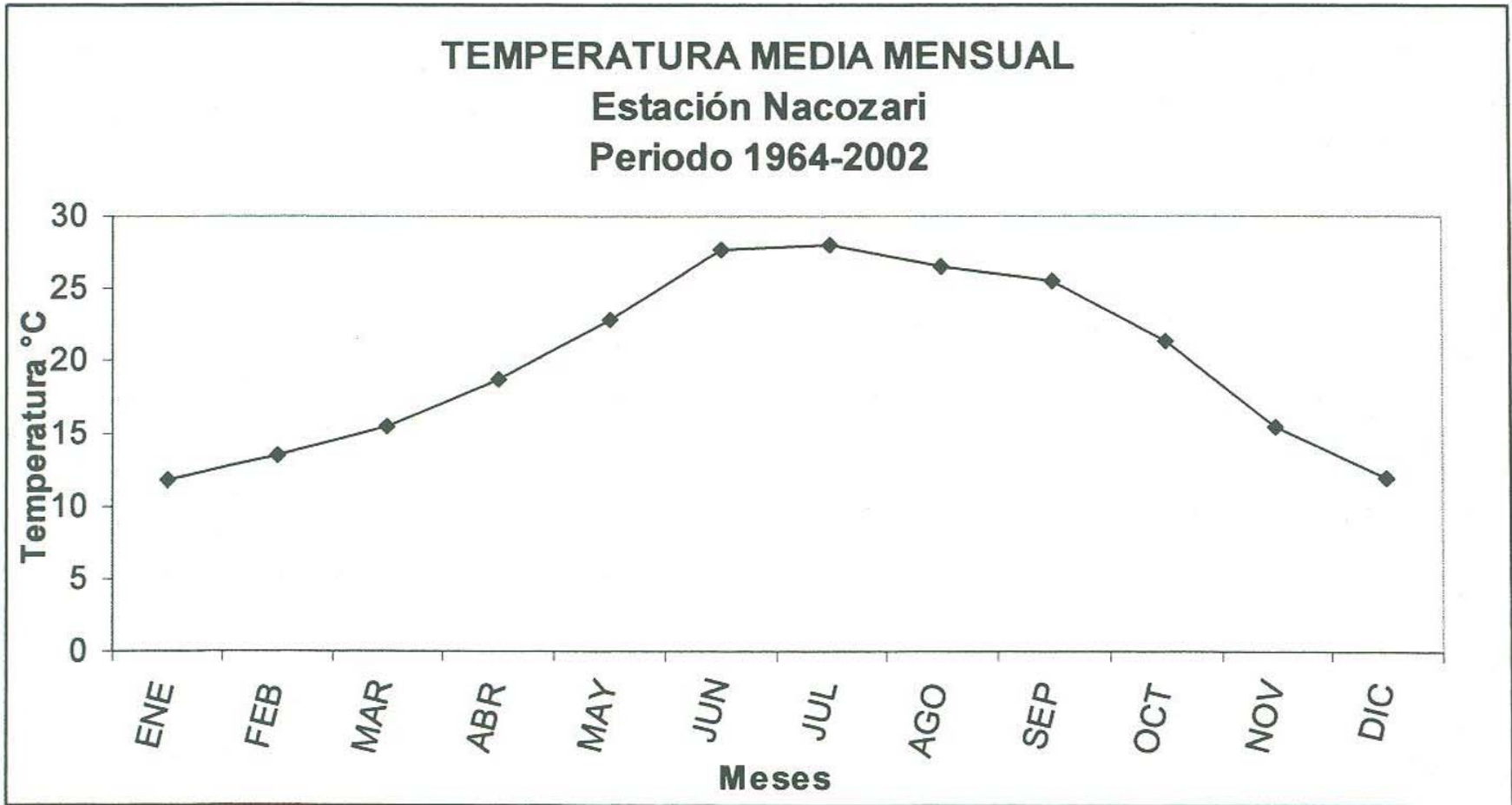


Figura 19.- Estación Climatologica Nacozari, temperatura media anual, periodo 1964-2002.

Estación Climatológica Presa La Angostura: En esta estación se cuenta con los datos para el periodo comprendido entre 1938 y 2003. La temperatura media anual es de 21.0 °C, con una máxima de 32.6 °C en el mes de junio del 2002 y una mínima de 6.9 °C en enero de 1949. La temperatura media mensual mayor es 30.1 °C en el mes de junio y la temperatura menor es de 11.3 °C en el mes de enero.(Figura 20 y 21)

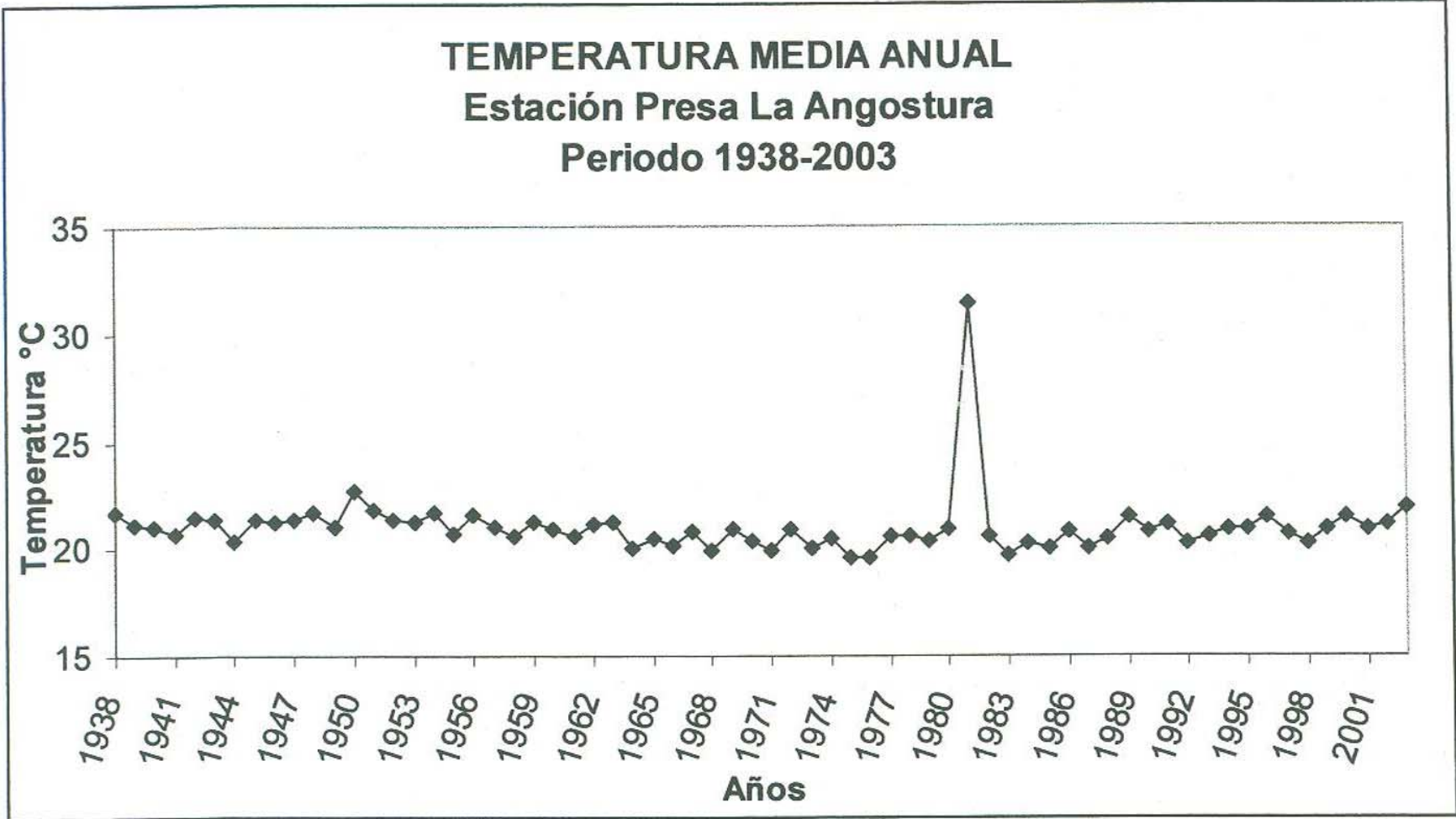


Figura 20.- Estación Climatológica Presa La angostura, temperatura media anual, periodo 1938-2003.

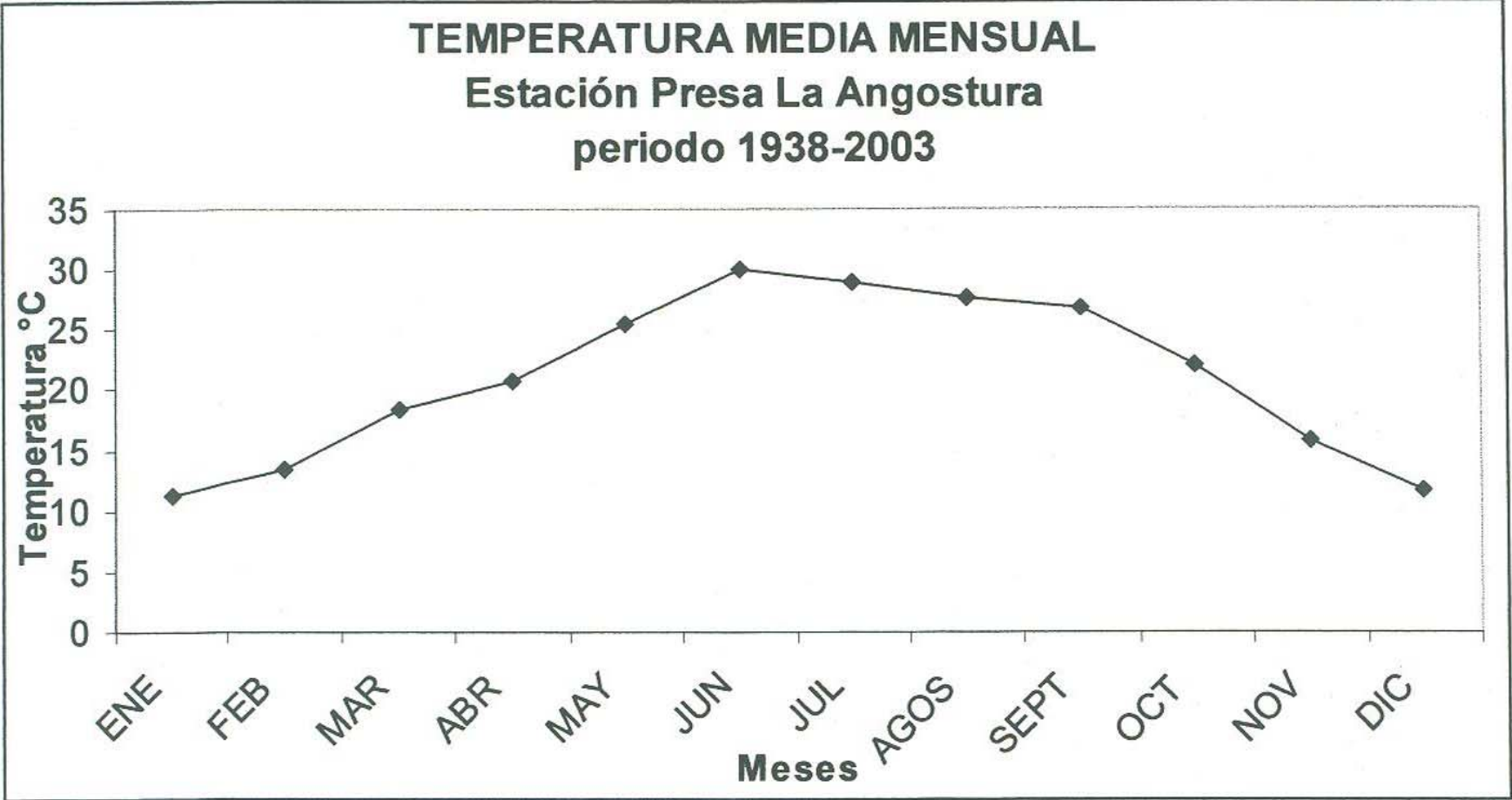


Figura 21.- Estación Climatológica Presa La Angostura, temperatura media mensual, periodo 1938-2003.

Estación Climatológica Naco: En esta estación se cuenta con los datos para el periodo comprendido entre 1962 y 2002. La temperatura media anual es de 17.2 °C, con una máxima de 25.3 °C en el mes de agosto de 1995 y una mínima de 3.9 °C en enero de 1990. La temperatura promedio mensual mayor es la del mes de julio, con 26 °C y la temperatura menor es de 8.3 °C en el mes de enero. (Figura 22 y 23)

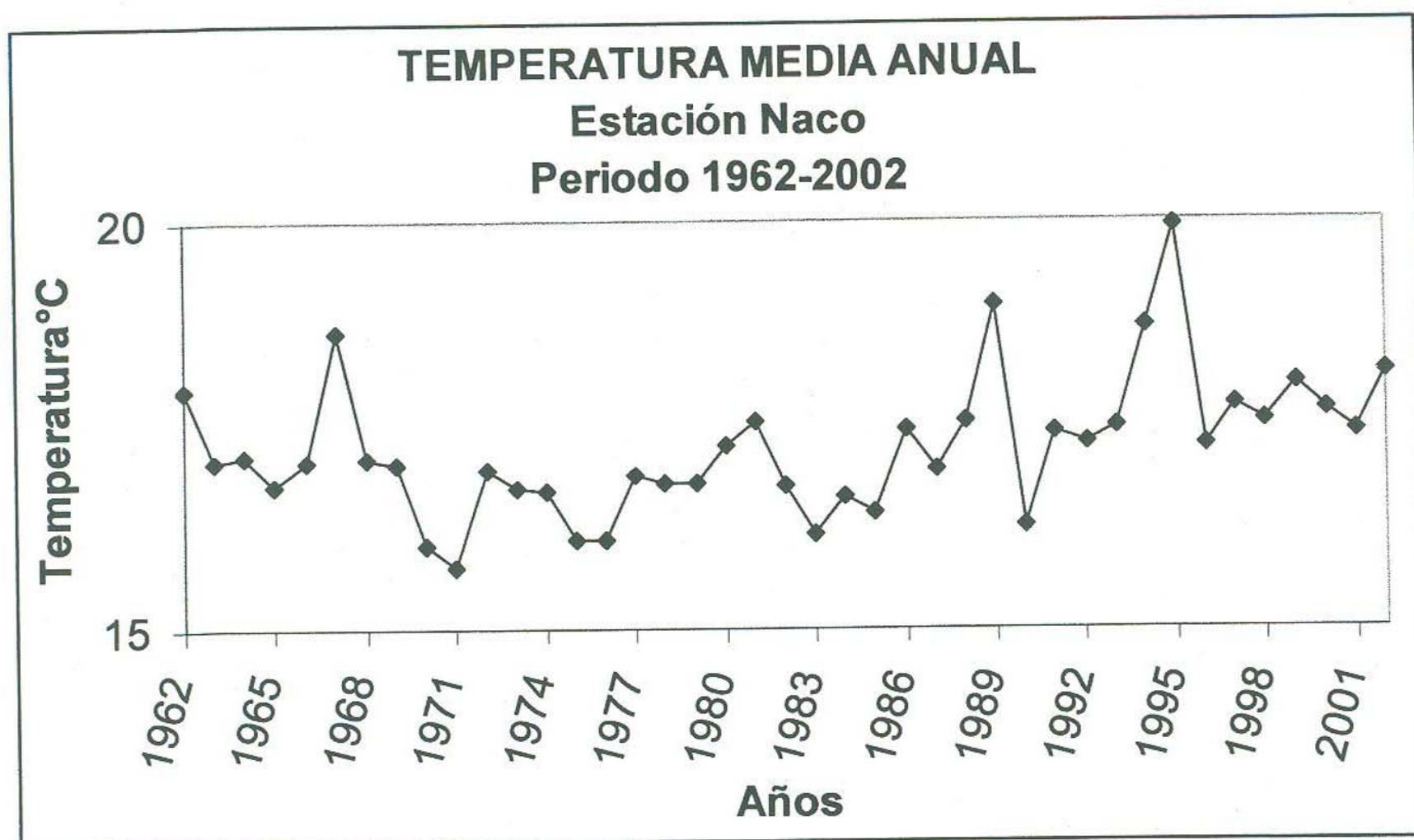


Figura 22.- Estación Climatológica Naco, temperatura media anual, periodo 1962-2002.

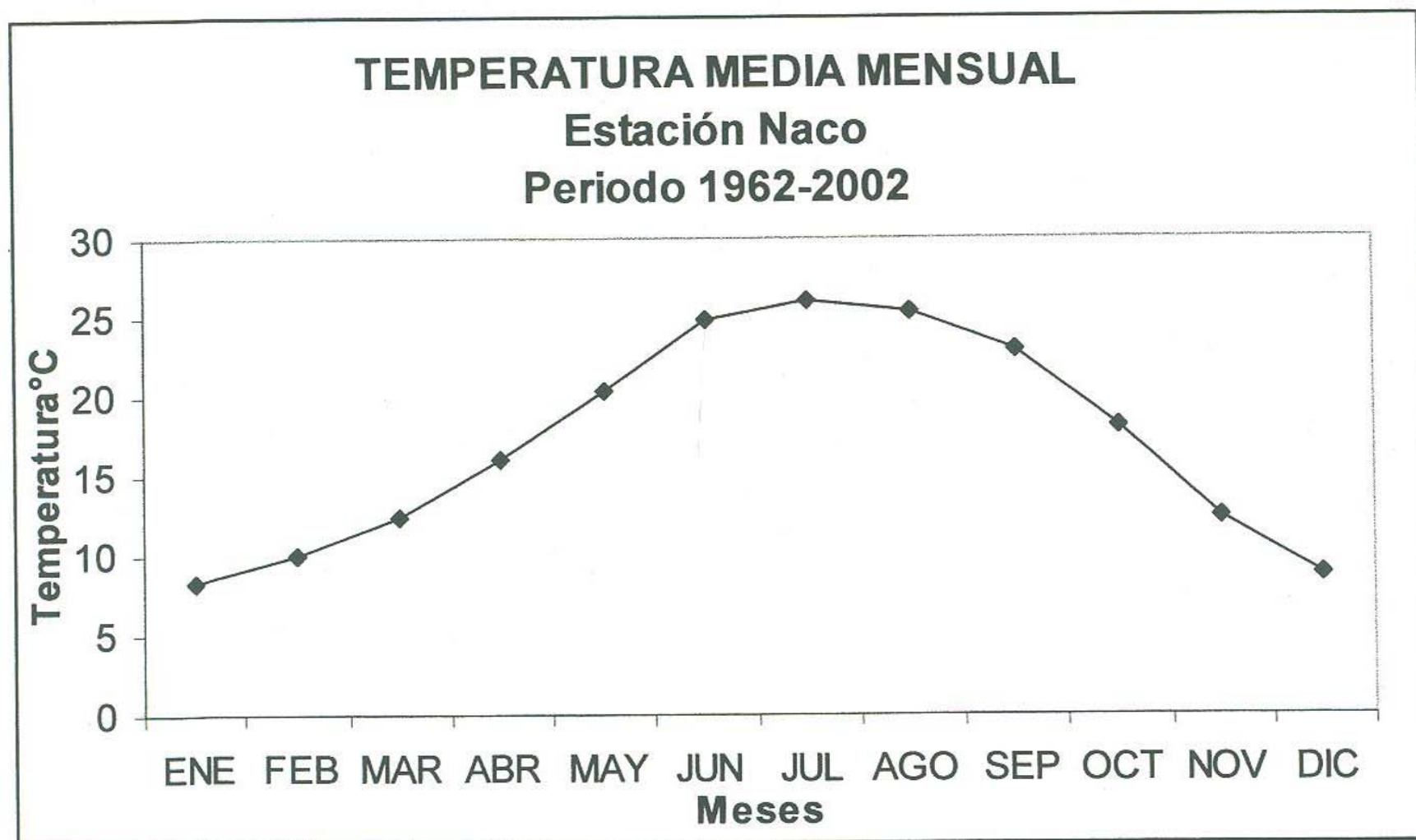


Figura 23.- Estación Climatológica Naco, temperatura media mensual, periodo 1962-2002.

Estación Climatológica El Tapiro: el periodo de análisis para esta estación es del año 1972 al 2002. La temperatura media anual es de 20.4 °C, con una máxima de 30.5 °C en el mes de junio del 1990 y una mínima de 9.1 °C en enero de 1979. La temperatura promedio mensual mayor es la del mes de julio, con 28.1 °C. El mes mas frío es enero con un promedio de 12.4 °C. (Figura 24 y 25)

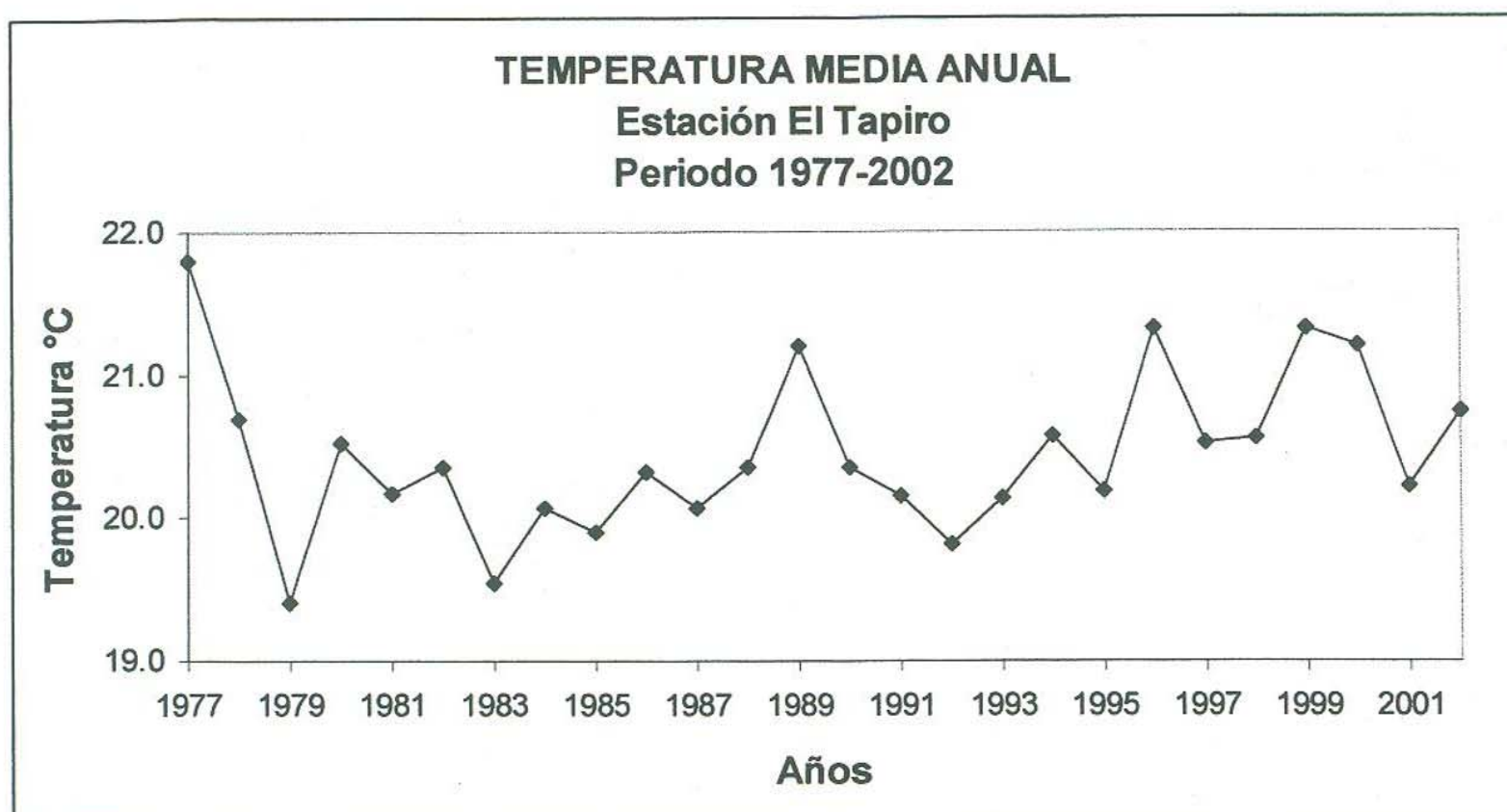


Figura 24.- Estación Climatológica El Tapiro, temperatura media anual, periodo 1977-2002.

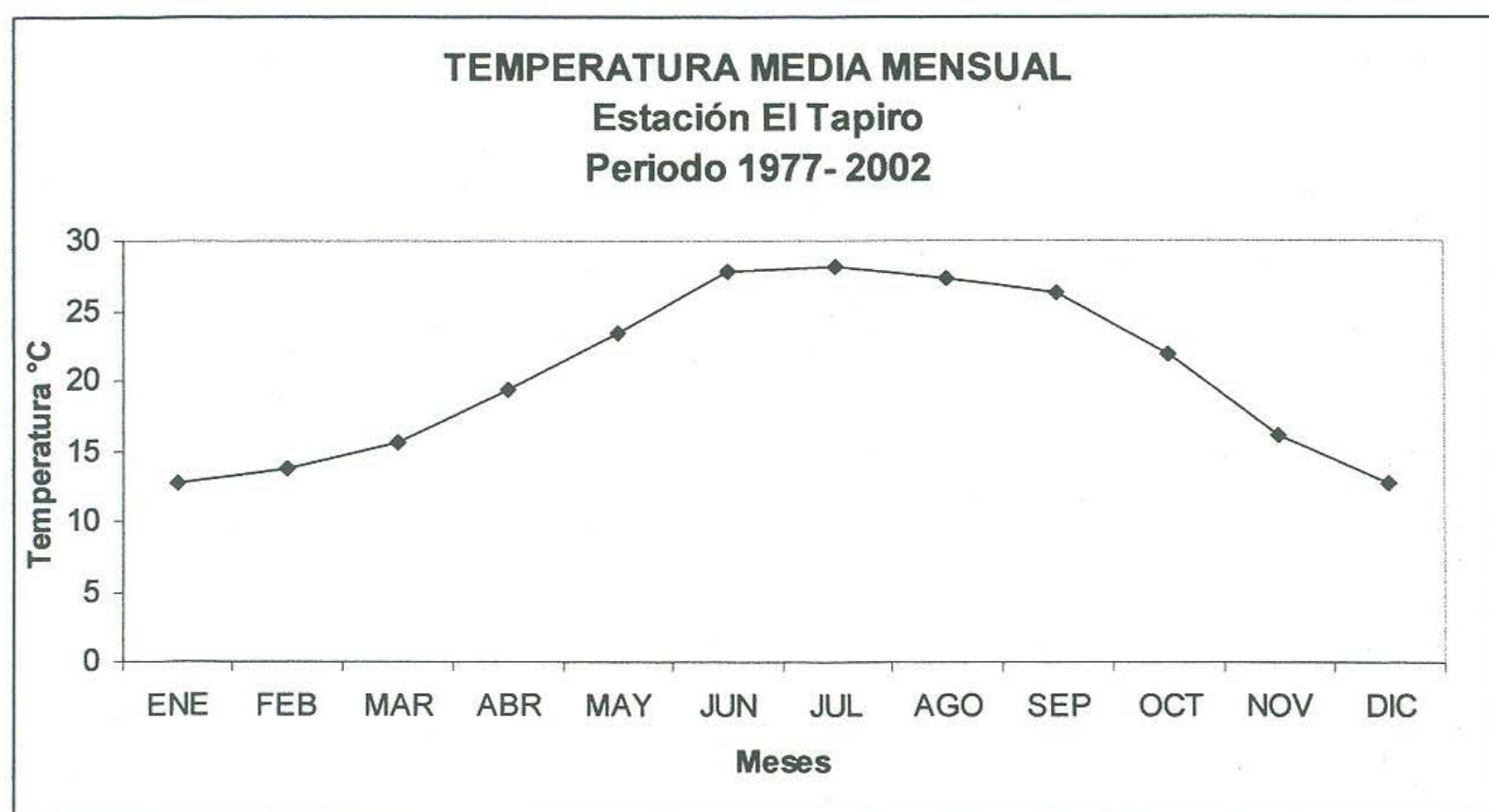


Figura 25.- Estación Climatológica El Tapiro, temperatura media anual, 1977- 2002.

3.3. Precipitación

La precipitación es el parámetro, más importante dentro del ciclo hidrológico, ya que es el proceso mediante el cual se recibe el recurso en la superficie terrestre para convertirse en escurrimiento, evapotranspiración e infiltración al subsuelo.

La Precipitación promedio en la cuenca alta del Río Yaqui se describe con base en los promedios obtenidos con los datos existentes. Además se anexa una gráfica de precipitación media mensual y anual para cada una de las estaciones; en ella se puede observar su comportamiento, con una curva asintótica, con su parte mas alta en los meses de verano, siendo la temperatura promedio mensual mayor.

La precipitación media total anual calculada en función de los datos de las estaciones, es de 428.5 mm (Tabla 4 ; Figura 26 y 27). La máxima se calculó en la Estación Nacozari con 540.6 mm y una mínima total de 331 mm en la Estación Naco.

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA PRECIPITACIÓN MEDIA TOTAL ANUAL				
No.	ESTACION	ESTADO	MUNICIPIO	MEDIA TOTAL(mm)
1	AGUA PRIETA	SON	AGUA PRIETA	362.4
2	BACADEHUACHI	SON	BACADEHUACHI	453.4
3	BACERAC	SON	BACERAC	443.8
4	COL. MORELOS	SON	AGUA PRIETA	340.3
5	EL TAPIRO	SON	CUMPAS	526.5
6	GRANADOS	SON	GRANADOS	470.3
7	NACUZARI	SON	NACUZARI	540.6
8	P. LA ANGOSTURA	SON	VILLA HIDALGO	388.2
9	NACO	SON	NACO	331
TOTAL				428.5

Tabla 4.- Precipitación media total anual en cada estación.

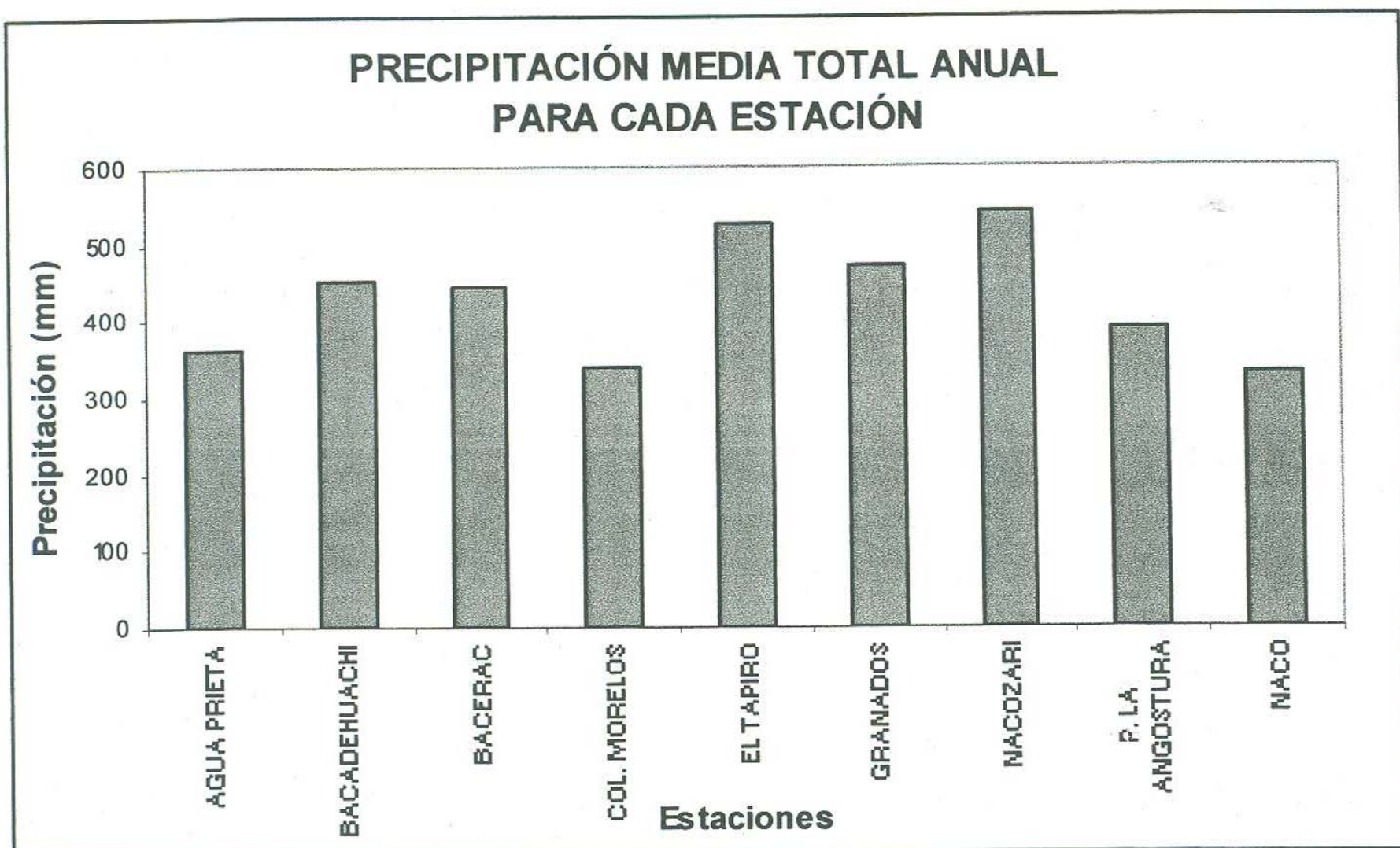


Figura 26.- Precipitación media total anual en cada estación.

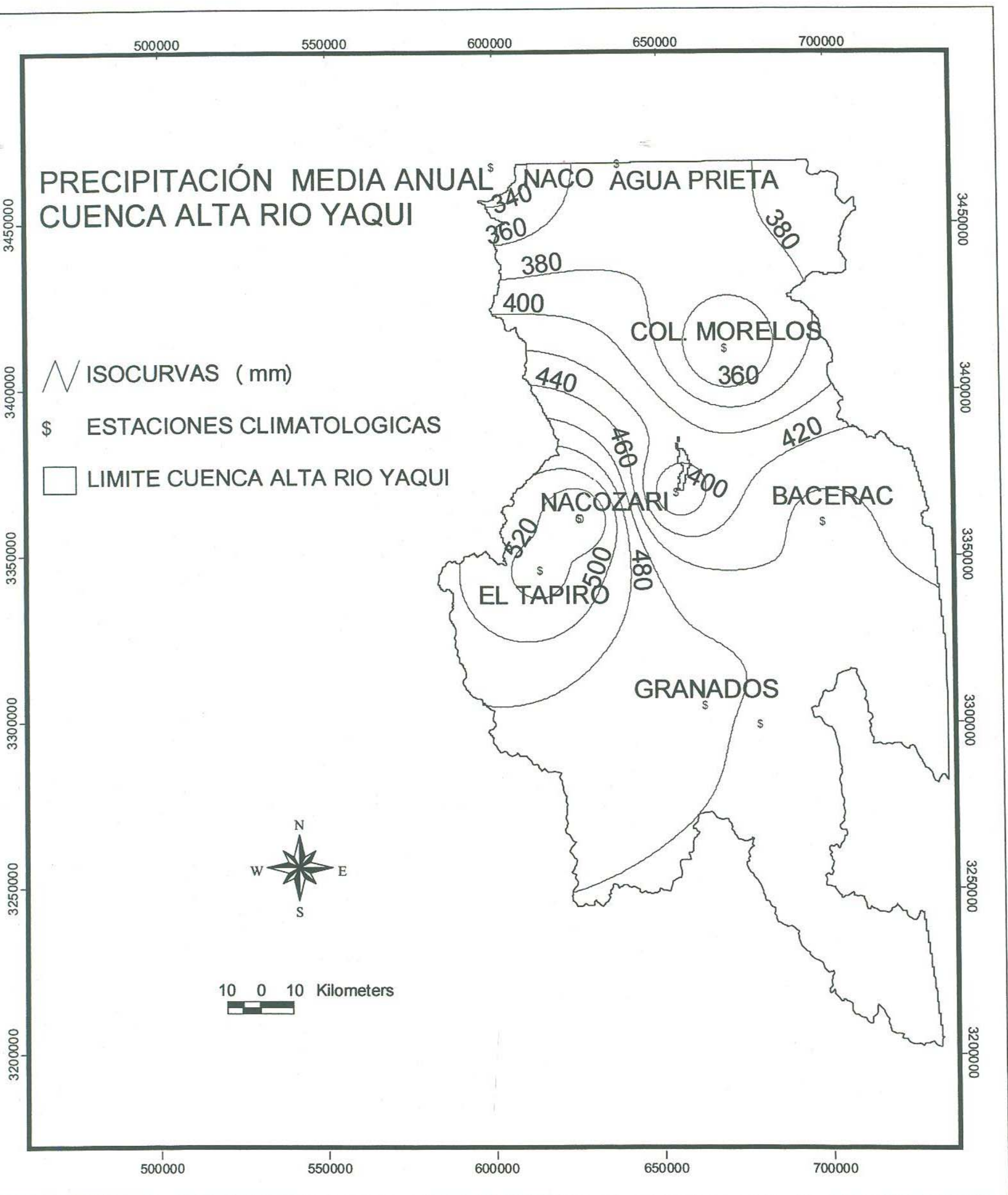


Figura 27.- Distribución de Precipitación media anual en la cuenca alta del Río Yaqui.

Estación Climatológica Agua Prieta

La Precipitación promedio mensual mayor en esta estación es en el mes de julio donde se promedia una lamina de agua de 86.1 mm, las precipitaciones menores son en abril y mayo, la mínima es la del mes de abril, con un promedio de 5.5 mm.(Figura 28)

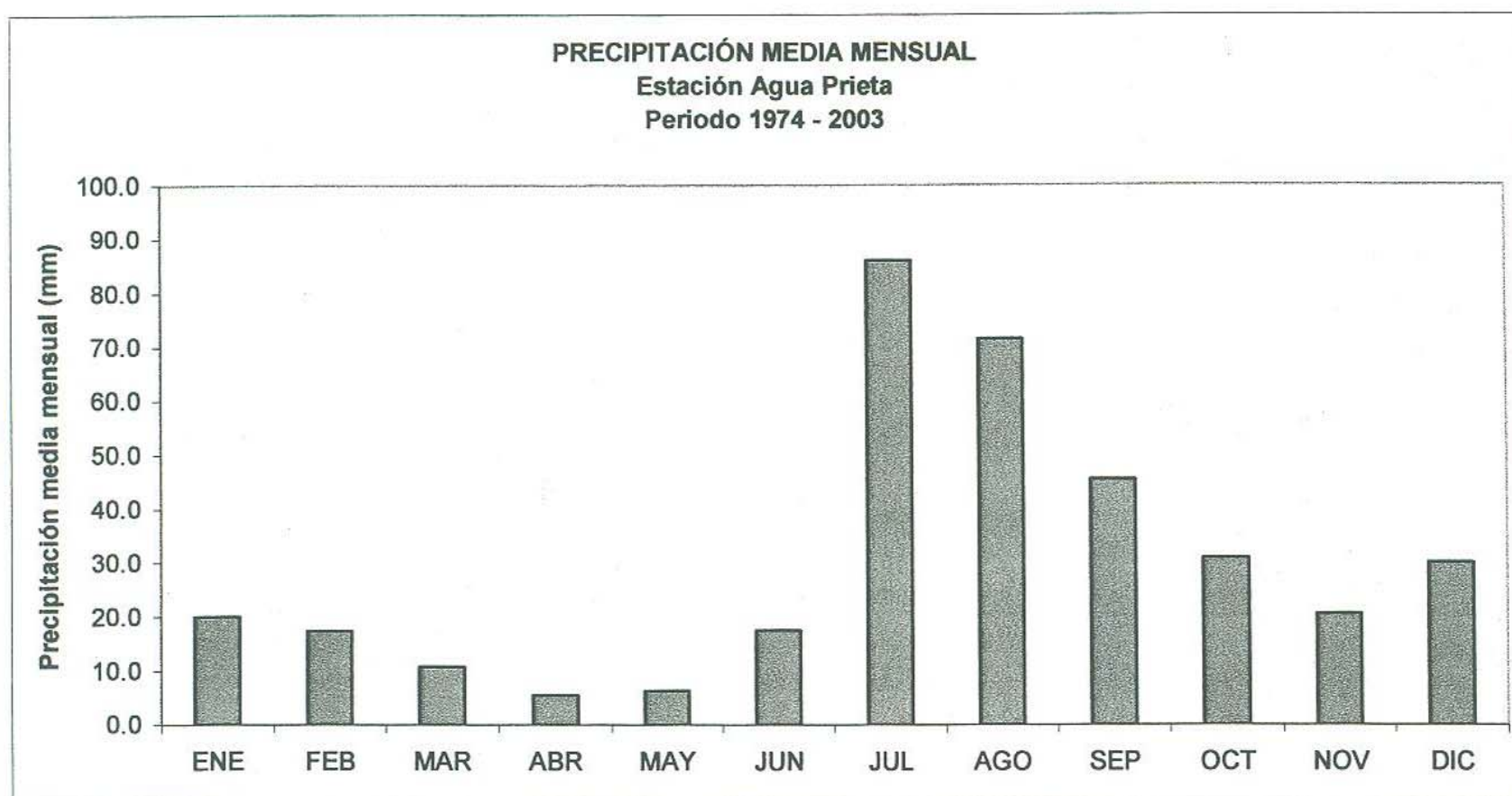


Figura 28.- Estación climatológica Agua Prieta, precipitación media mensual, periodo 1974-2003.

La precipitación total anual mayor es de 597 mm. En el año 1983 y la mínima lamina de agua es de 188.2 mm. en el 2003.(Figura 29)

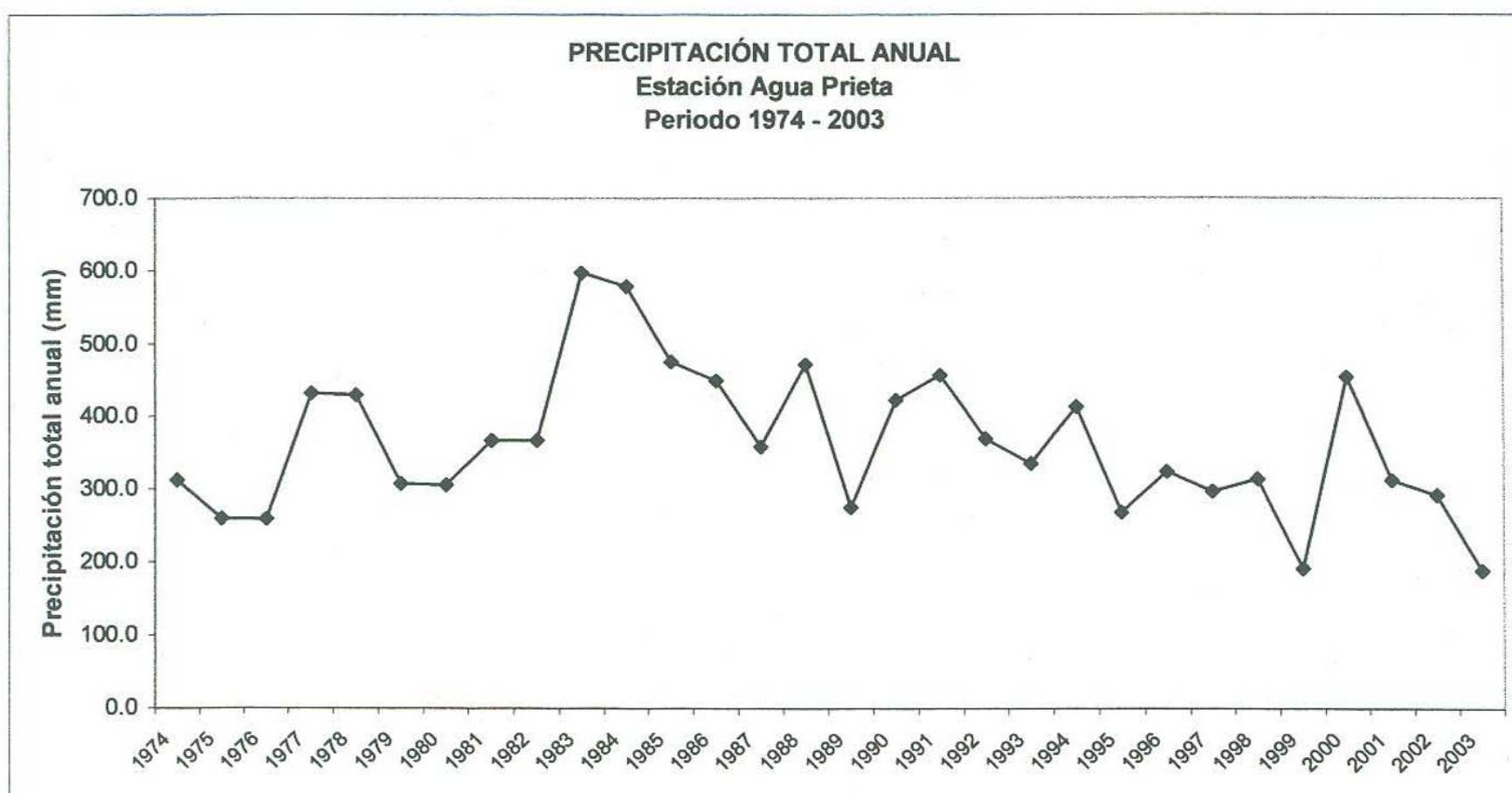


Figura 29.- Estación climatológica Agua Prieta, precipitación total anual, periodo 1974-2003.

Estación Climatológica Bacadéhuachi

La Precipitación promedio mensual máxima en esta estación es en el mes de julio donde se promedia una lamina de agua de 109.4 mm, las precipitaciones menores son en los meses de abril y mayo, la mínima es la del mes de mayo, con un promedio de 4.0 mm.(Figura 30)

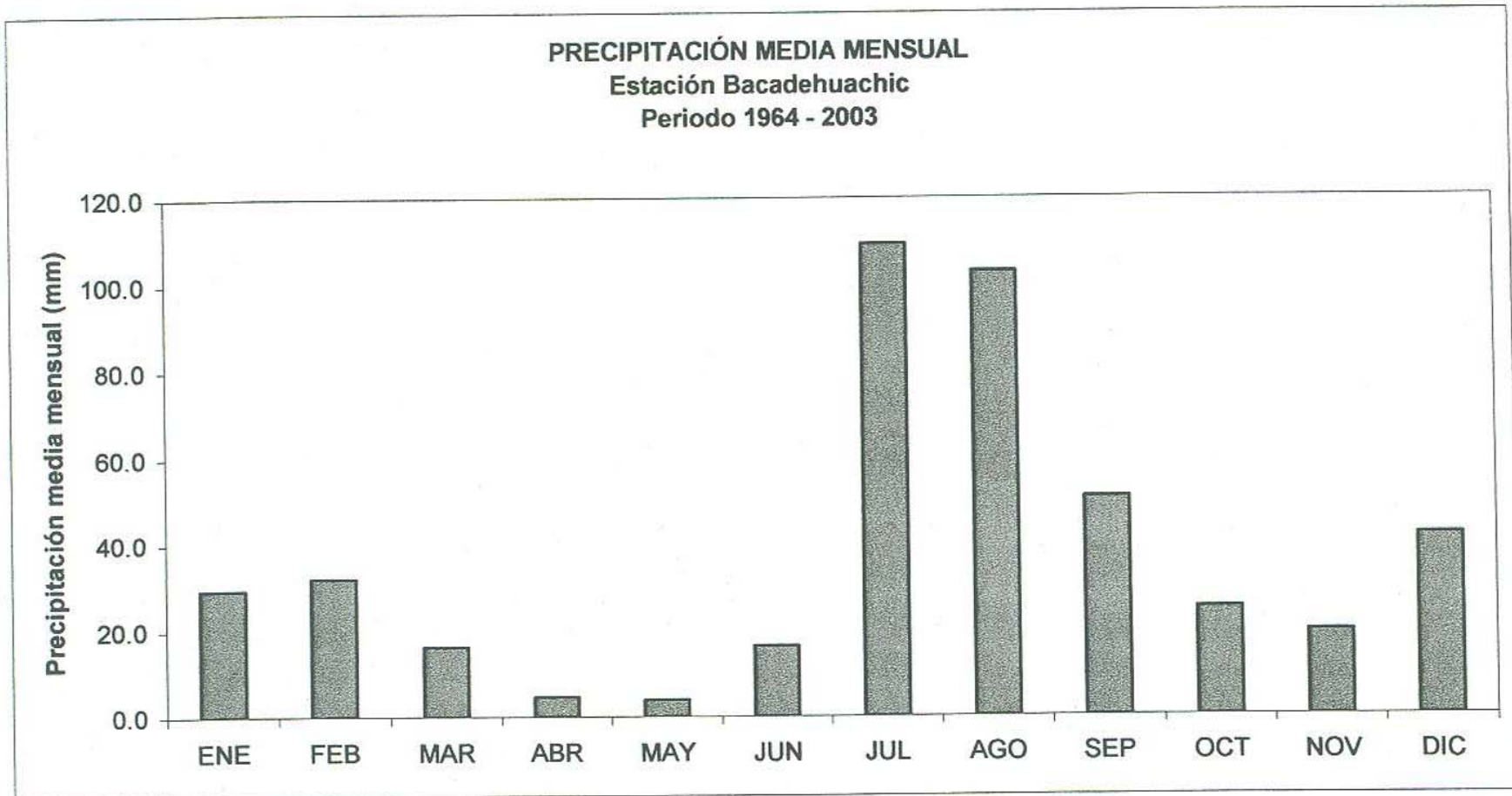


Figura 30.- Estación climatológica Bacadéhuachi, precipitación media mensual, periodo 1964-2003.

La Precipitación total anual mayor es de 666 mm. En el año de 1978 y la mínima lamina de agua es de 182.9 mm. en el 2003.(Figura 31)

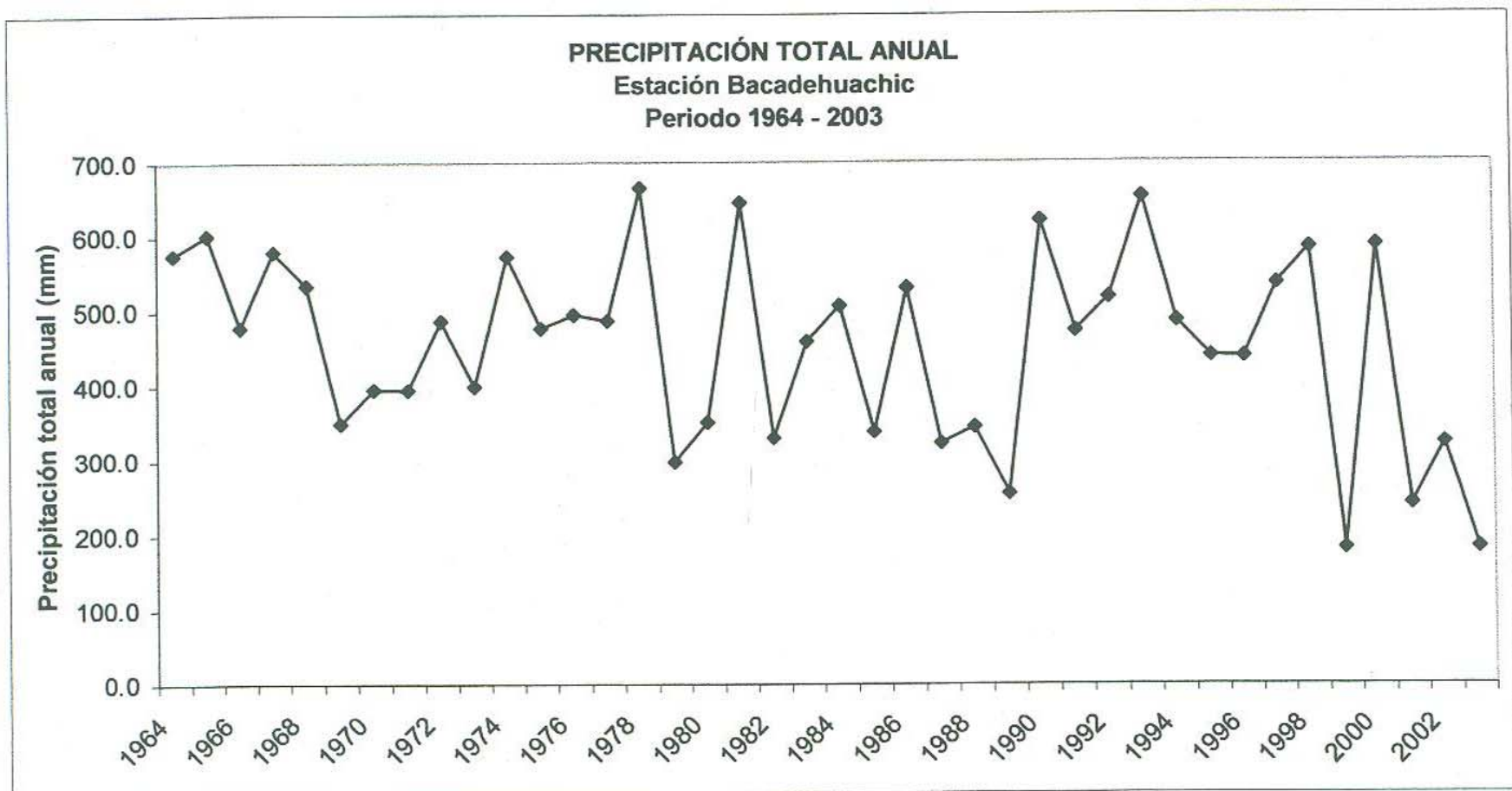


Figura 31.- Estación climatológica Bacadéhuachi, precipitación total anual, periodo 1964-2003.

Estación Climatológica Bacerac

La Precipitación promedio mensual máxima en esta estación es en el mes de julio donde se promedia una lamina de agua de 106.5 mm. las precipitaciones menores son en el mes de mayo, con un promedio de 4.3 mm.(Figura 32)

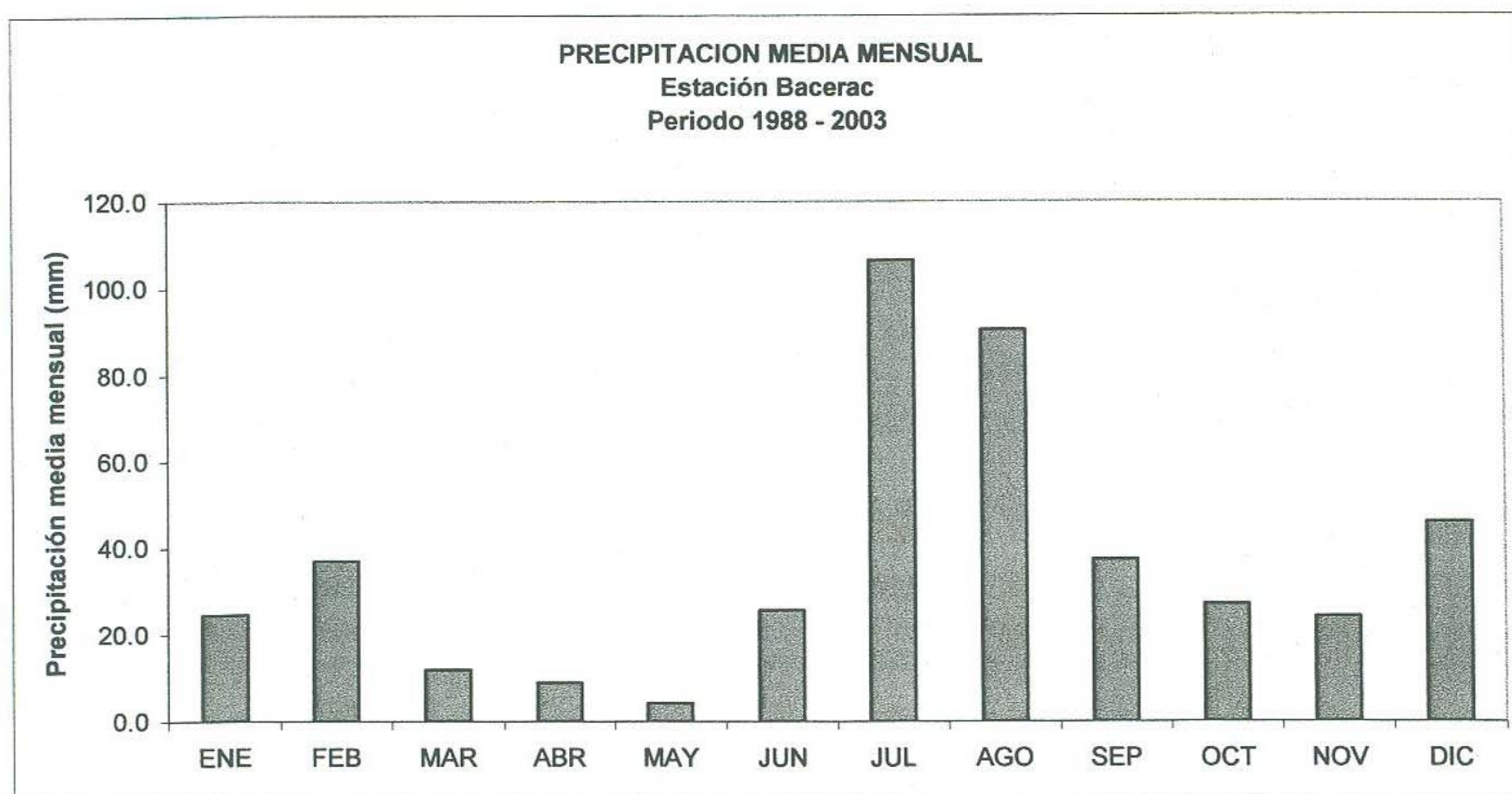


Figura 32.- Estación climatológica Bacerac, precipitación media mensual, periodo 1988-2003.

La Precipitación total anual mayor, es de 605 mm en el año 1993 y la mínima lamina de agua es de 157.7 mm en el año 2003.(Figura 33)

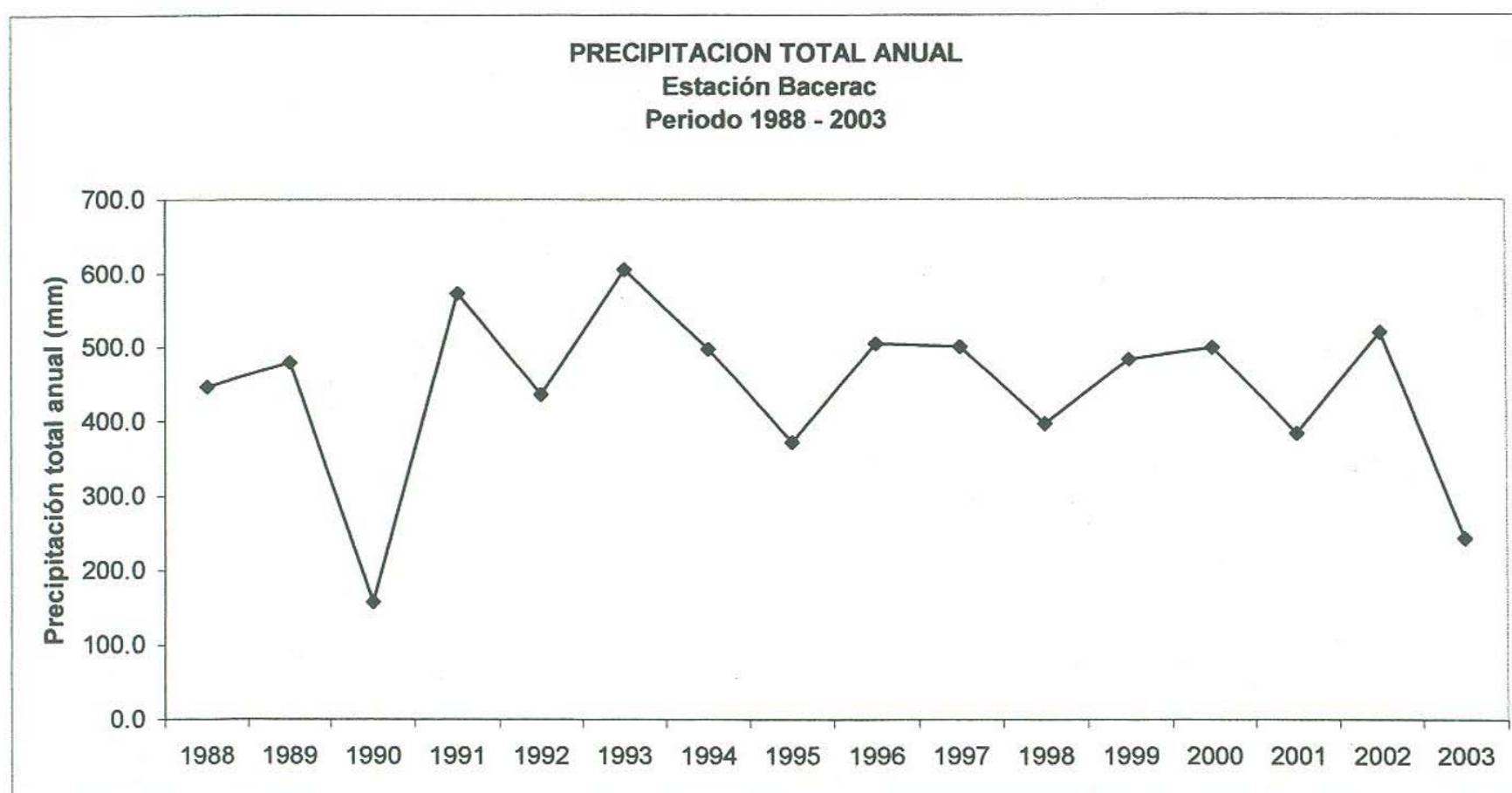


Figura 33.- Estación climatológica Bacerac, precipitación total anual, periodo 1988-2003.

Estación Climatológica Colonia Morelos

En esta estación se cuentan con los datos para el periodo comprendido entre 1965-2003. La Precipitación promedio mensual máxima en esta estación es en el mes de julio, donde se promedia una lamina de agua de 74.9 mm, las precipitaciones menores son en el mes de mayo, con un promedio de 5.0 mm.(Figura 34)

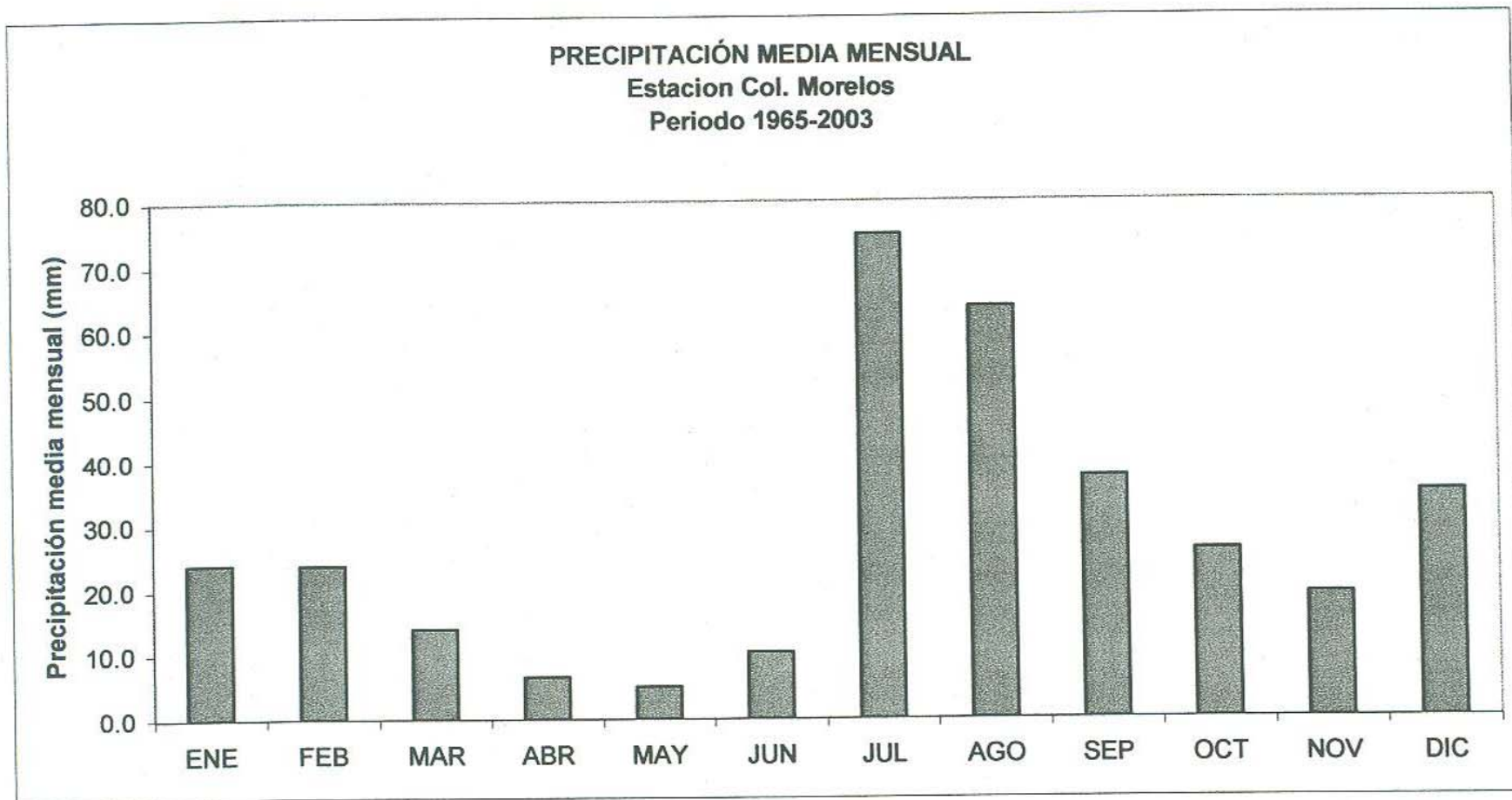


Figura 34.- Estación climatológica Colonia Morelos, precipitación media mensual, periodo 1965-2003.

La Precipitación total anual mayor es de 541.5 mm. en el año 1965 y la mínima precipitación anual de 221.0 mm. en el año 1973.(Figura 35)

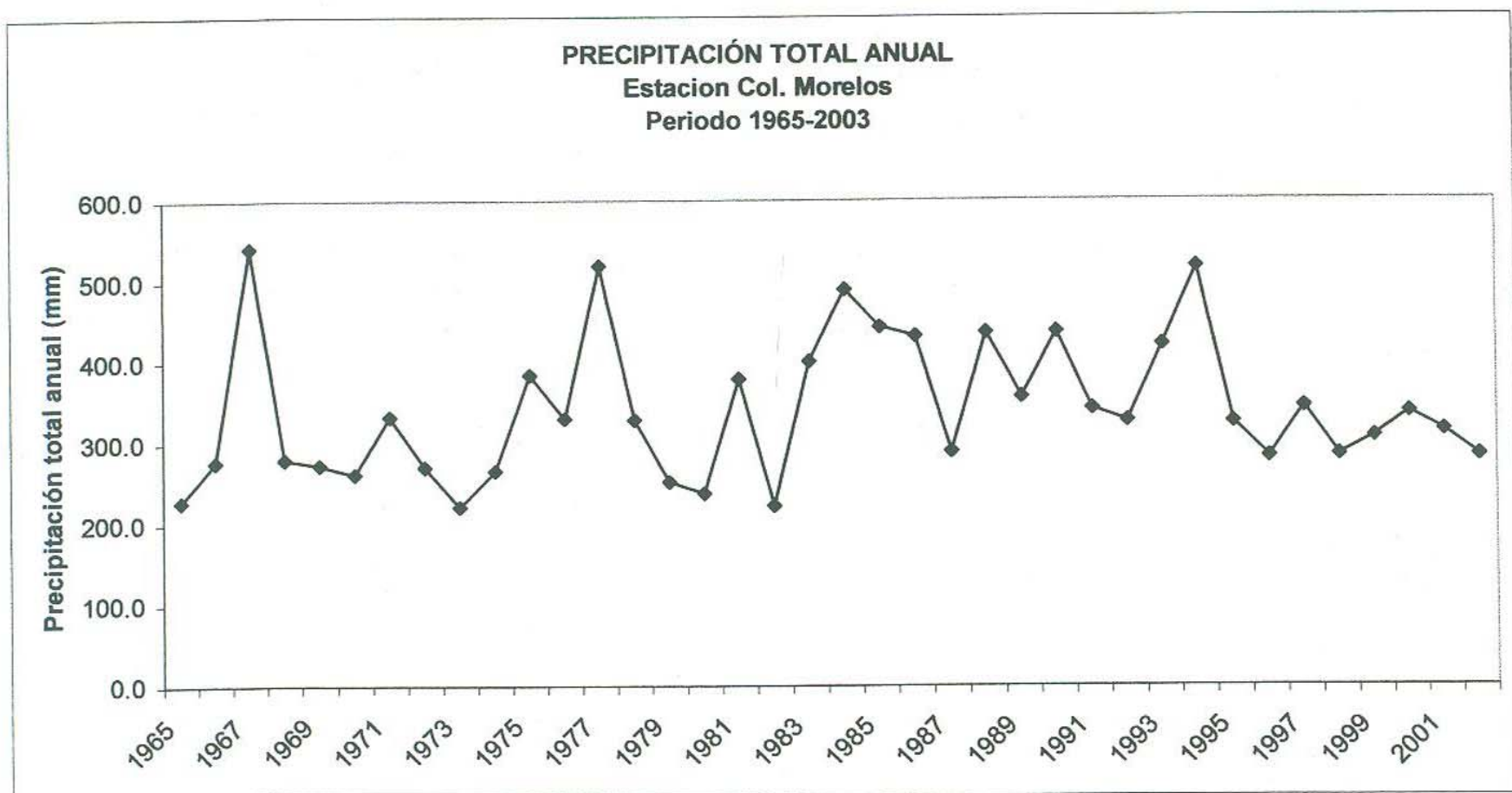


Figura 35.- Estación climatológica Colonia Morelos, precipitación total anual, periodo 1965-2003.

Estación Climatológica Granados

El periodo de análisis en esta estación es de 1980-2003. La Precipitación media mensual mayor es en el mes de julio con una precipitación promedio de 116.5 mm. y una precipitación menor es en el mes de mayo, con un promedio de 2.88 mm.(Figura 36)

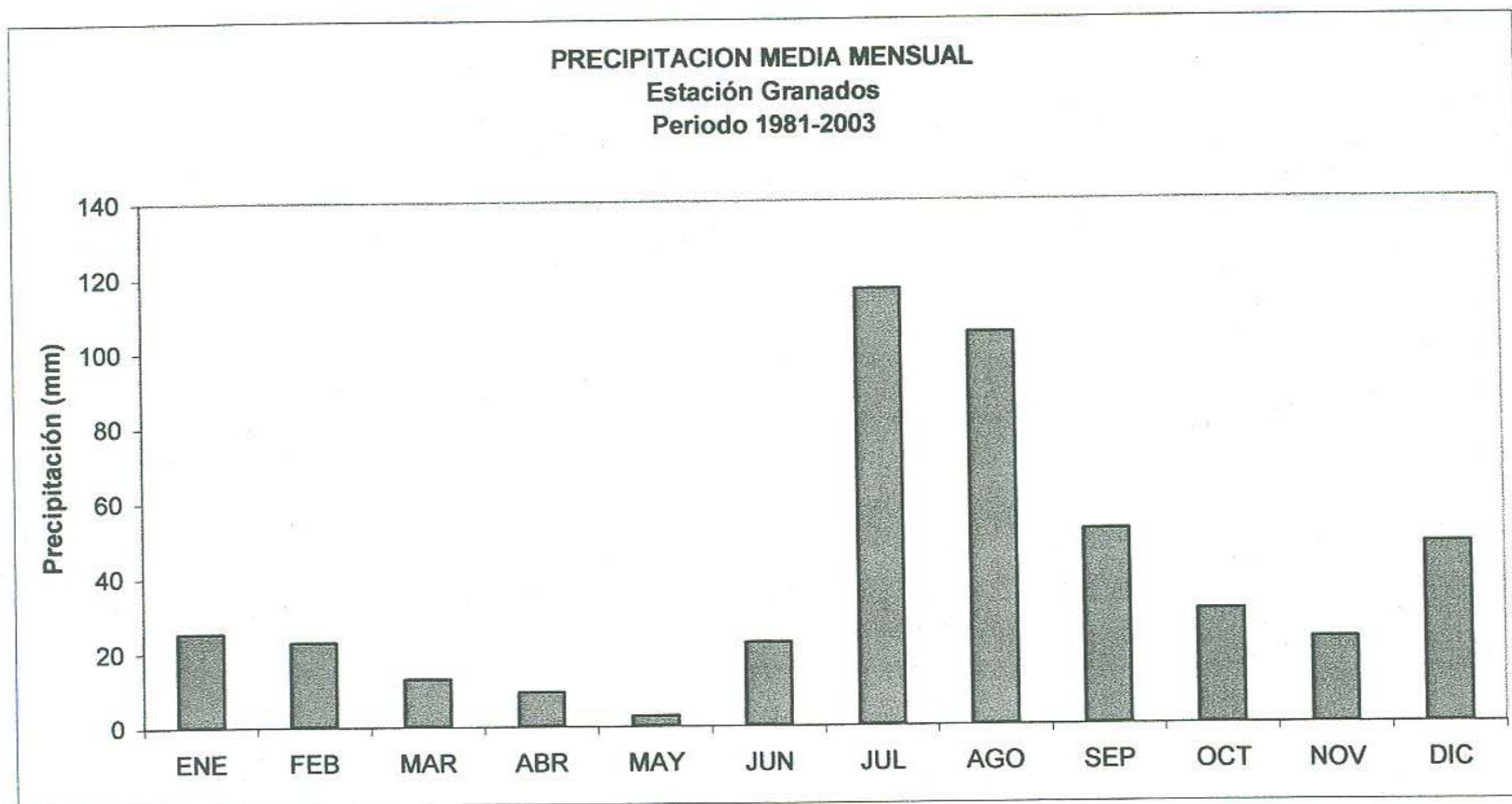


Figura 36 Estación climatológica Granados, precipitación media mensual, periodo 1981-2003.

La Precipitación total anual mayor es de 738.5 mm. en el año de 1981 y una precipitación mínima anual de 289.0 mm en el año 2002. (Figura 37)

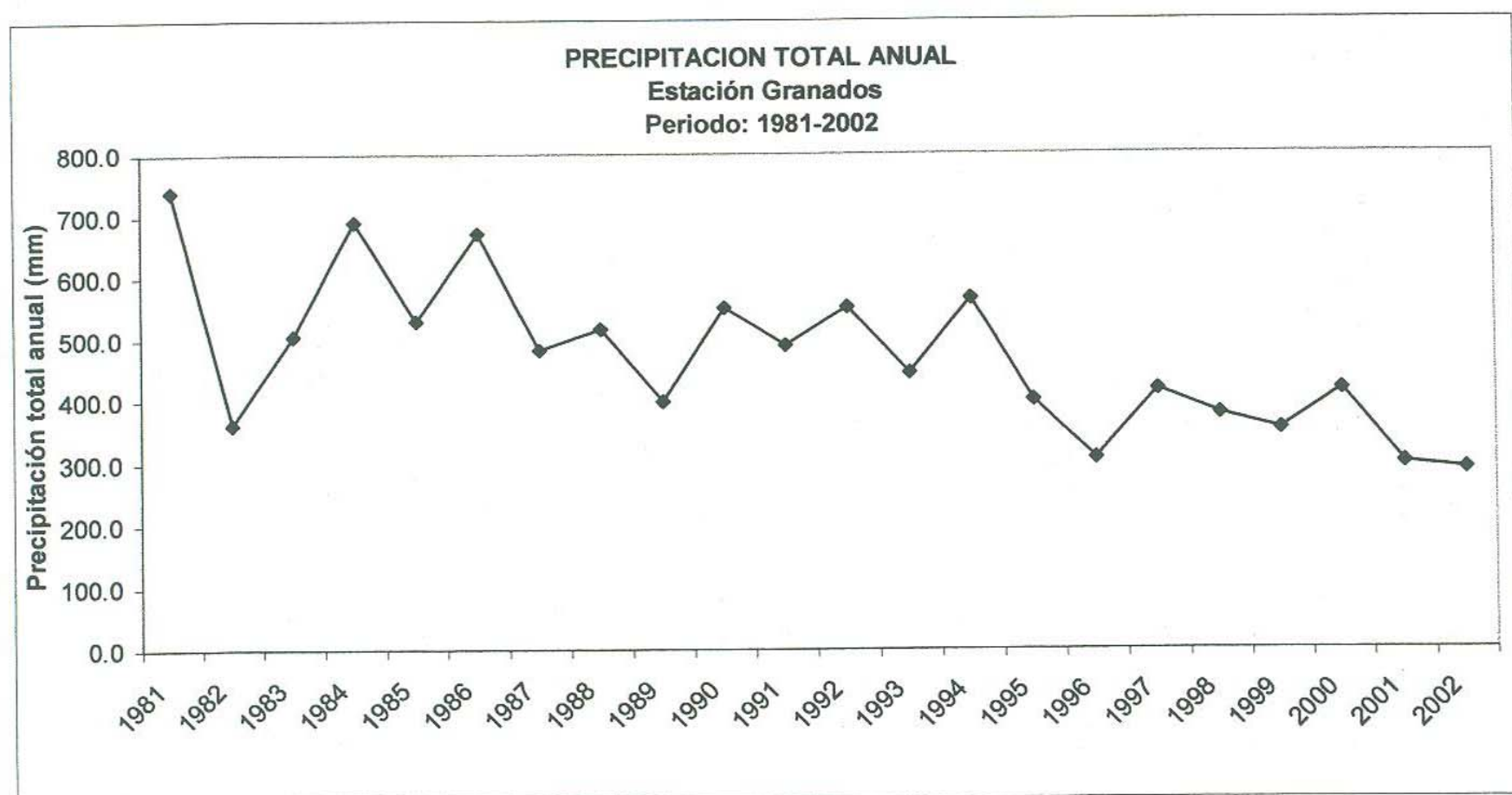


Figura 37.- Estación climatológica Granados, precipitación total anual, periodo 1981-2003.

Estación Climatológica Naco

El periodo de análisis es de 1962 al 2002. La Precipitación media mensual mayor en esta estación es en el mes de julio, donde se promedia una lamina de agua de 84.7 mm, las precipitaciones menores son en los meses de abril y mayo, la mínima es la del mes de mayo con un promedio de 5.80 mm. (Figura 38)

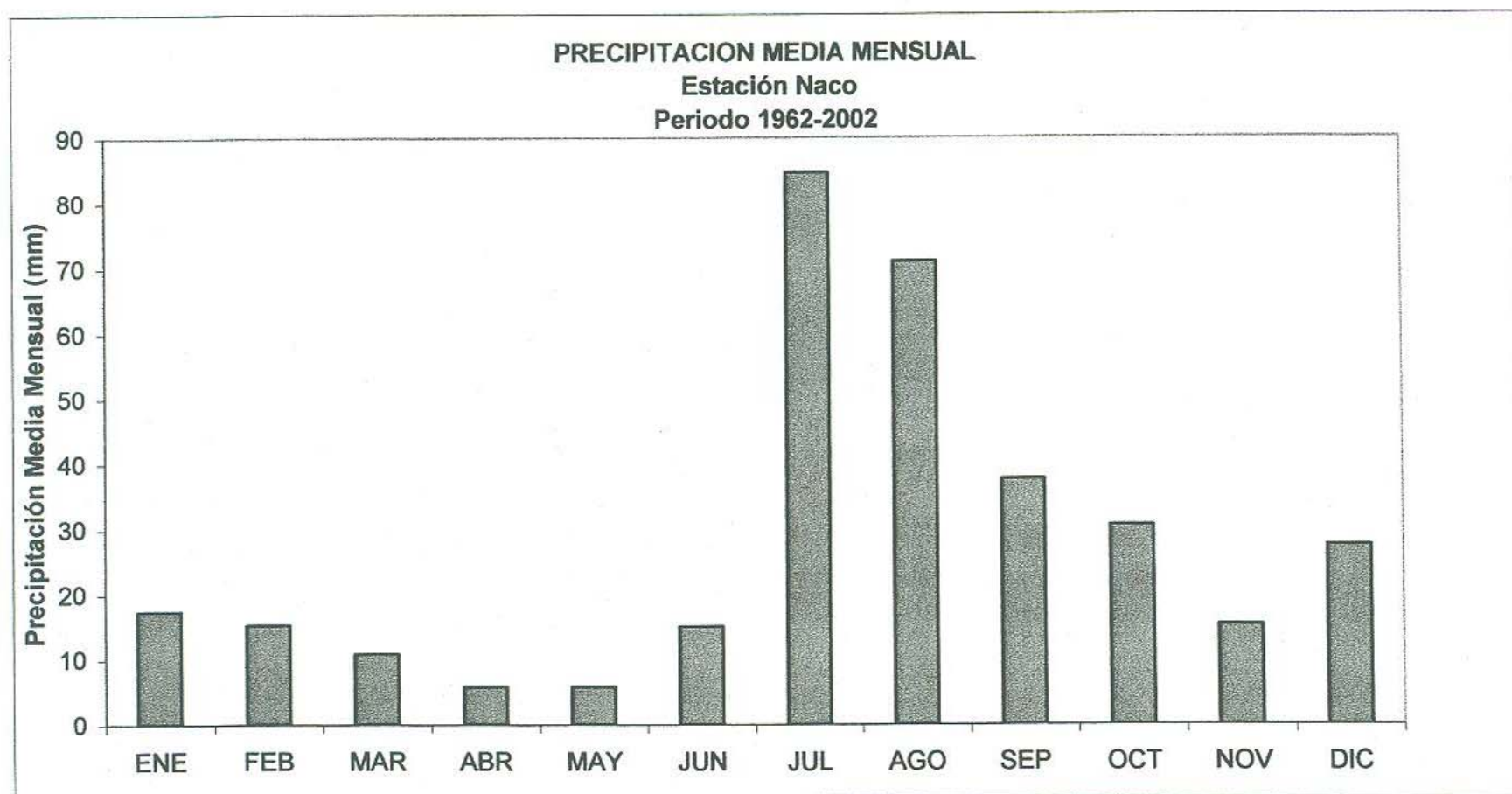


Figura 38.- Estación climatológica Naco, precipitación media mensual, periodo 1962-2002.

La Precipitación total anual mayor es de 502.0 mm en el año de 1977 y la precipitación menor de 77 mm. en el año de 1995. (Figura 39)

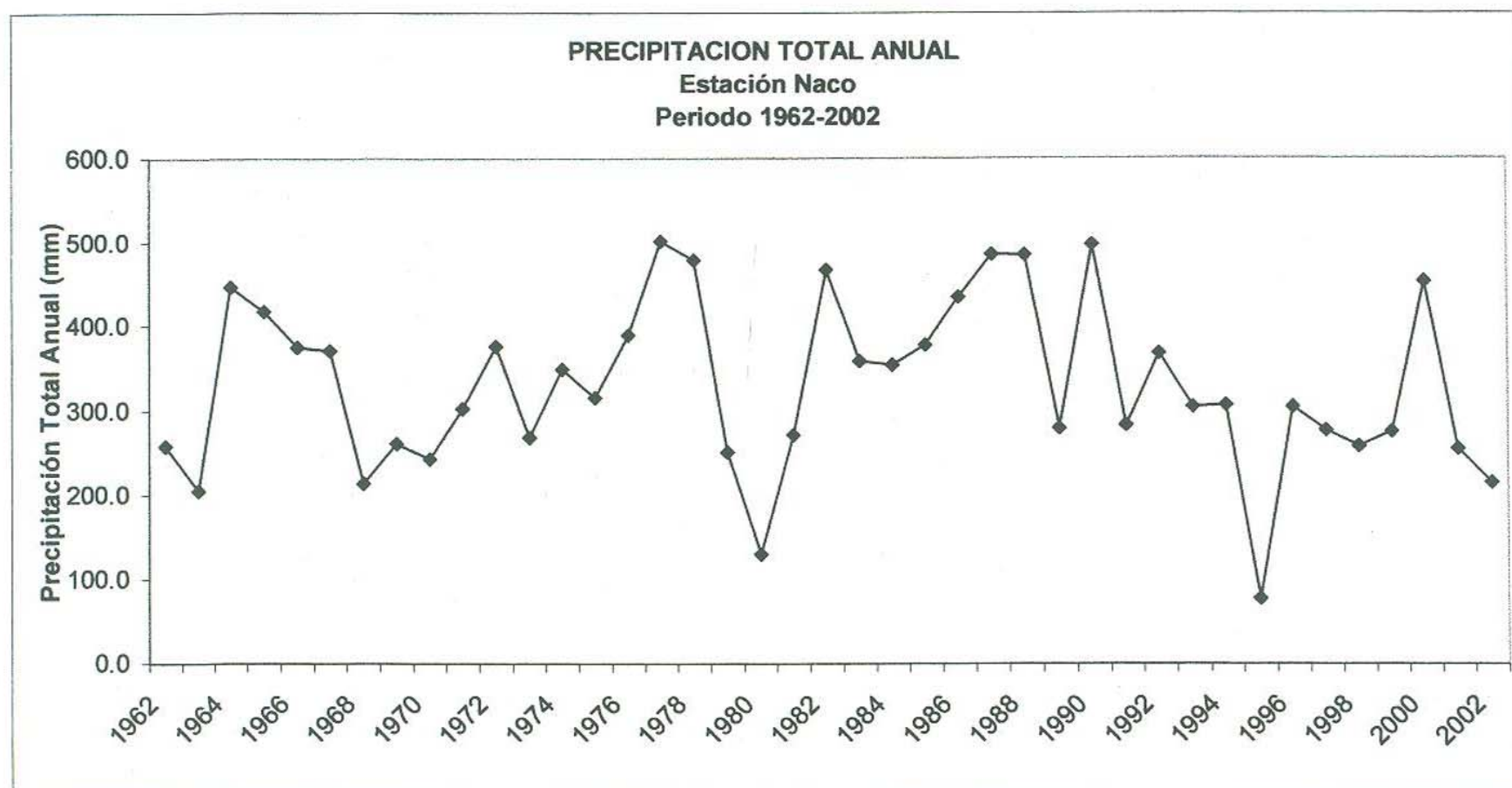


Figura 39.- Estación climatológica Naco, precipitación total anual, periodo 1962-2002.

Estación Climatológica Nacozari

En esta estación se tienen datos para periodos comprendidos entre 1960-2002. La Precipitación media mensual mayor es en el mes de julio donde se promedia una lamina de agua de 140.2 mm. Las precipitaciones menores son en abril y mayo, la precipitación mínima es en el mes de mayo con un promedio de 5.8 mm. (Figura 40)

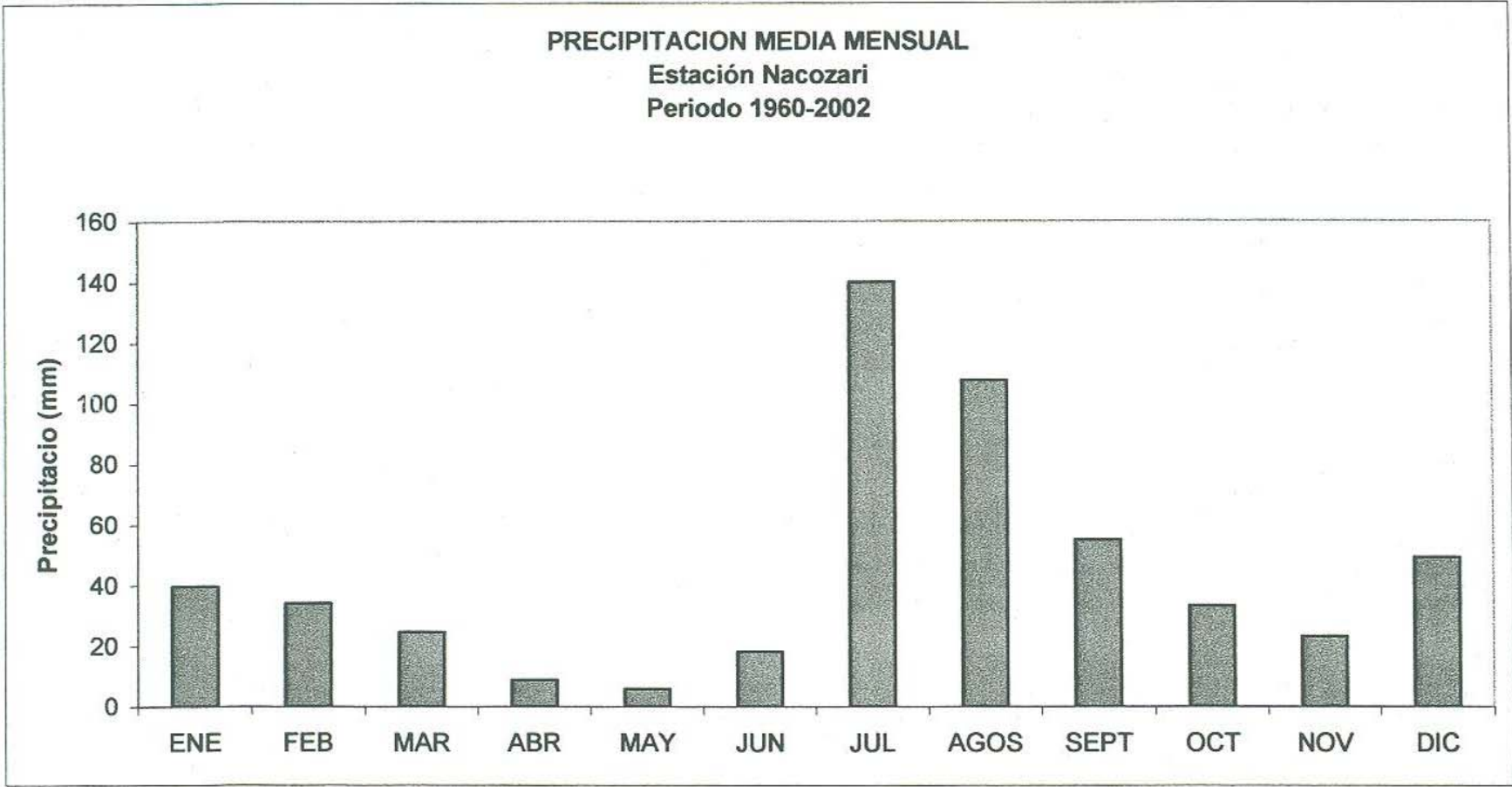


Figura 40.- Estación climatológica Nacozari, precipitación media mensual, periodo 1960-2002.

La precipitación total anual mayor es de 951mm en el año 1983 y la mínima lamina de agua es de 295.5 mm. en el año de 1989.(Figura 41)

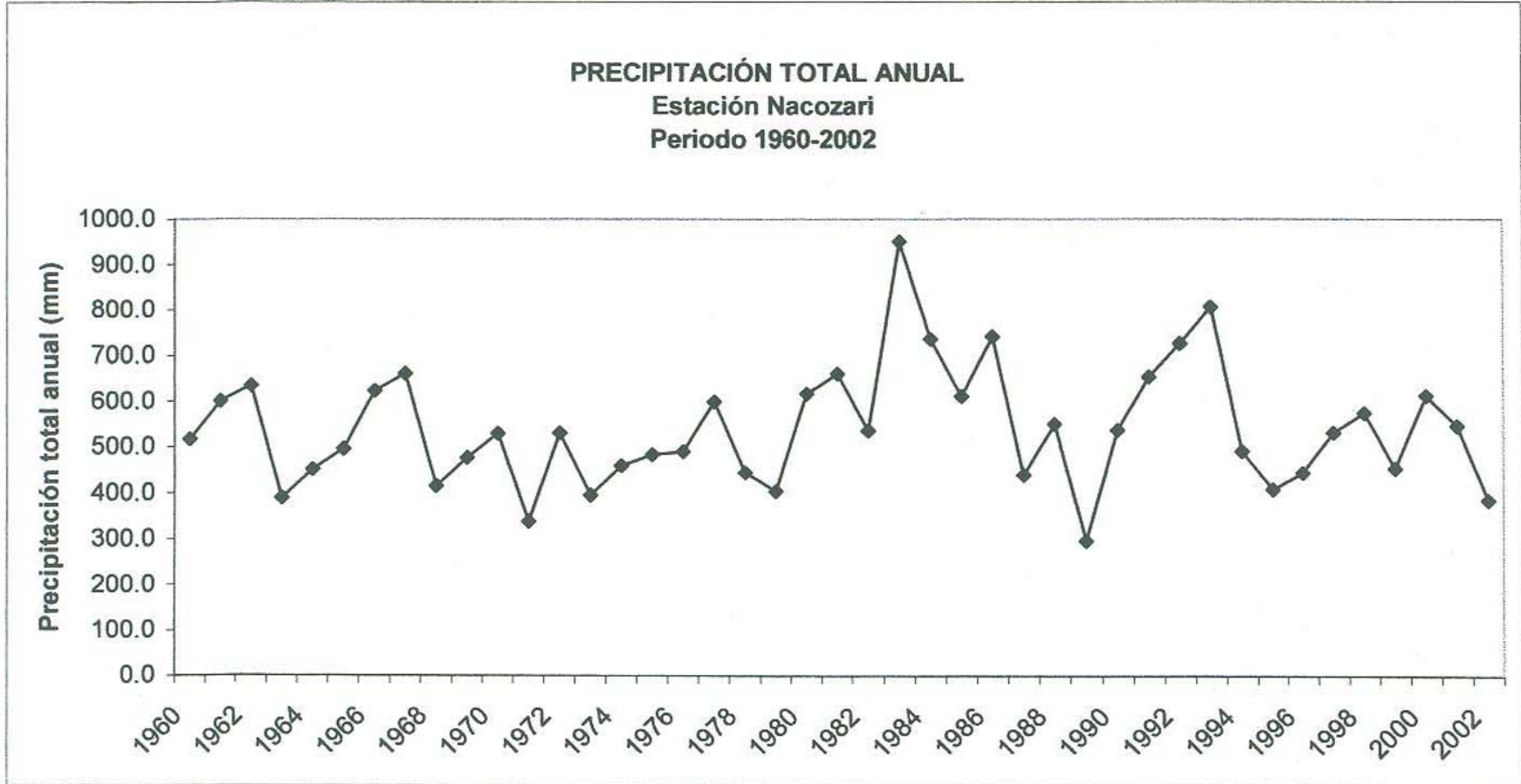


Figura 41.- Estación climatológica Nacozari, precipitación total anual, periodo 1960-2002.

Estación Climatológica Presa La Angostura

El periodo de análisis es de 1938-2003. La Precipitación media mensual mayor en esta estación es en el mes de julio con un promedio de 100.1 mm. Las precipitaciones menores son en el mes de mayo con un promedio de 4.9 mm.(Figura 42)

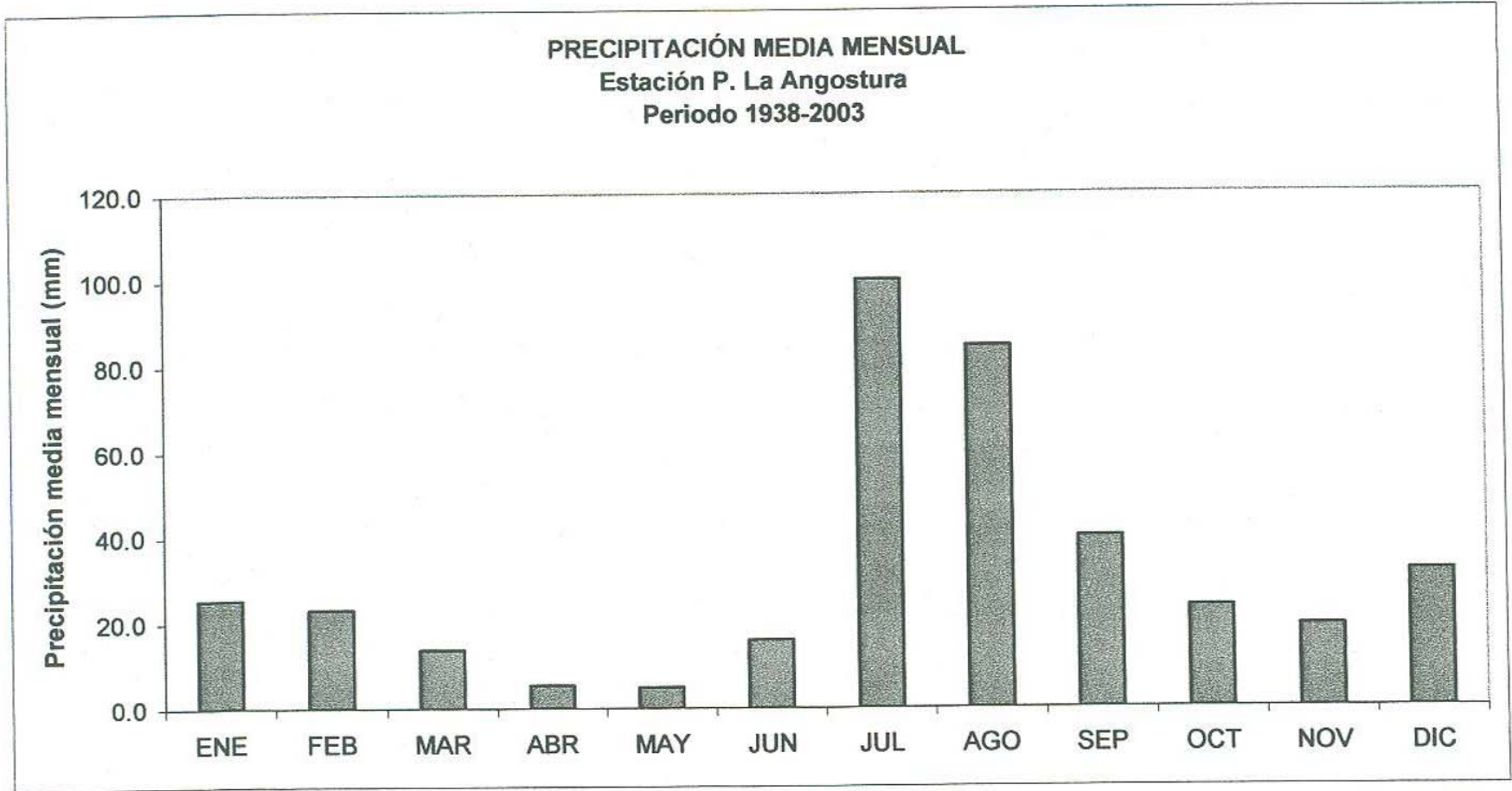


Figura 42.- Estación climatológica Presa La Angostura, precipitación media mensual, periodo 1938-2003.

La Precipitación total anual mayor es de 689.7 mm en el año de 1990 y la mínima lamina de agua es de 213.8 mm en el año de 1956. (Figura 43)

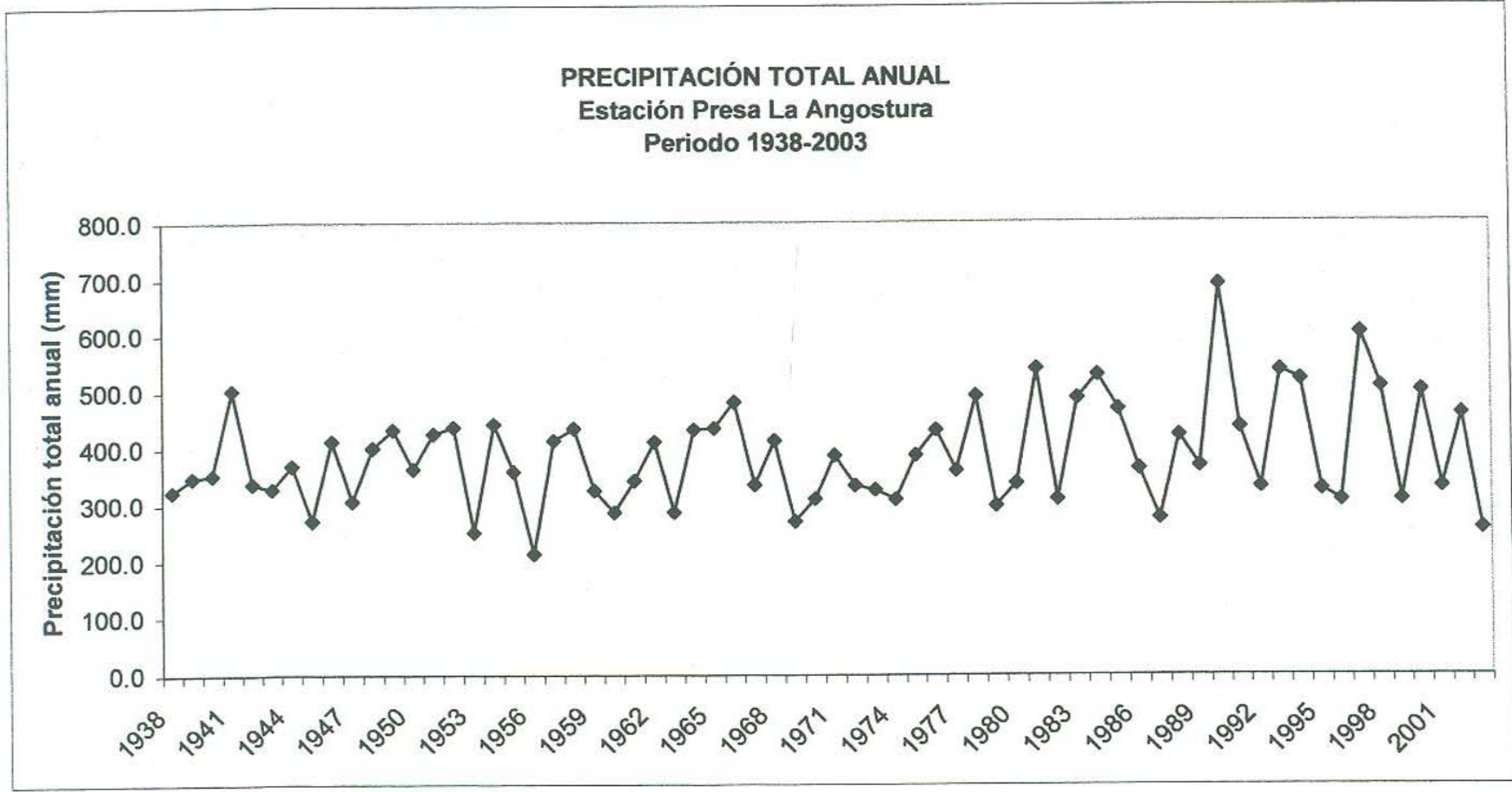


Figura 42.- Estación climatológica Presa La Angostura, precipitación media mensual, periodo 1938-2003.

Estación Climatológica El Tapiro

El periodo de análisis es de 1977-2002. La Precipitación media mensual mayor en esta estación es en el mes de julio con un promedio de 139.9 mm. Las precipitaciones menores son en el mes de mayo con un promedio de 2.9 mm. (Figura 44)

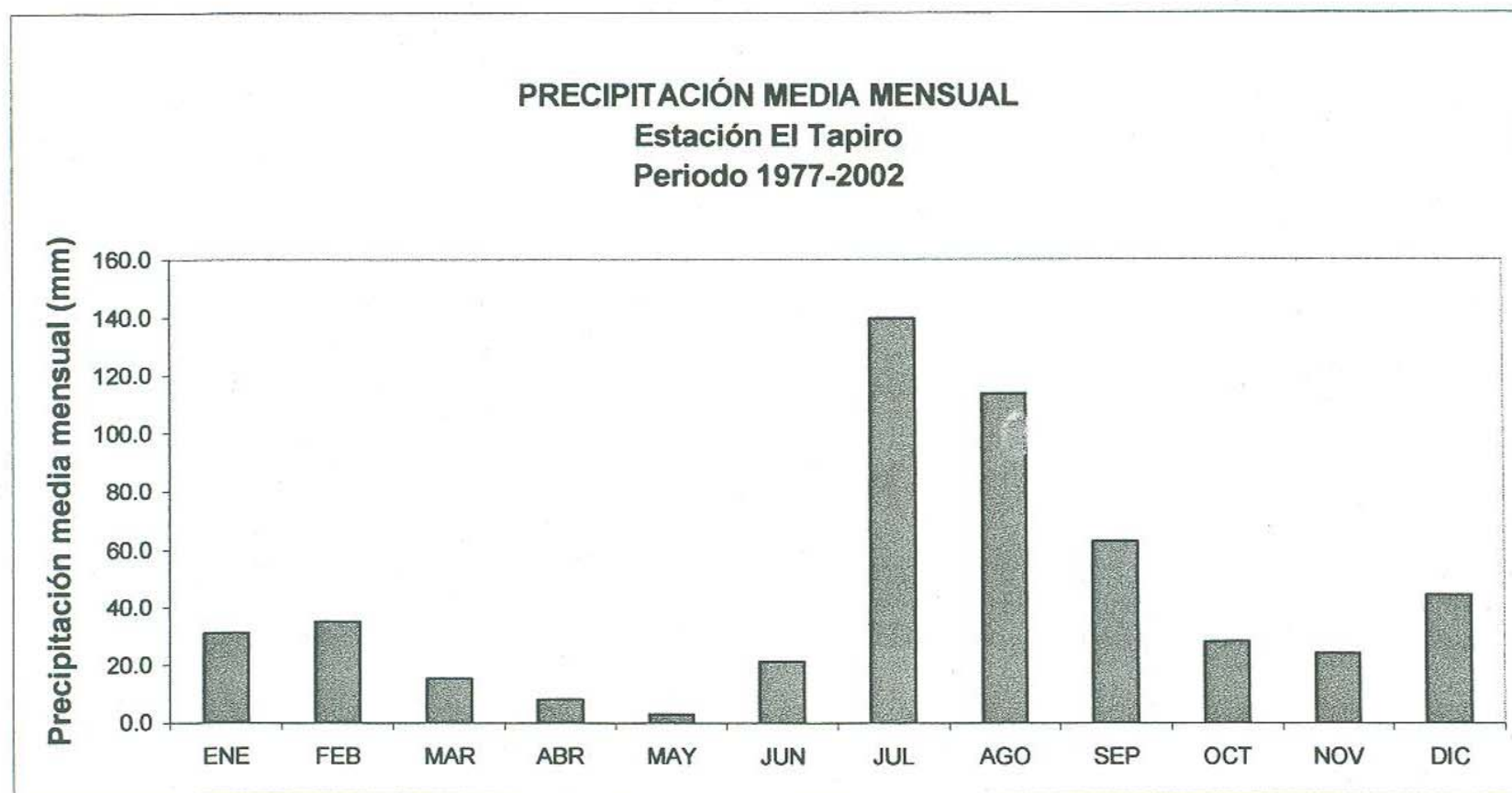


Figura 44.- Estación climatológica El Tapiro, precipitación media mensual, periodo 1977-2002.

La precipitación total anual mayor es de 816.5 mm en el año 1992 y la mínima lamina de agua es de 300.5 mm. en el año de 1979. (Figura 45)

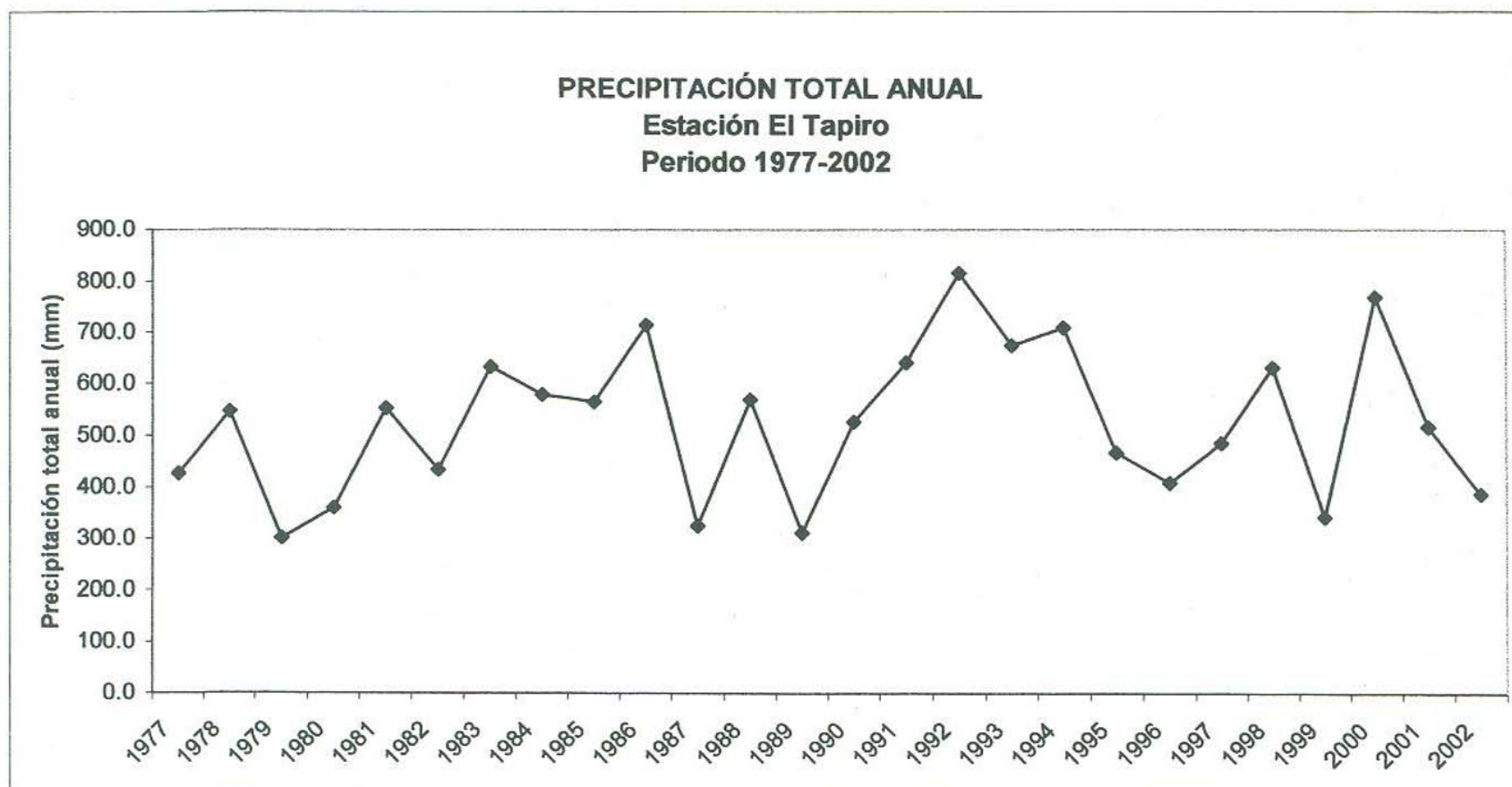


Figura 45.- Estación climatológica El Tapiro, precipitación total anual, periodo 1977-2002.

3.4. Evaporación potencial

Para el análisis de la Evaporación potencial, se utilizó la información de 5 estaciones climatológicas de las 9 ubicadas dentro de la cuenca alta del Río Yaqui, ya que estas cuentan con los registros más completos. Ver Figura 46 y Tabla 5. En la figura 47 se muestra la distribución de la evaporación potencial de las estaciones consideradas. Además se anexa una gráfica de la evaporación media mensual y evaporación total anual, por cada estación.

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA EVAPORACIÓN POTENCIAL				
No.	ESTACION	ESTADO	MUNICIPIO	TOTAL (mm)
1	AGUA PRIETA	SON	AGUA PRIETA	2143.11
2	BACADEHUACHI	SON	BACADEHUACHI	2150.81
3	COL. MORELOS	SON	AGUA PRIETA	2337.3
4	EL TAPIRO	SON	CUMPAS	1816.6
5	P. LA ANGOSTURA	SON	VILLA HIDALGO	2595.44
TOTAL				2208.652

Tabla 5.-Estaciones climatológicas consideradas en la cuenca alta Río Yaqui.

La información analizada se obtuvo de los expedientes de estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua. Con ellos se obtuvo una evaporación media en el área de estudio de 2208.65 mm anuales.

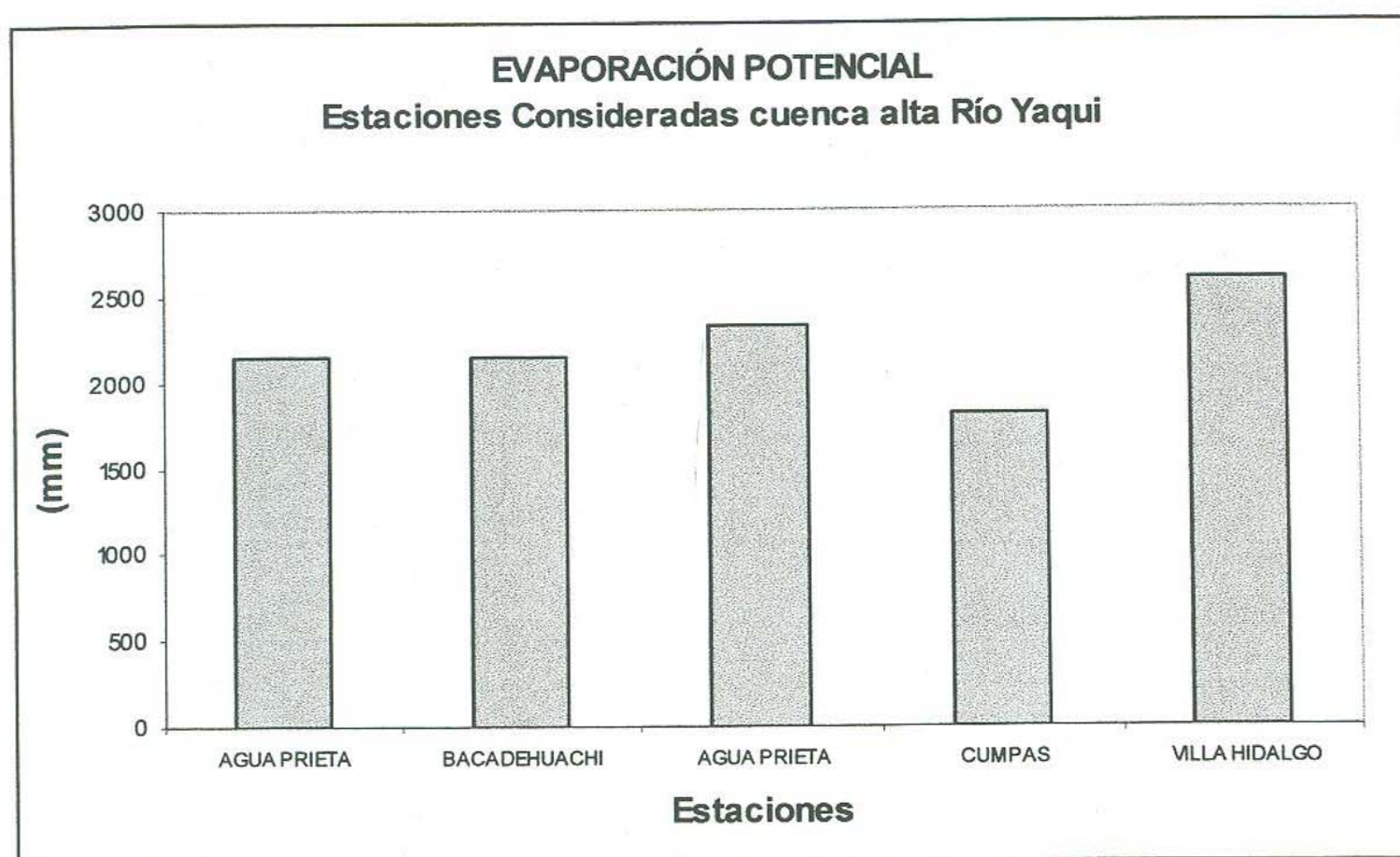


Figura 46.- Evaporación potencial en cada estación climatológica.



Figura 47.- Distribución de Evaporación potencial en la cuenca alta del Río Yaqui.

Estación Climatológica Agua Prieta

El Periodo de análisis de esta estación es de 1961-1984. La evaporación promedio mensual mayor es en el mes de junio con un promedio de 309.94 mm. La mínima en el mes de diciembre con un promedio de 67 mm.(Figura 48)

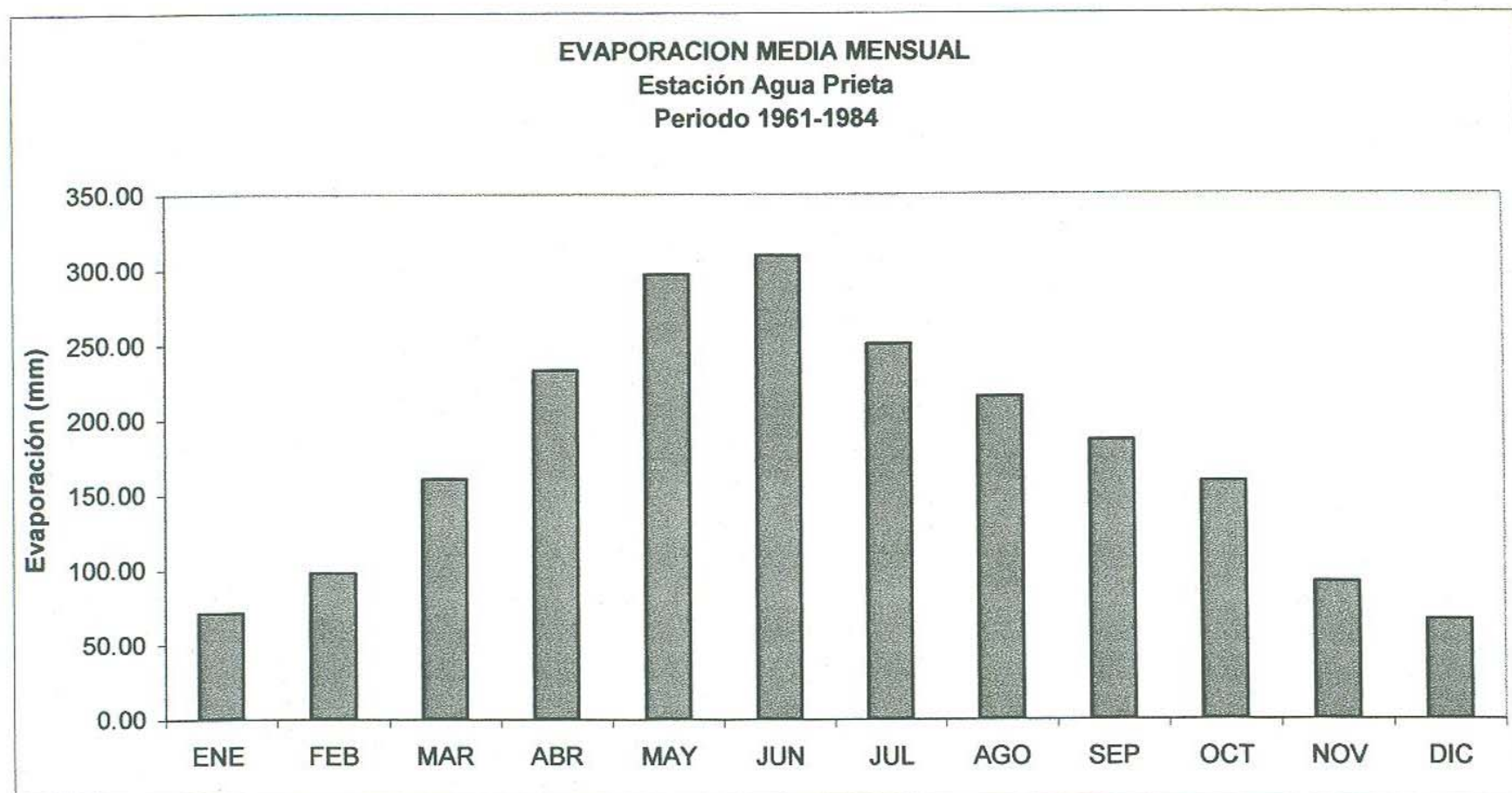


Figura 48.- Estación Climatológica Agua Prieta, Evaporación media anual, periodo 1961-1984.

La Evaporación total anual mayor es de 2489.10 mm. en el año de 1975 y la menor de 1779 mm. en el año 1964.(Figura 49)



Figura 49.- Estación Climatológica Agua Prieta, Evaporación total anual, periodo 1961-1984.

Estación Climatológica Bacadéhuachi

En esta estación se cuenta con los datos para el periodo comprendido entre 1964 y 1988. La Evaporación media mensual máxima es en el mes de junio, con un promedio de 333.9 mm. La mínima en el mes de enero con un promedio de 82.60 mm. (Figura 50)

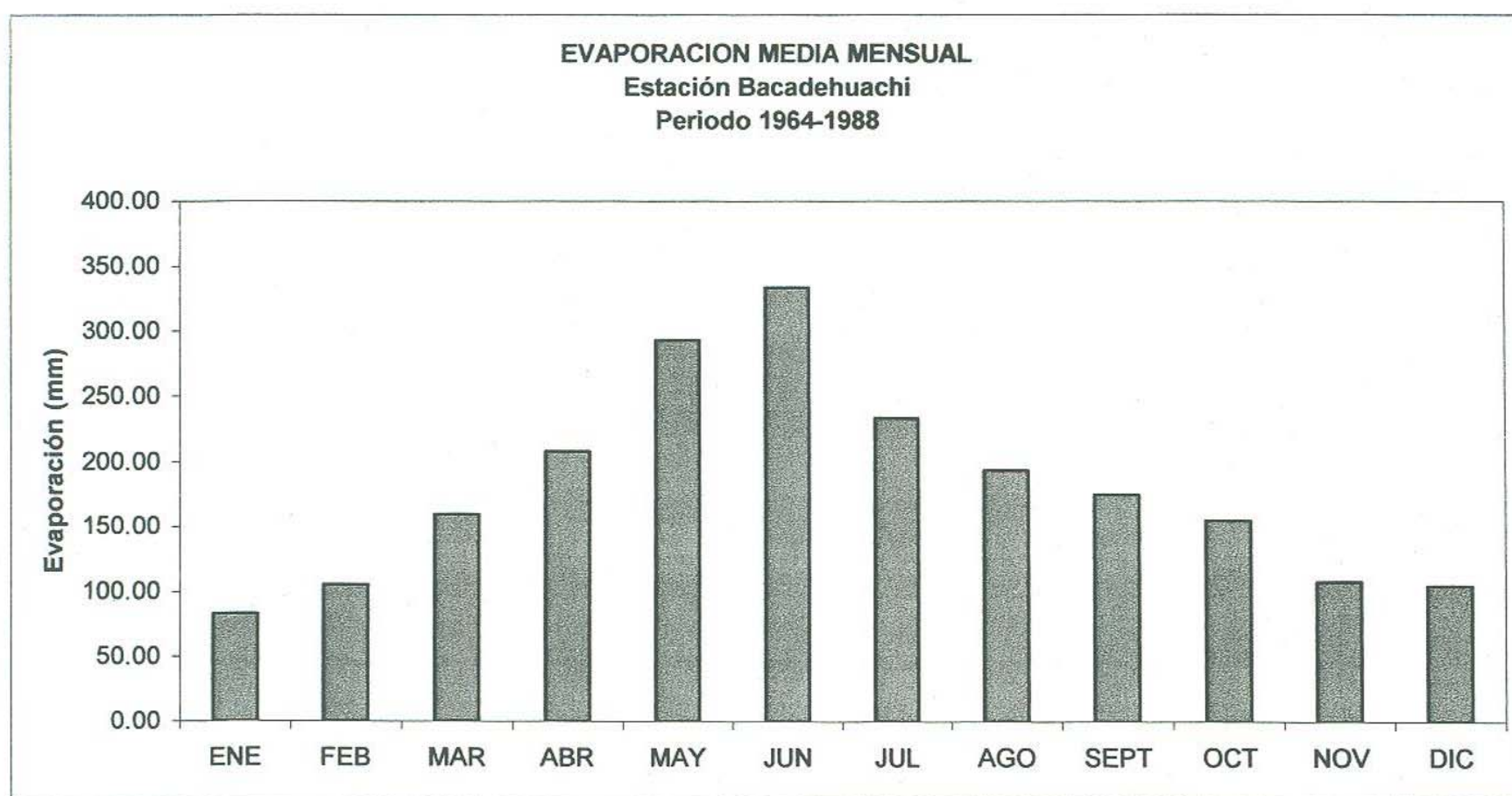


Figura 50.- Estación climatológica Bacadéhuachi, evaporación media mensual, periodo 1964-1988.

La Evaporación total anual mayor es de 2879.62 mm. para el año de 1965 y la mínima evaporación total anual de 1373.25 mm. en el año de 1986. (Figura 51)

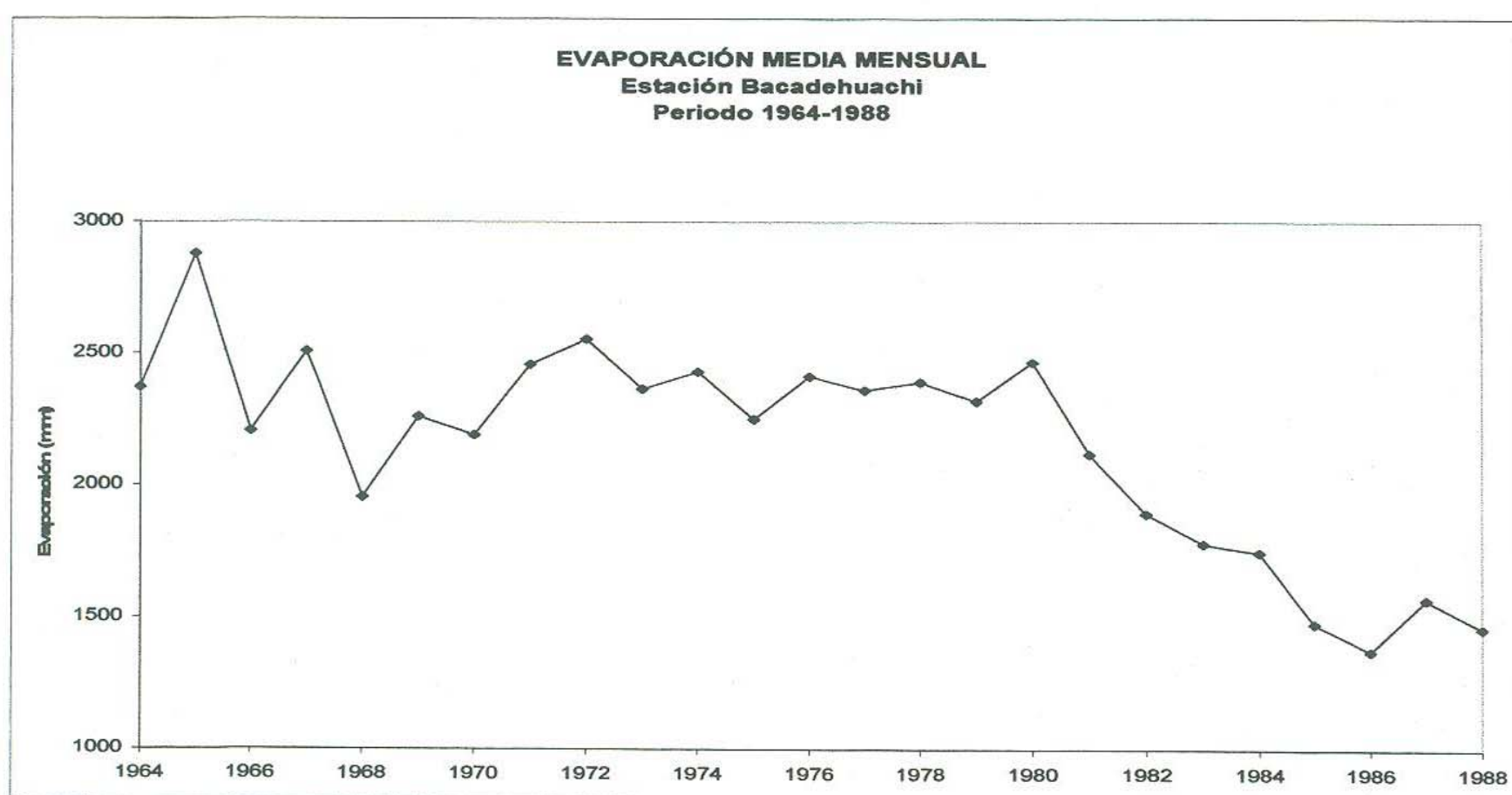


Figura 51.- Estación climatológica Bacadéhuachi, evaporación total anual, periodo 1964-1988.

Estación Climatológica Bacerac

Esta estación cuenta con datos del periodo de 1978-1984. La evaporación media mensual máxima, es en el mes de junio con un promedio de 284.2 mm y la mínima evaporación media mensual de 76.1 mm para el mes de enero.(Figura 52)

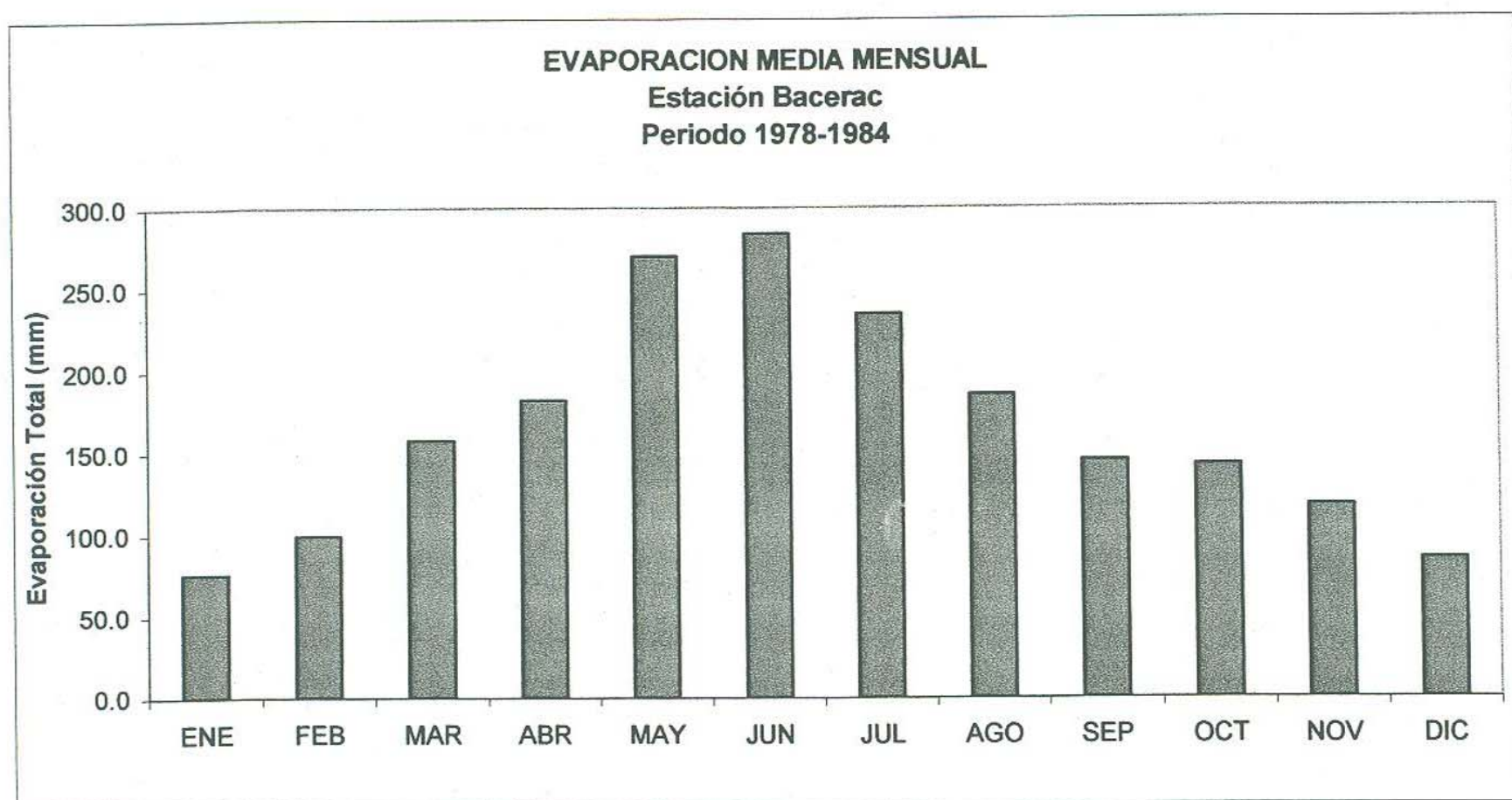


Figura 53.- Estación climatológica Bacerac, evaporación media mensual, periodo 1978-1984.

Estación Climatológica Colonia Morelos

Esta estación cuenta con datos para los periodos comprendidos entre 1965-1987. La Evaporación media mensual máxima es en el mes de junio, con un promedio de 338.97 mm y la mínima evaporación media mensual es en el mes de enero con una media de 81.33 mm. (Figura 54)

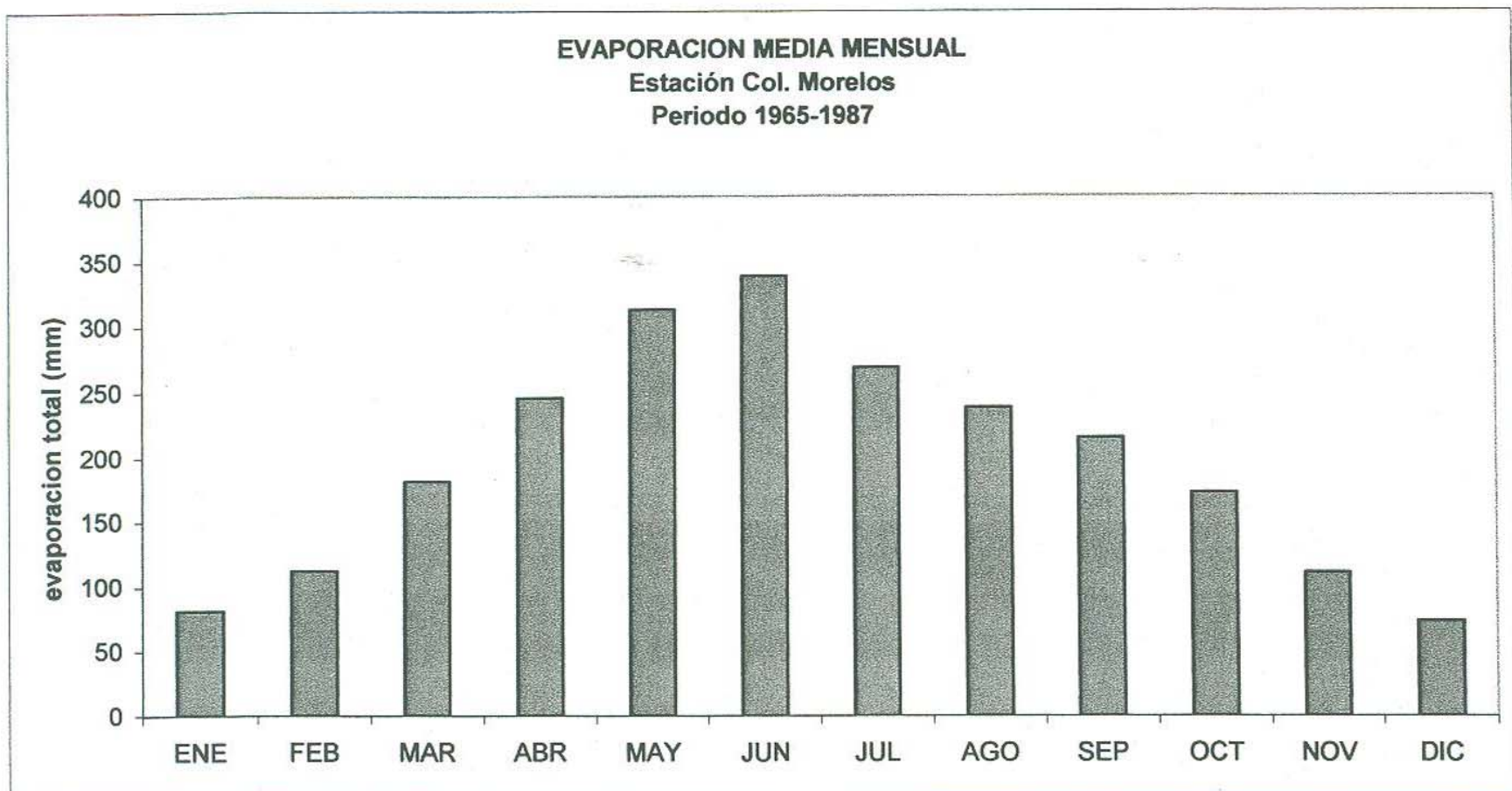


Figura 54.- Estación climatológica Col. Morelos, evaporación media mensual, periodo 1965-1987.

La evaporación total anual máxima es de 2590.32 mm. en el año de 1974 y la mínima evaporación total anual es de 1943.98 mm en el año de 1986.(55)

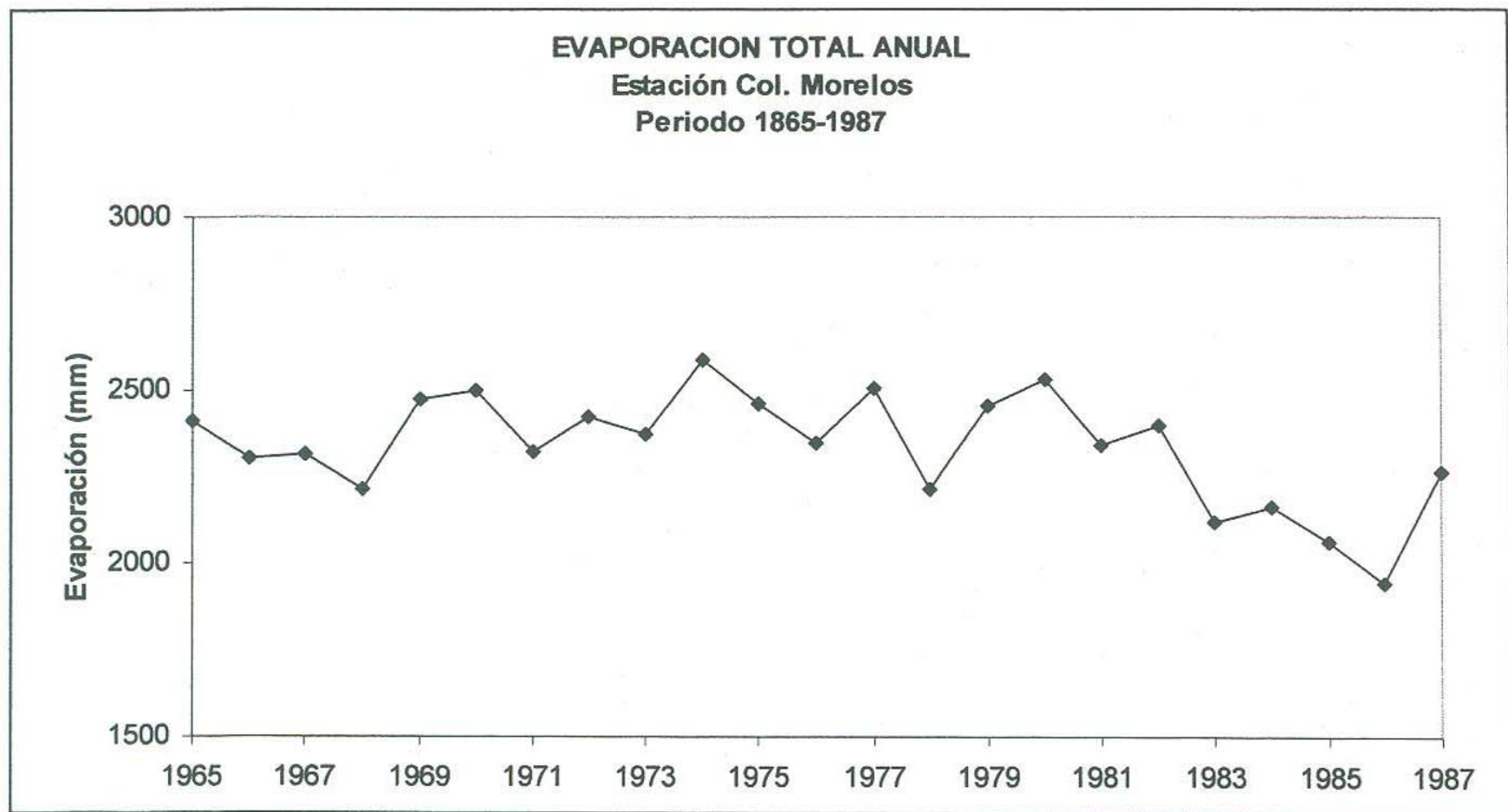


Figura 55.- Estación climatológica Col. Morelos, evaporación total anual, periodo 1965-1987.

Estación Climatológica Presa La Angostura

El periodo de análisis es de 1975-2002. La Evaporación media mensual máxima es en el mes de junio con un promedio de 374.67 mm y la mínima evaporación media mensual es en el mes de diciembre con un promedio de 94.88 mm. (Figura 56)

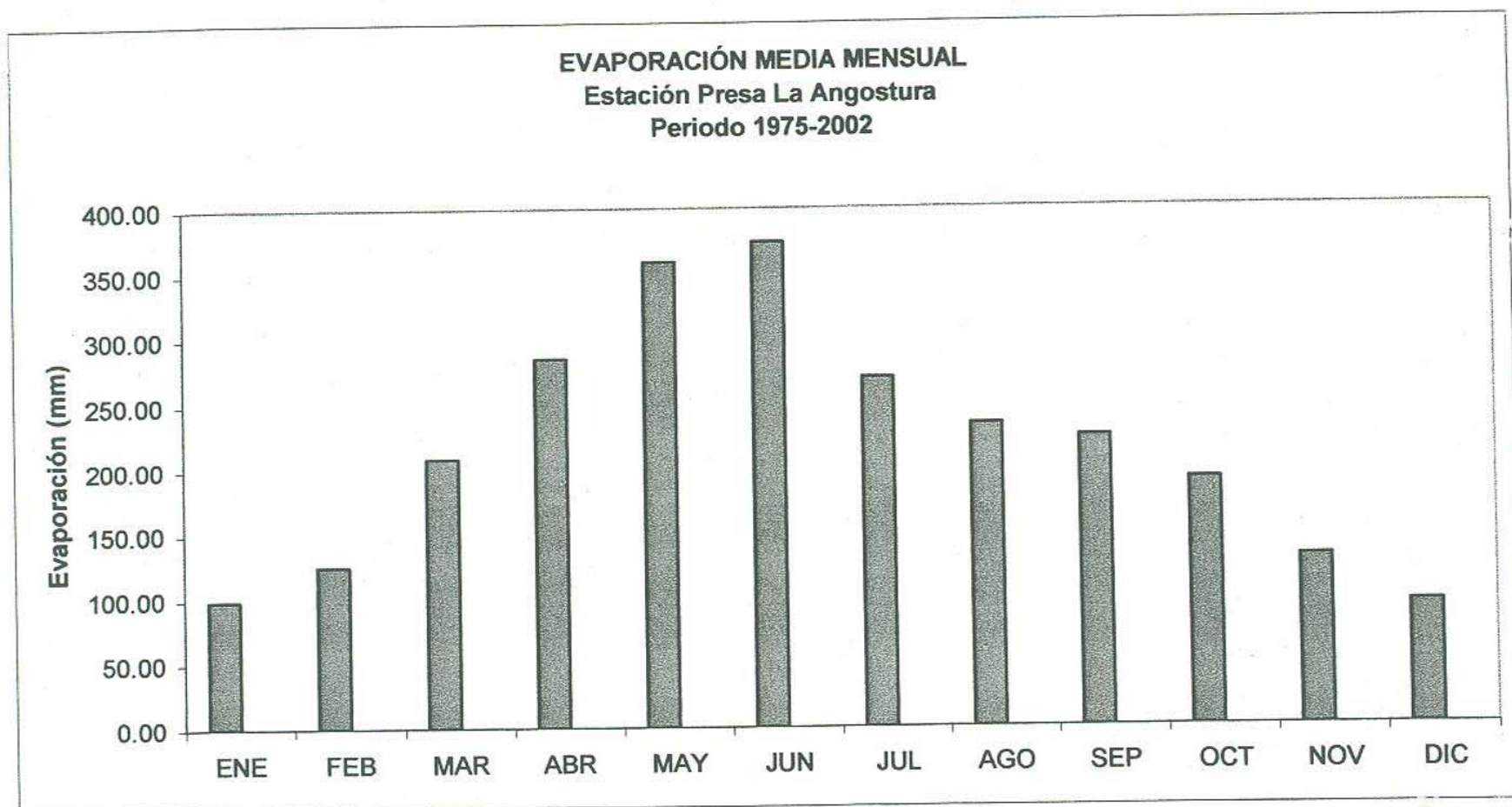


Figura 56.- Estación climatológica Presa La Angostura, evaporación media mensual, periodo 1975-2002.

La Evaporación total anual mayor es de 3143.70 mm en el año de 1980 y la mínima evaporación total anual de 2301.10 mm en el año de 1992. (Figura 57)

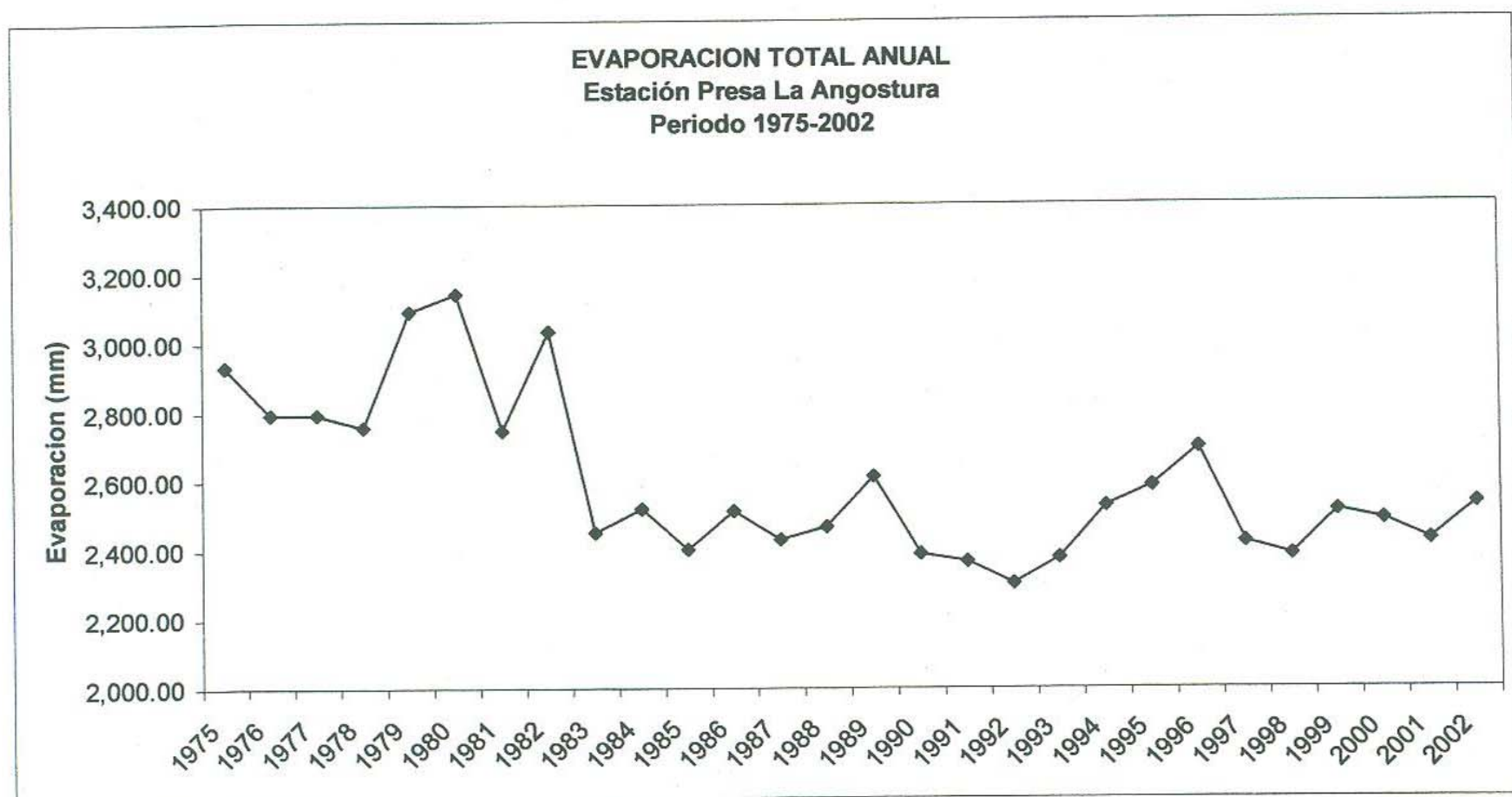


Figura 57.- Estación climatológica Presa La Angostura, evaporación total anual, periodo 1975-2002.

Estación Climatológica El Tapiro

El periodo de análisis es de 1977-2002. La Evaporación media mensual máxima es en el mes de junio con un promedio de 261.9 mm y la mínima evaporación media mensual es en el mes enero con un promedio de 83.4 mm. (Figura 58)

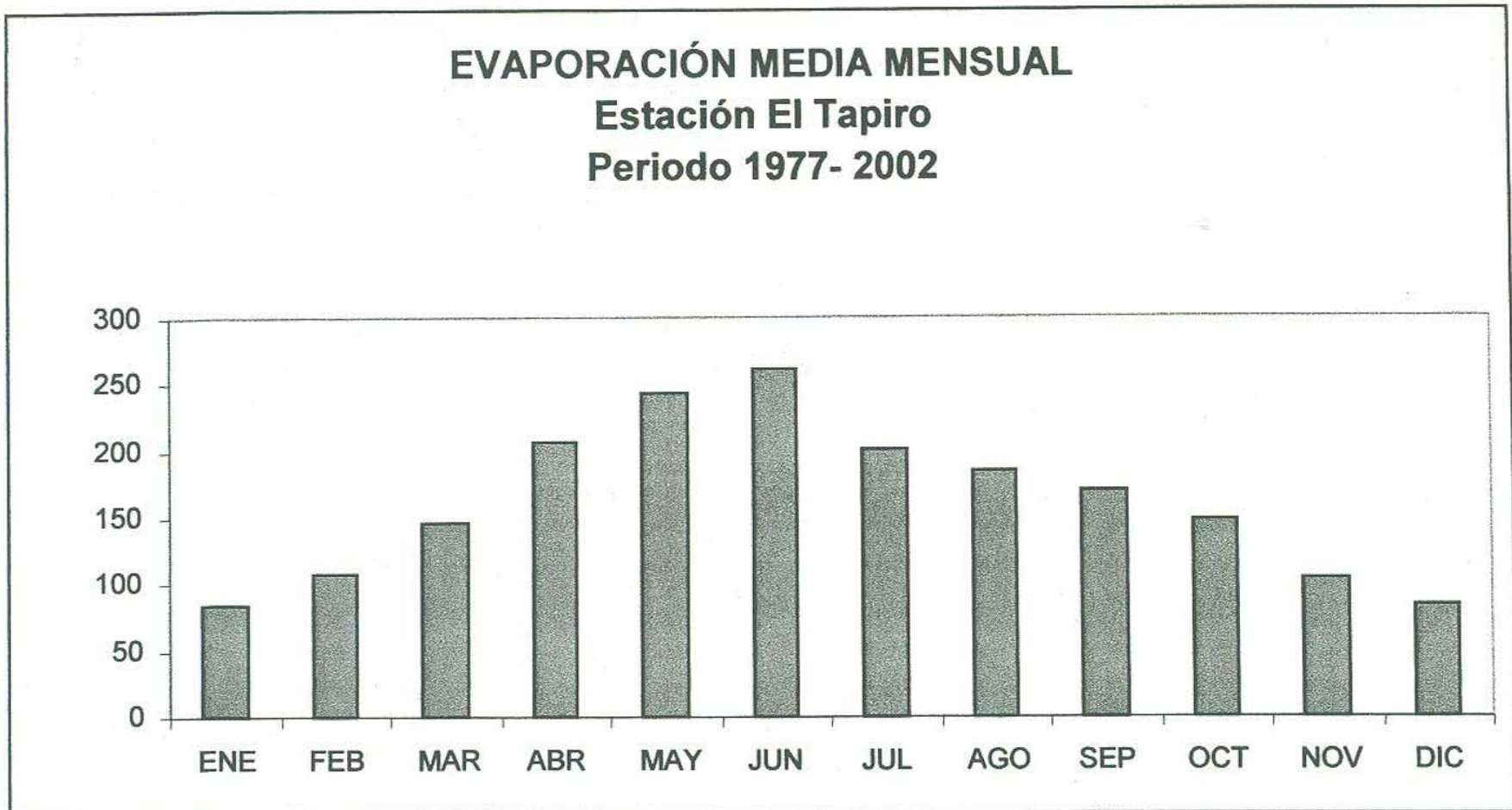


Figura 58.- Estación climatológica El Tapiro, evaporación media mensual, periodo 1977-2002.

La Evaporación total anual, en la Estación climatológica del Tapiro no se pudo graficar por falta de datos en el registro.

En las estaciones de Granados, Naco, Nacozari, no cuentan con evaporómetro por lo que no se graficaron las evaporaciones totales anuales y media mensual.

3.5. Evapotranspiración real

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua cambia del estado líquido al estado gaseoso debido a la radiación solar, se estima que en este proceso del ciclo hidrológico entre el 75 y 90 % de la precipitación total anual que ocurre sobre los continentes retorna a la atmósfera en forma de vapor. En el área de estudio, la evapotranspiración real obtenida representa el 95 % de la precipitación.

La evapotranspiración real (ETR) fue calculada con el método de Turc, para cada una de las estaciones consideradas. Los valores obtenidos para cada una de las estaciones se muestran en la tabla 6 y figura 59, en donde se observa que la estación Naco presenta una evapotranspiración real media anual mínima de 324.4 mm. La media máxima anual se calculo en la Estación Nacozari con un total de 494.55 mm, y una media anual total de 409.19 mm.

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL MEDIA ANUAL (mm)				
No.	ESTACION	EDO.	MUNICIPIO	MEDIA
1	AGUA PRIETA	SON	AGUA PRIETA	349.73
2	BACADEHUACHI	SON	BACADEHUACHI	432.62
3	BACERAC	SON	BACERAC	424.41
4	COL. MORELOS	SON	AGUA PRIETA	336.01
5	EL TAPIRO	SON	CUMPAS	487.28
6	GRANADOS	SON	GRANADOS	452.70
7	NACUZARI	SON	NACUZARI	494.55
8	P. LA ANGOSTURA	SON	VILLA HIDALGO	381.05
9	NACO	SON	NACO	324.40
TOTAL				409.19

Tabla 6.- Evapotranspiración real media anual en cada estación.

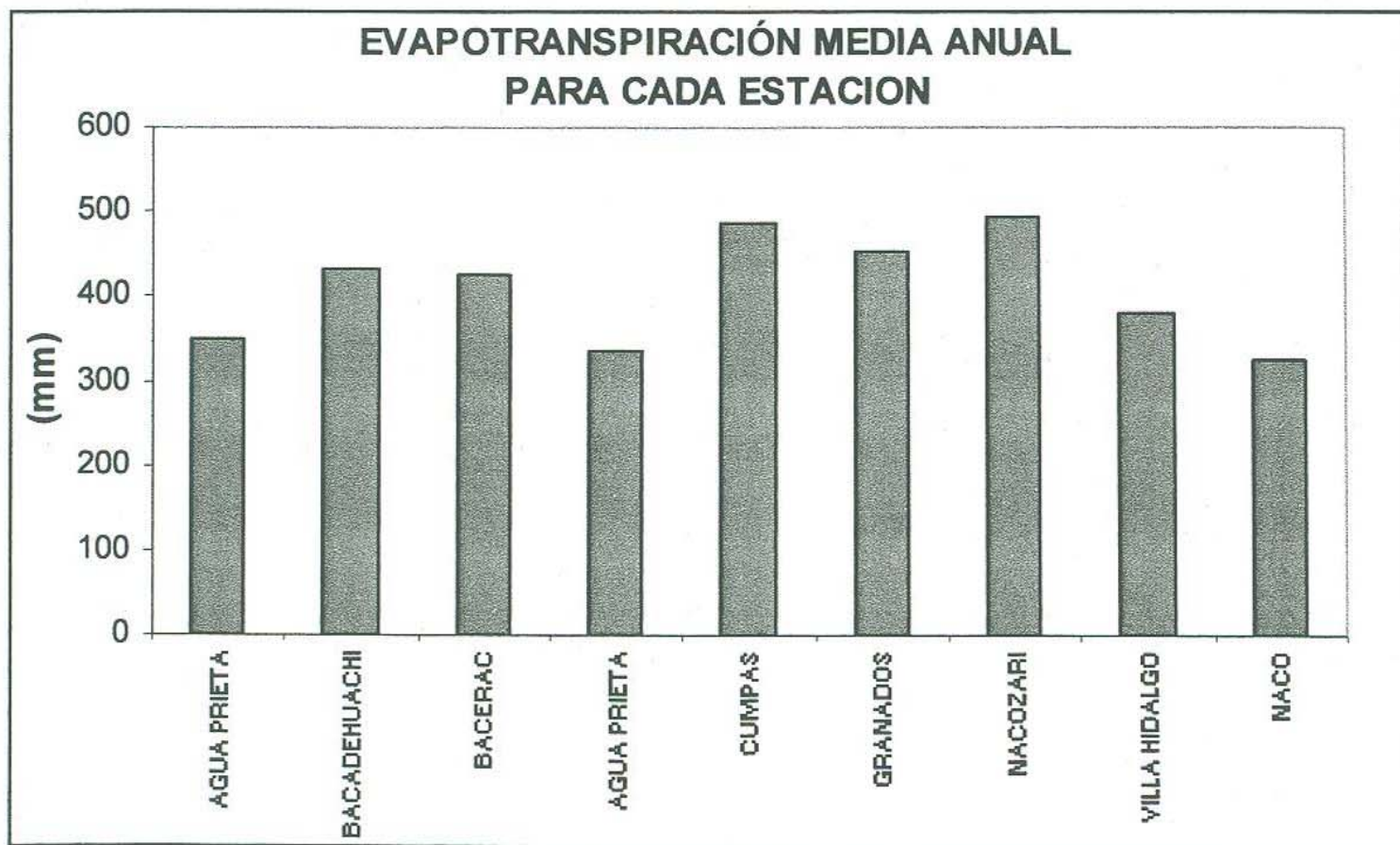


Figura.- 59.- Evapotranspiración real media anual en cada estación.

La figura 60, muestra la distribución de la evapotranspiración real media anual en la cuenca alta del Río Yaqui, interpolando cada una de las estaciones climatológicas.

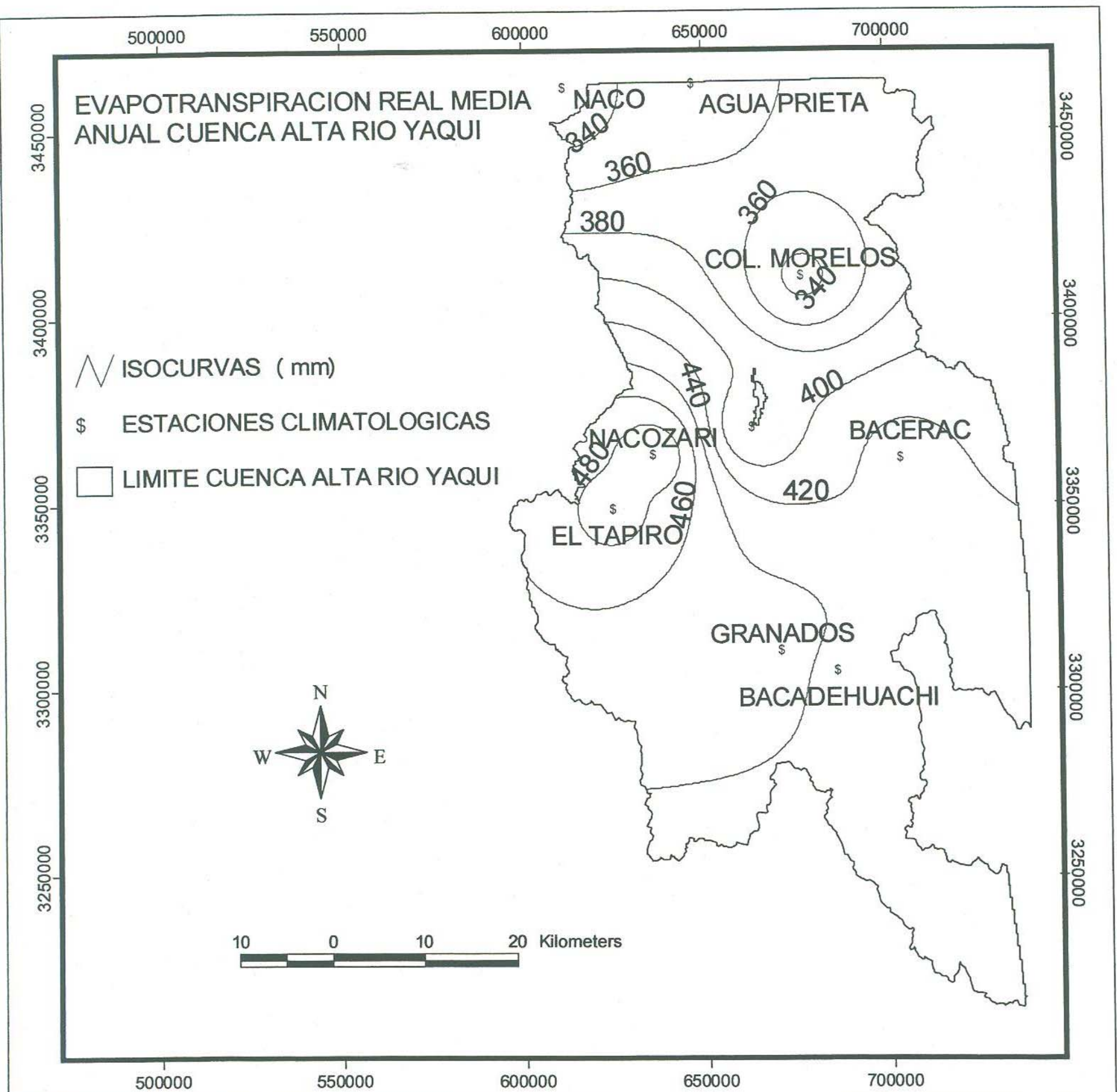


Figura 60. Distribución de la Evapotranspiración en la cuenca alta Río Yaqui.

3.6. Hidrografía de la Cuenca

El Río Yaqui drena la cuenca del mismo nombre en una superficie de 69,590km² y en elevaciones del terreno de hasta de 3,000 m.s.n.m. Tiene una precipitación promedio que varía de 1,800mm en la parte alta, a 200mm en parte media y baja. Su gasto medio regulado por el sistema hidráulico del control de presas es de 200,000m³/mes (CENACE- Hermosillo, información verbal, agosto 1989).

El Río Yaqui tiene dos principales tributarios, los cuales nacen en la parte alta de la Sierra Madre Occidental, ambos con corrientes perenes; el primero, con el nombre del Río Papigóchic y segundo siendo el Río Sirupa que nace en el Estado de Chihuahua y, aunque cambia de rumbo bruscamente, mantiene una dirección preferencial SE-NW, tomando el nombre de Río Aros al entrar a la jurisdicción de Sonora y uniéndose a la corriente del Río Bavispe, aguas arriba de la Presa Plutarco Elías Calles, para formar el Río Yaqui. El tributario principal, el Río Bavispe, nace también en la misma sierra unos 200 Km. al norte; entra al Estado de Sonora con rumbo preferencial SE-NW y se intersecta con el Río Agua Prieta que nace en el Estado de Arizona, E. U. A., cambiando de rumbo bruscamente a N-S, manteniendo el mismo nombre hasta que a su vez confluye con el Río Aros y toma el nombre de Río Yaqui. A 100 Km. al norte de esta confluencia y sobre el Río Bavispe se encuentra la presa La Angostura, que almacena 1,270 millones de m³. Ya con el nombre de Río Yaqui, aunque con varios cambios bruscos de rumbo, mantiene una dirección preferencial N-S.

Otros afluentes importantes del sistema son los ríos, Verde, Tutuaca, Mulatos, Bonito, Sahuaripa, Bacanora, Moctezuma (con el cual forma el embalse de la presa El Novillo) y Tecoripa (que se le une en la Presa Álvaro Obregón). El Río Yaqui drena finalmente al Golfo de California en el estero de Santo Domingo, después de su paso por el sistema de presas y aprovechamientos mencionados, así como numerosos repesos construidos sobre afluentes de menor importancia, principalmente para uso agrícola. (Figura 61)

3.6.1 Escurrimientos

El coeficiente de escurrimiento (c) es la relación del caudal que fluye sobre el terreno, al caudal llovido. De acuerdo a su variación en el país, los coeficientes de escurrimientos se agrupan en cinco rangos, que representan las condiciones del escurrimiento. Los rangos considerados son: de 0 a 5%, de 5 a 10%, de 10 a 20%, de 20 a 30% y mayor de 30%.

Dentro del área se tienen determinados tres rangos de escurrimiento. El rango de 10 a 20 % es el que se encuentra mayormente distribuido, se ubica en terrenos abruptos donde la permeabilidad es baja, el tapiz vegetal es de moderado a denso y las precipitaciones anuales varían entre 500 y 1000 mm. En una menor superficie, ubicada en la porción Oeste, se encuentra distribuido el rango de escurrimiento superficial de entre 5 y 10%; este rango comprende tres tipos de terrenos con características diferentes, uno de ellos cuenta con permeabilidad baja y la cubierta vegetal es densa, la precipitación promedio 500 mm anuales; además se ubican dentro de este rango terrenos en los cuales la permeabilidad es media, así como también la densidad de la cubierta vegetal, el promedio de precipitación anual es de 550 mm; y finalmente la superficie que cuenta con alta permeabilidad, escaso tapiz vegetal y una precipitación promedio de alrededor de 500 mm, también se encuentran dentro del rango de escurrimiento entre 5 y 10%. El

escurrimiento mínimo se ubica en el lado Oeste, en sitios con un tapiz vegetal medio o denso, precipitación anual inferior a los 600 mm y alta permeabilidad; en estas zonas el coeficiente de escurrimiento es menor al 5%.

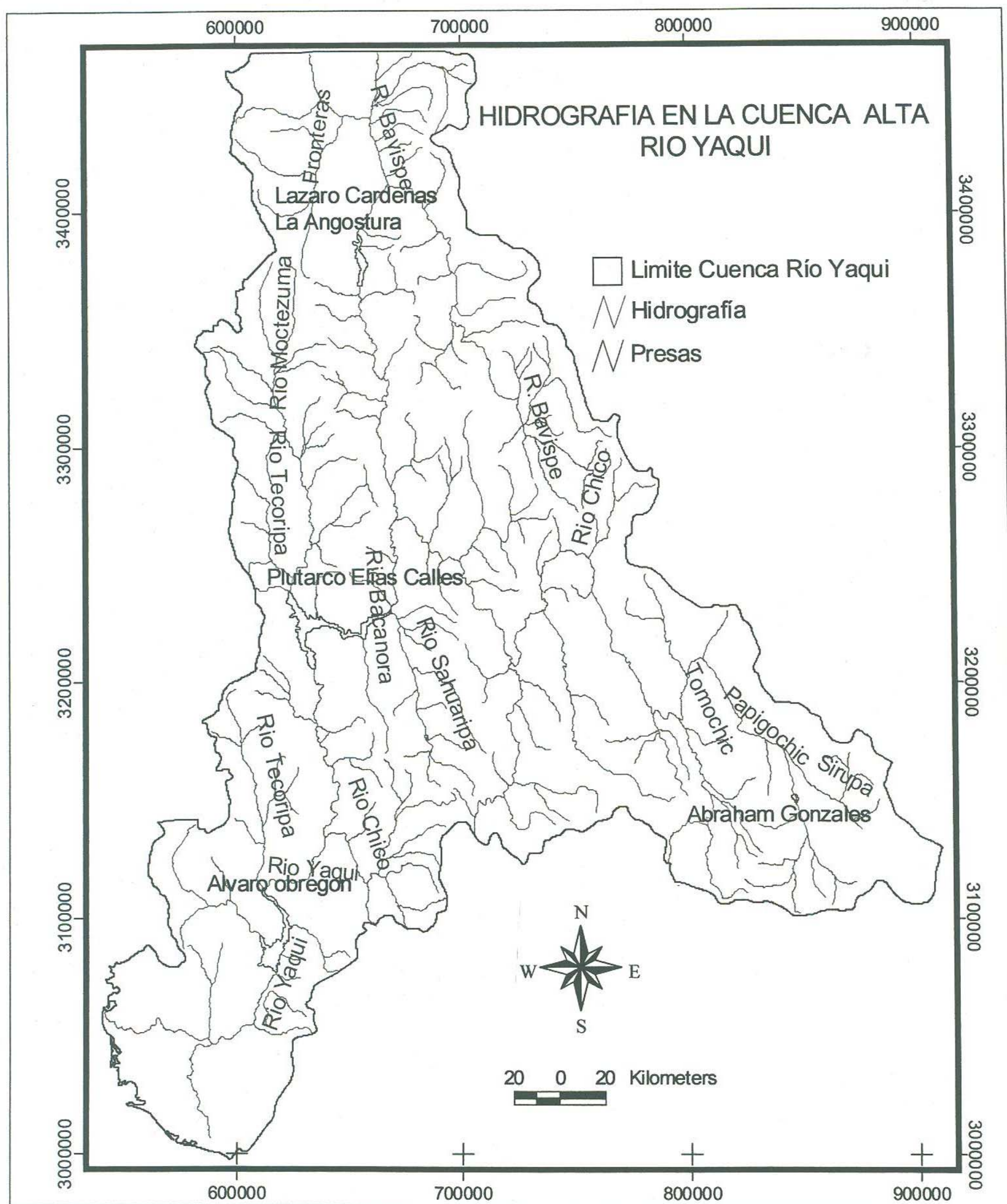


Figura 61.-Hidrografía de la Cuenca Alta Río Yaqui.

3.6.2. Sistemas de Drenaje

El tipo de drenaje que predomina en la cuenca es del dendrítico, el Río Yaqui toma su curso por largos tramos en este sistema, si bien gran parte de sus afluentes aprovecharon zonas de debilidad para trazar sus cursos. En aquellas áreas de rocas más débiles, donde el Río Yaqui ha labrado con anchura su cauce, existen bancos fluvio-aluviales de material granular de diversas texturas con buenas condiciones de infiltración y almacenamiento subterráneo.

3.7. Hidrología de la cuenca

3.7.1. Sistema de Presas

El río Yaqui cuenta con tres presas principales para el almacenamiento, control de avenidas y generación de energía eléctrica, siendo estas: Lázaro Cárdenas (Angostura), Plutarco Elías Calles (El Novillo) y Álvaro Obregón (El Oviáchic), describiéndose a continuación sus principales características y almacenamientos recientes.

Lázaro Cárdenas (La Angostura)

Esta presa fue construida con el propósito de riego, durante el período de 1936 a 1942 y se sitúa a unos 25 kilómetros al este de la población de Nacozari, Sonora.

Tiene una capacidad al Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO) de 703.4 millones de m^3 , mientras que al Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME) su capacidad es de 1,116.5 millones de m^3 .

De su registro histórico, se observa que la presa La Angostura ha tenido bajos almacenamientos durante los último años, ligeramente superiores a los registrados en los años 1967 y 1977, cuando se tuvieron almacenamientos de 32.2 millones de m^3 y 17.5 millones de m^3 , respectivamente. (Figura 62)

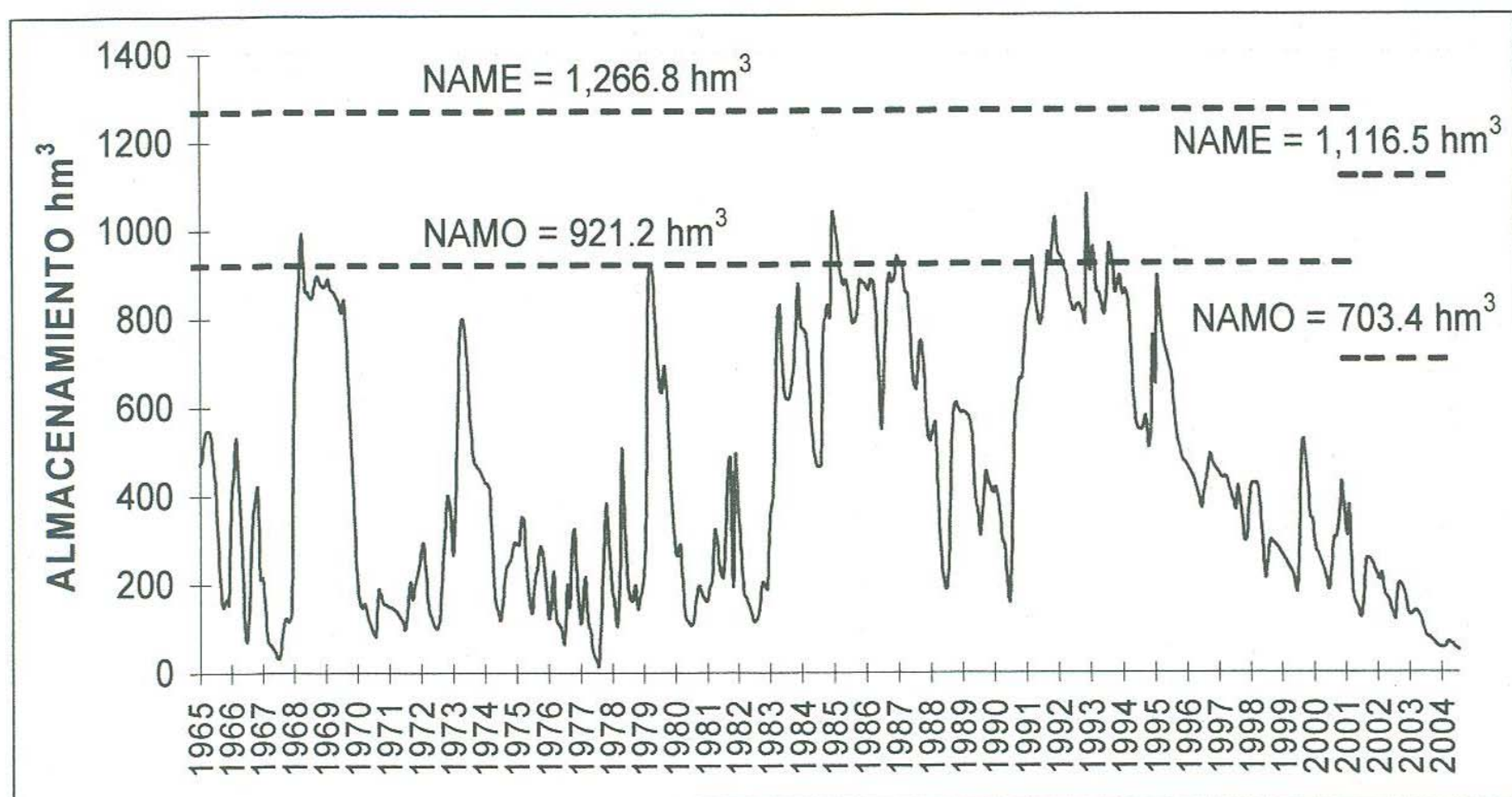


Figura 62.- Comportamiento de los almacenamientos en la presa Lázaro Cárdenas.

Plutarco Elías Calles (El Novillo)

La presa El Novillo fue construida durante el período de 1954 a 1964, con el propósito de generar energía eléctrica y controlar avenidas. Se sitúa a unos 151 kilómetros al oriente de la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Tiene una capacidad al Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO) de 3,020 millones de m^3 , mientras que al Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME) su capacidad es de 3,628.6 millones de m^3 .

En los últimos años los almacenamientos en la presa han registrado una tendencia a la baja (Figura 63).

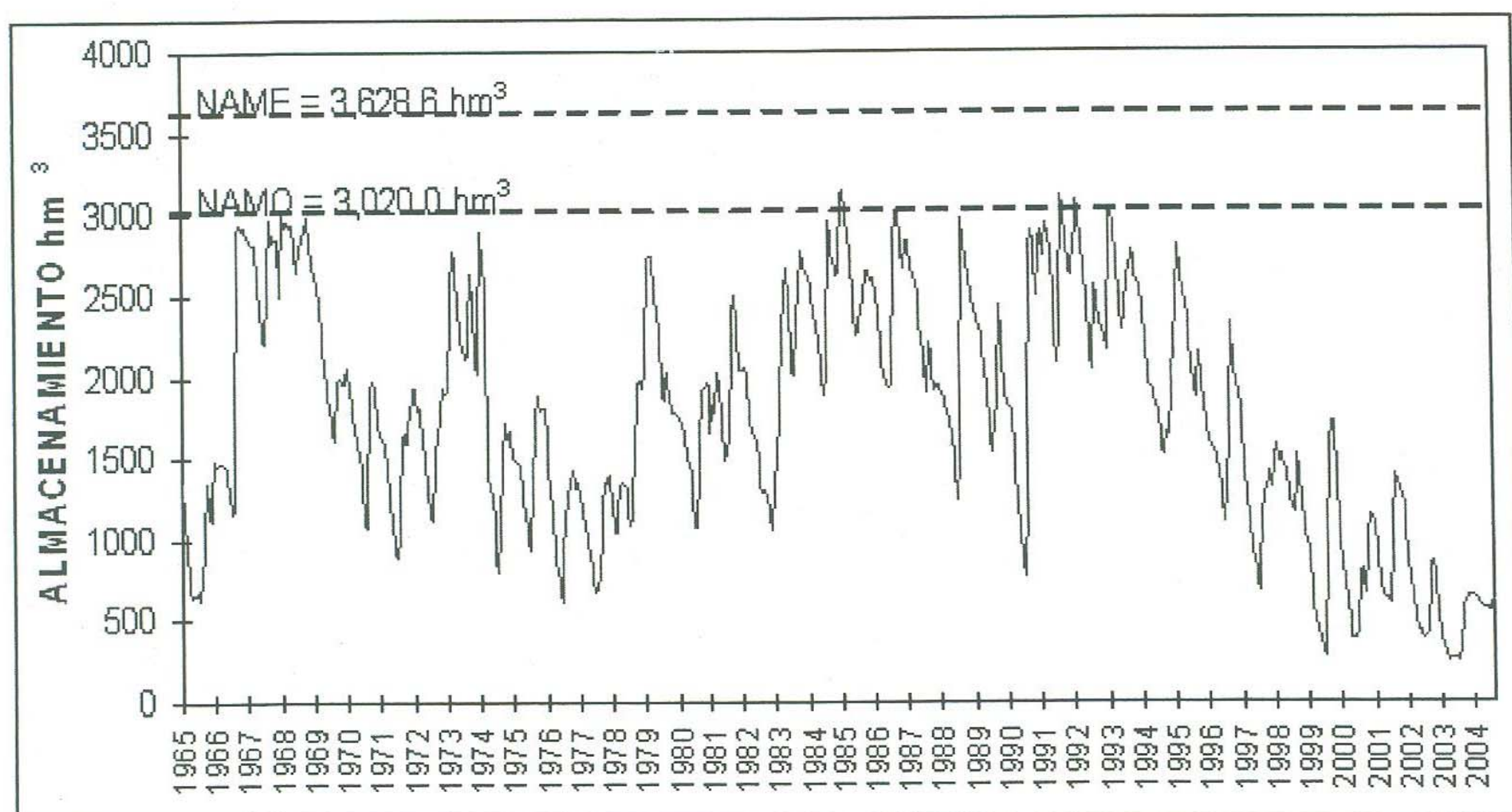


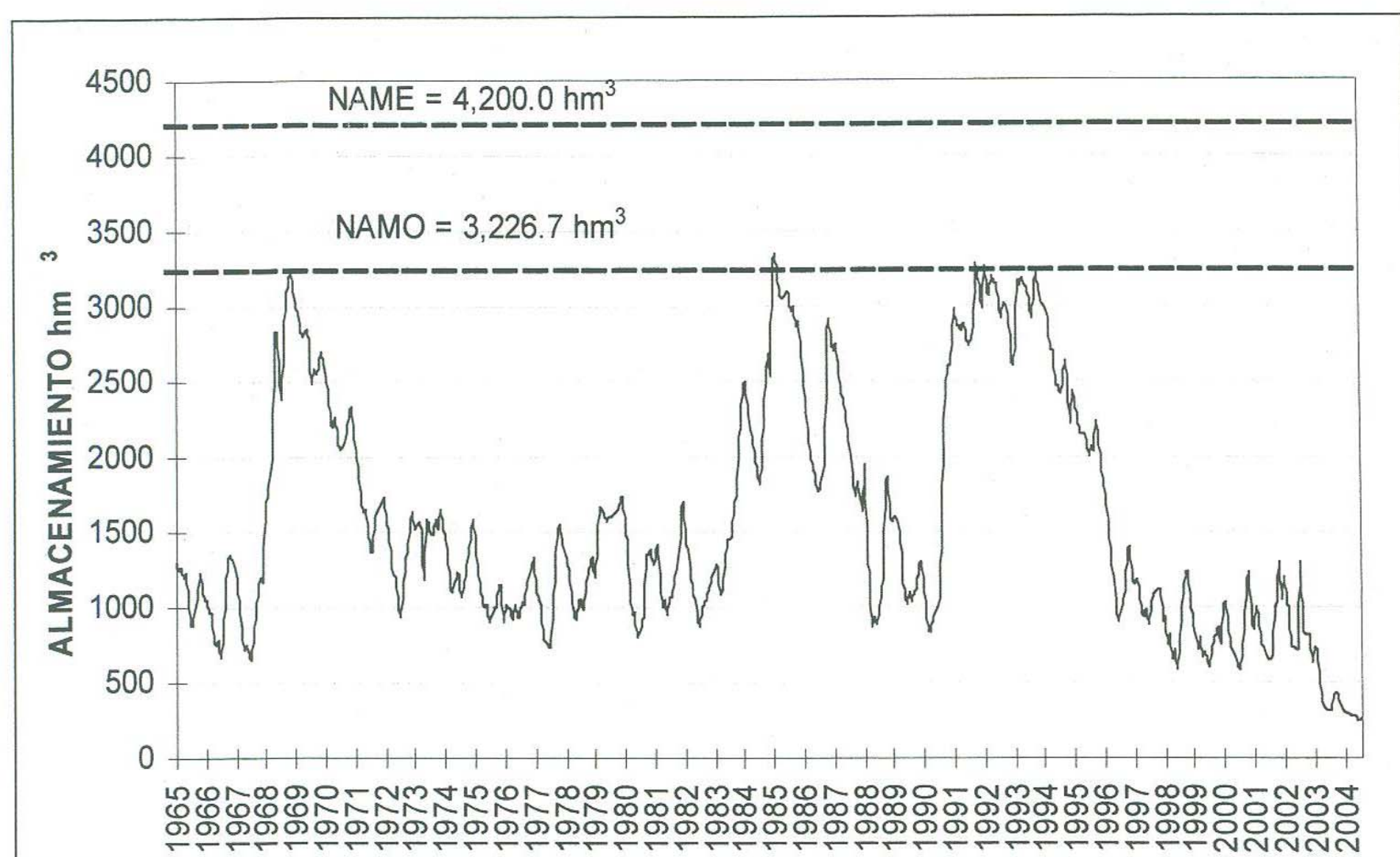
Figura 63.- Comportamiento de los almacenamientos en la presa Plutarco Elías Calles.

Álvaro Obregón (El Oviáchic)

La presa se encuentra ubicada aproximadamente 40 Km. al norte de Ciudad Obregón, en el municipio de Cájeme, Sonora. Fue construida durante el período de 1947 a 1952, con fines de irrigación en los distritos de riego del río Yaqui, generación de energía eléctrica y control de avenidas.

Tiene una capacidad al Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO) de 3,226.7 millones de m^3 , mientras que al Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME) su capacidad es de 4,200 millones de m^3 .

Durante los últimos años, los almacenamientos han evolucionado con una tendencia a la baja, registrando sus más bajos niveles históricos (Figura 64).



3.7.2. Hidrometría

A lo largo del Río Yaqui y sus principales afluentes existen varias estaciones hidrométricas, entre las principales se encuentran: Guadalupe, Novillo I, Novillo II y Técori (Tabla 7). La posición de las estaciones hidrométricas se muestran en la figura 65.

El régimen del Río Yaqui y sus principales afluentes ha sido estudiado en varias estaciones hidrométricas, de las que en el área destacan: la Guadalupe, en el norte, sobre el río Aros Papigóchic, reporta un volumen medio anual de 1183 millones de m³; la estación El Novillo I, suspendida, se acondicionó con el objeto de conocer su régimen hidráulico para el proyecto de la presa Plutarco Elías Calles, en el periodo de 1959 a 1962 el volumen medio anual fue de 2539 millones de m³; El Novillo II se instaló para medir las extracciones y excedencias de la presa, que son de 2580 millones de m³ anuales; la estación Técori tuvo por objeto conocer su régimen para el proyecto de la Presa Álvaro Obregón, midió un volumen medio anual de 2726 millones de m³ en el periodo de 1929 a 1951. El gasto máximo registrado en el área ocurrió en la estación La Guadalupe con valor de 4 756 m³/seg, en octubre de 1971.

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA								
Estaciones Hidrométricas en operación dentro de la cuenca Río Yaqui								
ESTACIÓN	OPERADA POR *	LATITUD	LONGITUD	CORRIENTE	GASTO MINIMO (m ³ /s)	GASTO MAXIMO (m ³ /s)	GASTO MEDIO (m ³ /s)	ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL (hm ³)
Guápoca	CFE	29° 09' 56"	108° 18' 10"	Río Yaqui	0.62	1,544.00	22.3	704.2
Paso Nácori	CFE	29° 25' 42"	109° 05' 28"	Río Papigóchic	0.64	4,225.00	61.5	1,939.70
El Cubil	CFE	29° 13' 11"	109° 14' 56"	Río Papigóchic	0.78	4,675.00	78.6	2,478.90
El Novillo II	CNA	28° 56' 48"	109° 37' 14"	Río Yaqui	0	4,566	91.1	2,873.50

Tabla 7.- Estaciones Hidrométricas Cuenca Río Yaqui.

* C.F.E: COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

* C.N.A: COMISION NACIONAL DEL AGUA

Guápoca

Se localiza sobre el río Papigochic, en el municipio de Ciudad Madera, Chihuahua, en las coordenadas geográficas 29° 09' 56" latitud norte y 108° 18' 10" longitud oeste, a una altitud de 1,240.6 m; el área drenada hasta el sitio es de 10,852 km².

La estación es operada por la Comisión Federal de Electricidad y tiene por objeto determinar el régimen hidráulico de la corriente para aprovechamientos futuros; inició sus operaciones en el mes de mayo de 1957 y se continúa hasta la fecha.

El escurrimiento medio en el período de 1958 a 2002 es de 704.2 millones de m³ anuales, con un gasto máximo observado de 1,544 m³/s en el mes de septiembre de 1974 y un gasto mínimo de 0.62 m³/s en mayo de 1961.

Paso Nácori

Se localiza sobre el río Papigochic, en el municipio de Nácori Chico, Sonora, en las coordenadas geográficas 29° 25' 42" latitud norte y 109° 05' 28" longitud oeste, a una altitud de 506.9 m; el área drenada hasta el sitio es de 23,721 km².

La estación es operada por la Comisión Federal de Electricidad y tiene por objeto determinar el régimen hidráulico de la corriente para aprovechamientos futuros; inició sus operaciones en el mes de agosto de 1957 y se continúa hasta la fecha.

El escurrimiento medio en el período de 1958 a 2002 es de 1,939.7 millones de m³ anuales, con un gasto máximo observado de 4,225 m³/s en el mes de octubre de 1978 y un gasto mínimo de 0.64 m³/s en junio de 1961.

El Cubil

Se localiza sobre el río Yaqui, en el municipio de Sahuaripa, Sonora, en las coordenadas geográficas 29° 13' 11" latitud norte y 109° 14' 56" longitud oeste, a una altitud de 333.9 m; el área drenada hasta el sitio es de 49,121 km².

La estación es operada por la Comisión Federal de Electricidad y tiene por objeto registrar las entradas al vaso de la presa Plutarco Elías Calles (El Novillo); inició sus operaciones en el mes de junio de 1965 y se continúa hasta la fecha.

El escurrimiento medio en el período de 1966 a 2002 es de 2,478.9 millones de m³ anuales, con un gasto máximo observado de 4,675 m³/s en el mes de octubre de 1978 y un gasto mínimo de 1.4 m³/s en marzo de 1981.

El Novillo II

Se localiza sobre el río Yaqui, en el municipio de Sahuaripa, Sonora, a unos 5 km aguas abajo de la cortina de la presa El Novillo, en las coordenadas geográficas 28° 56' 48" latitud norte y 109° 37' 14" longitud oeste, a una altitud de 240 m; el área drenada hasta el sitio es de 57,908 km².

La estación es operada por la Comisión Nacional del Agua y tiene por objeto registrar las extracciones de la presa Plutarco Elías Calles (El Novillo); inició sus operaciones en el mes de junio de 1958 y se continúa hasta la fecha.

El escurrimiento medio en el período de 1959 a 2002 es de 2,873.5 millones de m³ anuales, con un gasto máximo observado de 4,566 m³/s en el mes de enero de 1960 y un gasto mínimo de 0.0 m³/s en diferentes fechas.

3.8. Características fisiográficas de la cuenca del Río Yaqui

3.8.1 Elementos fisiográficos

La cuenca del Río Yaqui se encuentra ubicada en tres subprovincias fisiográficas: 1) Subprovincia de la Altiplanicie Lávica Riolítica, 2) Subprovincia de las Sierras Alargadas y 3) Subprovincia de Sierras de Piamonte; correspondiendo las dos primeras a la Provincia de la Sierra Madre Occidental y la última a la de Sierras Sepultadas de Raisz y Humphrey (1964) (modificada por Lugo-Hubp, 1989, 1990). Tomando en cuenta esta clasificación, las cuencas media y alta corresponden a la Subprovincia de la Altiplanicie Lávica Riolitica, de la Provincia de la Sierra Madre Occidental. En lo que se refiere a las cuencas bajas, éstas se localizan en la Provincia de Sierras de Piamonte. (Figura 66.)

En 1990, Lugo Hubp & Córdova Fernández, establecen una división fisiográfica para el estado de Sonora. Tomando en cuenta esta división, la cuenca del Río yaqui, queda localizada en cuatro subprovincias: 1) Cadenas montañosas paralelas separadas por cuencas intermontanas, 2) Planicies acumulativas y erosivas con elevaciones montañosas, 3) Valles intermontanos y superficies de piedemonte y 4) Mesa Volcánica Terciaria Disectada (Figura 67). Esta clasificación indica que las cuencas bajas del Yaqui, se ubican en la subprovincia de Planicies acumulativas y erosivas con elevaciones montañosas, y las medias y altas dentro de la subprovincia Cadenas Montañosas paralelas separadas por cuencas intermontanas, Provincia de Sierras Sepultadas y Provincia de la SMO respectivamente.

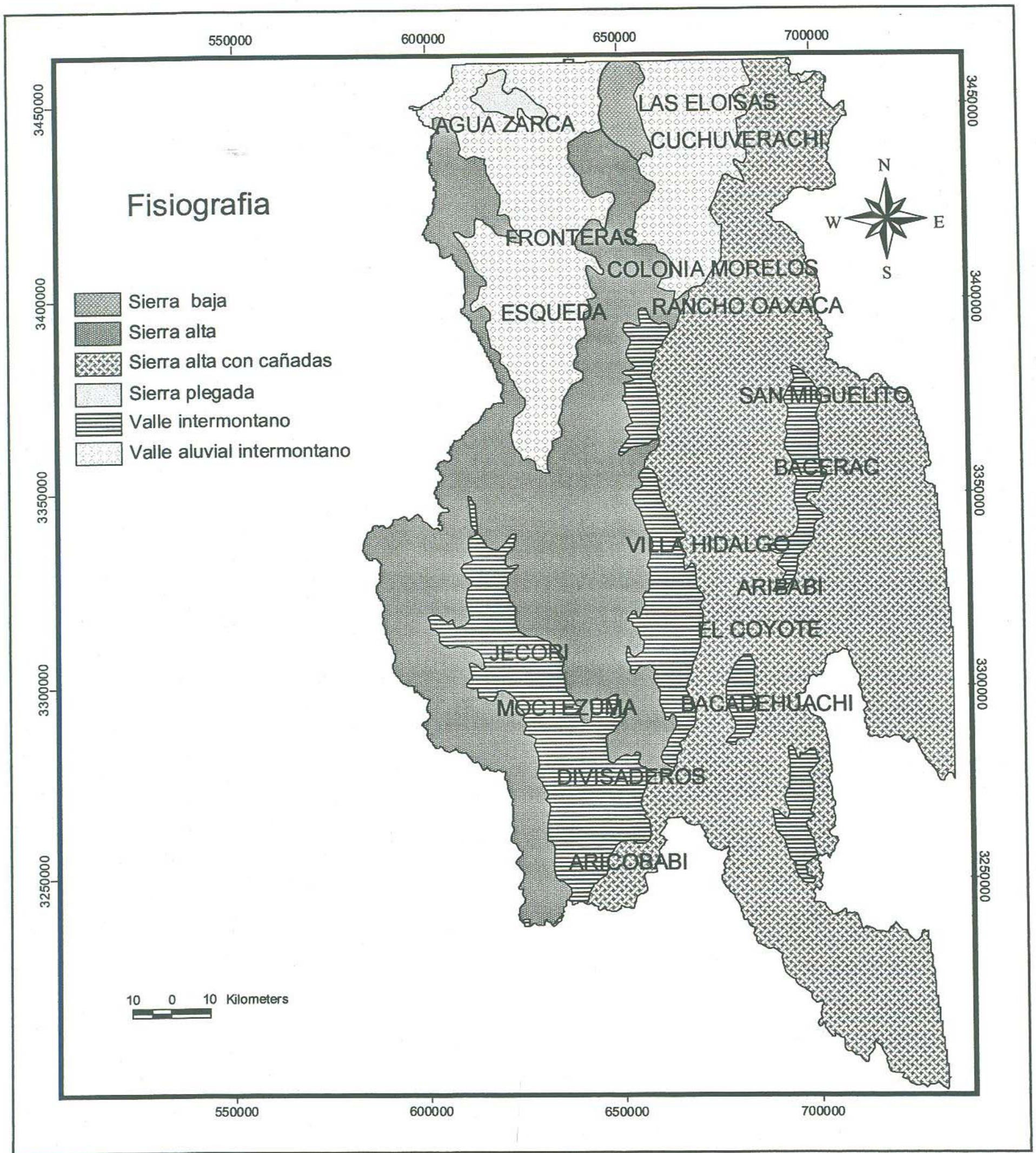


Figura 66.- Provincias fisiográficas del Norte de Sonora.

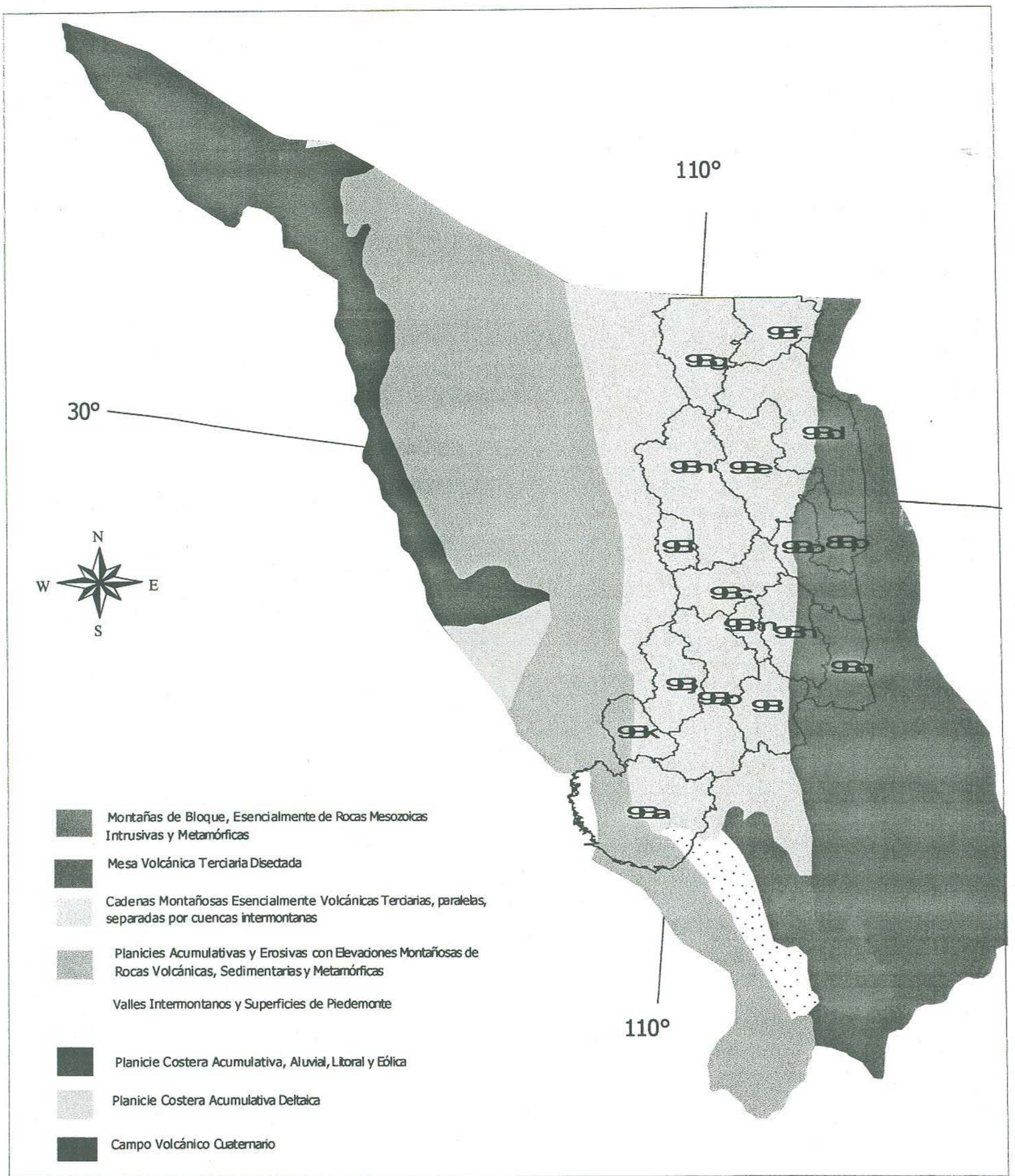
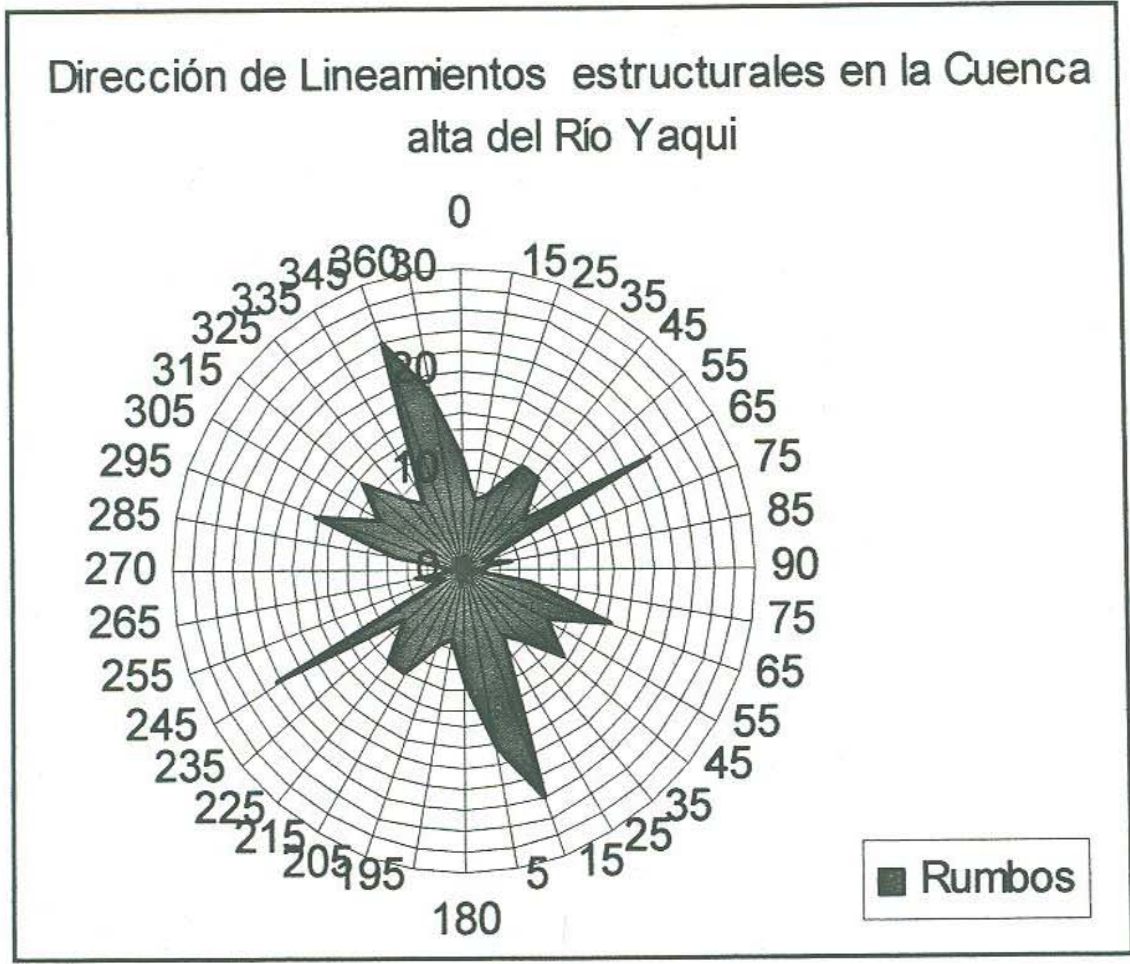


Figura 67.- Provincias fisiográficas del Norte de Sonora (Modificado de Lugo Hubp & Córdova Fernández, 1990).

3.8.2.-Hidromorfotectónica

Gran parte de la morfología que se presenta en la cuenca es producto de patrones geológico estructurales resultantes de la tectónica compresiva y distensiva que han sufrido las rocas a lo largo de su historia geológica, de aquí que la mayoría de los cambios bruscos en la dirección de los principales corrientes de la cuenca se deben a grandes estructuras geológicas (fallas y fracturas) que siguen los ríos como zonas de debilidad. Estructuralmente la cuenca Río Yaqui presenta un patrón de estructuras orientadas NW-SE, el cual corresponde al tipo "Basin and Range Sonorense" (De Cserna, 1988) o sistema de fosas y pilares (horst-graven).

El análisis hidromorfotectónico es la correlación de la dirección de alineamientos estructurales de las marcas de drenaje, con el esquema tectónico de la región, las cuales son útiles para identificar las zonas de recarga y descarga. Los alineamientos principales de estructuras de ríos y arroyos tienen una tendencia NW SE esto es, perpendiculares a la dirección preferencial de las estructuras citadas, lo que se interpreta como un posible sistema resultante. La Figura 68 muestra las direcciones predominantes de las estructuras de los ríos y arroyos. Esta tendencia de los dos patrones de estructuras formó un sistema ortogonal que induce y genera una dirección de flujo subterráneo cuya predominancia es al SE, en dirección a la presa.



(Figura 68) Esto indica que en el área de estudio además del escurrimiento superficial gran parte del flujo subterráneo tiene como destino la presa Lázaro Cárdenas.

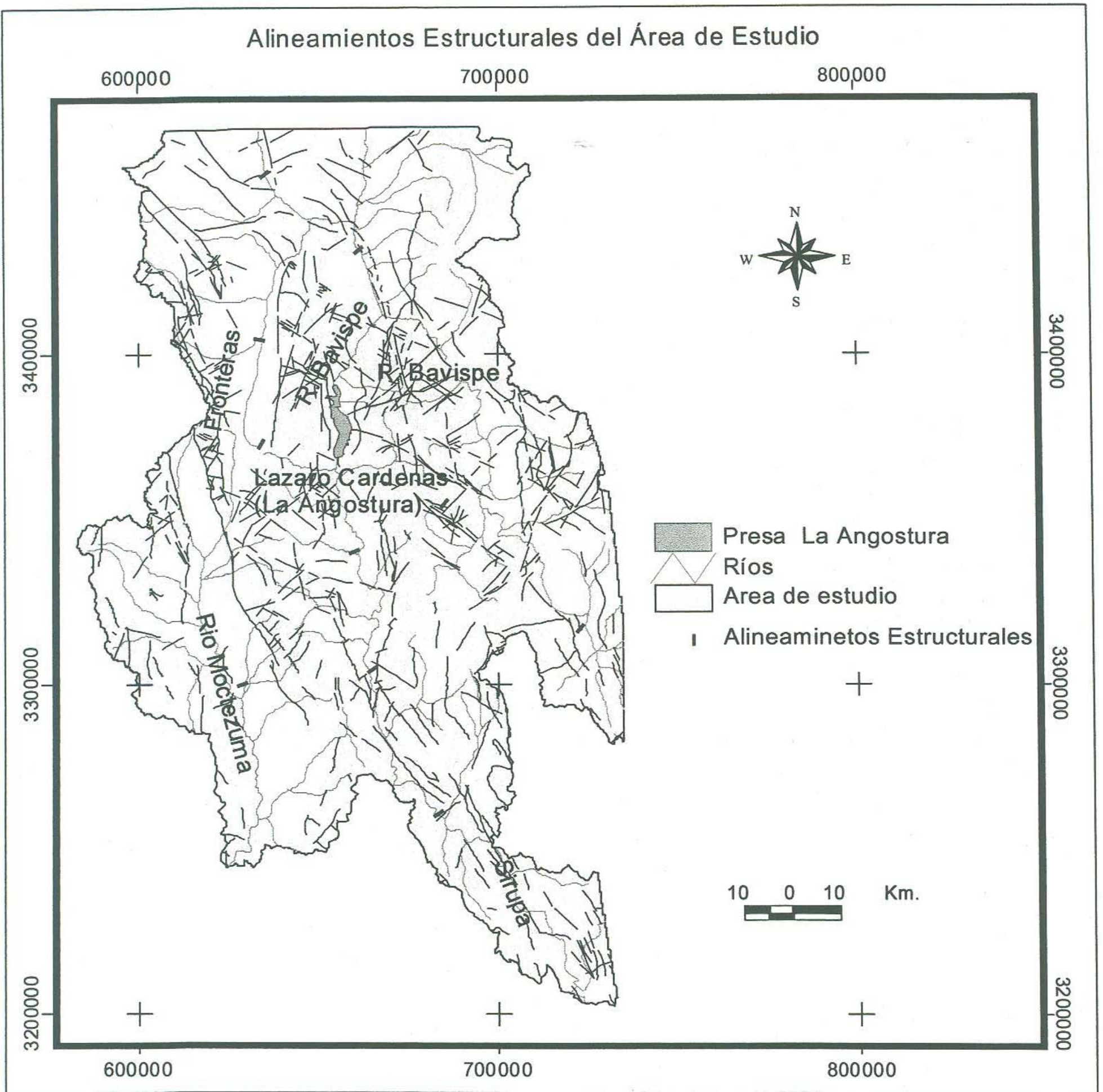


Figura 69.- Alineamientos Estructurales del Área de Estudio.

Lo anterior obedece al patrón de alineamientos, pero además al buzamiento general hacia el SE, por lo que este resulta ser una de las zonas con mejores posibilidades hidrogeológicas para alumbrar agua subterránea, ya que parte del flujo subterráneo que fluye a través de estructuras y de los planos de pseudo estratificación rumbo a la presa. (Figura 69)

4.- GEOLOGÍA

4.1. Geología Superficial

La información geológica referente a la cuenca alta del Río Yaqui ha quedado definida (Figura 70). Esta información servirá como base para la definición de las unidades hidrogeológicas contenidas en cada subcuenca (Consejo de Recursos Minerales 2004).

La historia geológica de sonora comienza en el Proterozoico, cuando estaba en proceso la formación del cratón de Norteamérica. Estudios isotópicos de Pb, Nd y Sr indican que la corteza de Arizona, Nuevo México y el Norte de Sonora tienen una edad de separación de manto de aproximadamente 1.8 Ga¹ y poco a nada de corteza arcaica se encuentra presente; de haber rocas más antiguas, así como en el sur de California, estas debieron haber sufrido un metamorfismo de la facies de granulita hace 1.71 Ga, es decir, esencialmente al mismo tiempo que el evento de formación cortical regional (Hoffman, 1988). En la parte sur del cratón se han reconocido tres etapas o ciclos principales de desarrollo cortical proterozoico: el Yavapai (1.79-1.60 Ga), el Mazatzal (1.71-1.62 Ga) y otro ciclo ocurrido entre 1.50 y 1.34 Ga.

En la cuenca Río Yaqui, las rocas presentes tienen un rango de edad del Proterozoico medio hasta el Holoceno y a continuación se describen sus características y zonas de afloramiento en secuencia, de la más antigua a la más reciente. De las rocas citadas, la unidad más antigua aflora en la porción norte del área de estudio, en la subcuenca Agua Prieta, y se constituye por una unidad de rocas esquistosas a la cual se le asignó una edad de Proterozoico medio debido a su similitud litológica y posición estratigráfica con las secuencias presentes en el área.

Durante el Paleozoico existió una estabilidad tectónica que permitió el depósito de facies de cuenca y plataforma. El Consejo de Recursos Minerales, en su informe del año 2000, hizo una diferenciación entre las rocas del Paleozoico tardío al Cretácico medio, y las dividió en dos terrenos: el Terreno Guerrero (alóctono) y el Terreno Norteamérica. La base del terreno Guerrero está constituido por esquistos, mármoles, cuarcitas y metaconglomerados, en conjunto estas rocas reciben el nombre de Esquisto Tesia, de posible edad paleozoica; esta secuencia aflora en la parte centro occidental del área. Los afloramientos más antiguos del Terreno Norteamérica están constituidos por calizas, areniscas y lutitas que afloran en la parte norte, centro-oeste de la cuenca, principalmente en las subcuencas de la porción central y norte de la cuenca. En ocasiones, estos sedimentos se encuentran metamorfizados. En la porción central del área existen otros afloramientos de rocas paleozoicas que incluyen rocas metamórficas (esquistos, cuarcitas y pizarras) en la base; y lutitas, calizas y areniscas con graptolitos y bandas de pedernal con radiolarios cubriéndolas; a esta secuencia se le ha asignado una edad del cambriano y aflora en la Sierra la La Campaneria.

En el Terreno Guerrero aflora la Formación Tepahui discordantemente sobre la secuencia paleozoica, está formada por rocas de ambiente fluvio-lacustre correlacionables con la Formación Barranca, tanto litológica como cronológicamente. A esta formación se le asignó una edad Triásico-Jurásico. La cima de este terreno está constituida por rocas Jurásico-Cretácico de la Formación Alisitos; aquí representada por afloramientos de rocas volcanoclásticas de composición intermedia con intercalaciones de calizas fosilíferas.

¹ 1Ga=1000 millones de años.

Hacia la parte centro-oeste del área afloran rocas de facies mixtas, constituidas por areniscas, lutitas y conglomerados con algunos horizontes de calizas arcillosas y arenosas del Triásico superior, pertenecientes al Grupo Barranca; su edad se determinó mediante flora y fauna fósil de edad Cárnica. Estas rocas presentan un metamorfismo incipiente y en algunas localidades existen mantos de carbón intercalados entre lutitas, que dio origen a un grafito amorfo.

Complementando al Terreno Guerrero en su parte superior se encuentran rocas volcánicas de composición intermedia con intercalaciones de calizas fosilíferas de la Formación Alisitos, de edad Jurásico-Cretácico. Hacia la cima del Terreno Norteamérica existe una secuencia de areniscas y lutitas con una intensa deformación, esta secuencia recibe el nombre de Formación Las Cúmaras, aflora en la Sierra Los Lobos y es de edad Jurásico-Cretácico; esta sobreyacida en forma discordante por una secuencia detrítico-carbonatada denominada Formación Agua Salada; la cual por sus características litológicas y paleontológicas se le asocia a la cuenca Chihuahua.

En contacto tectónico con la unidad anterior, aflora una secuencia volcanosedimentaria de edad Jurásico superior constituida por areniscas con horizontes de lutitas y conglomerados intercalados con rocas volcánicas intermedias como tobas y aglomerados andesíticos. Los afloramientos de las rocas del Cretácico superior se encuentran muy ampliamente distribuidas en toda el área, pero principalmente en la porción central cubriendo en forma discordante a las rocas del Triásico superior. Este conjunto de rocas está constituido por derrames volcánicos andesíticos y tobas andesíticas intercaladas con horizontes de lutitas, calizas, algunos paquetes de areniscas y traquitas. Esta litología constituye parte de la Formación Tarahumara, que en algunos lugares se encuentra formando sierras alargadas con orientación NW – SE. Existe otra secuencia de rocas de edad Cretácico tardío-Paleoceno, esta aflora en la porción centro-este del área y se le conoce con el nombre de Conglomerado Gasogachic, está formado por un conglomerado polimíctico y areniscas, contiene clastos de la Formación Agua Salada.

Entre el Cretácico superior y el Eoceno las rocas preexistentes fueron afectadas por cuerpos intrusivos de dimensiones batolíticas y composición granítica – granodiorítica, así como también por intrusivos de composiciones granodiorítica – diorítica. Estos intrusivos forman parte de lo que se conoce como El Batolito Larámide de Sonora y se encuentra ampliamente distribuido en toda el área.

El Cenozoico se caracteriza por las secuencias de rocas volcánicas y sedimentos continentales cubriendo grandes áreas. De edad Paleoceno-Eoceno se encuentra sobreyaciendo discordantemente a el conglomerado Gosagochic, una secuencia de rocas volcánicas de composición intermedia, constituida principalmente por andesitas y tobas andesíticas. Los afloramientos de esta unidad se restringen a la porción sur del área de estudio, aunque con dimensiones regionales. A esta secuencia se le conoce como parte del Complejo Volcánico Inferior de la Sierra Madre Occidental.

También sobre rocas Mesozoicas y de forma discordante aflora un paquete de andesitas y tobas andesíticas de edad Eoceno – Oligoceno, ocurre en afloramientos aislados en la porción centro y centro-norte en menor área. Esta secuencia se encuentra a su vez subyaciendo discordantemente a rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno temprano representados por ignimbritas, tobas riolíticas, riolitas, andesitas y basaltos; además de conglomerados y areniscas de la misma edad. A esta secuencia de rocas volcánicas se les conoce también como Serie Volcánica Superior de la Sierra Madre Occidental. Son afloramientos de dimensiones reducidas, aisladas y en su mayoría restringidos a la porción este del área; son como se encuentran los

pórfidos monzoníticos, riolíticos y andesíticos del Oligoceno que son característicos de la Sierra Madre Occidental.

Durante el Mioceno hubo un evento distensivo conocido como Basin and Range (De Cserna, 1988), que dio origen a grandes fosas tectónicas y bloques levantados, posteriormente las fosas fueron rellenadas por sedimentos producto de la intensa actividad erosiva que actuó sobre los bloques levantados. Estos sedimentos son conglomerados polimícticos y areniscas, con intercalaciones de basaltos, andesitas basálticas y tobas originadas por un volcanismo fisural, producto del mismo evento distensivo, a este relleno se le asignó el nombre de Formación Baúcarit. Esta Formación se encuentra ampliamente distribuida en toda el área de estudio, tiene una orientación general NW-SE y en varias partes del área esta limitado en sus flancos este y oeste por fallas normales del Basin and Range a las cuales se debe la orientación.

Hacia finales del Mioceno se produjeron grandes cantidades de material volcánico, el cual descansa concordantemente sobre la Formación Baúcarit y esta constituido de tobas riolíticas, riolitas, andesitas, latitas, andesitas basálticas, basaltos y areniscas tobáceas el paquete en conjunto se le conoce como Formación Lista Blanca. Su edad fue determinada por su posición estratigráfica y por dataciones radiométricas en latitas, las cuales dieron como resultado edades muy cercanas a los 10 m.a.; se le encuentra bien distribuida en la porción occidental del área.

Del Plioceno al Holoceno se desarrolla una amplia actividad erosiva produciendo paquetes detríticos de conglomerados polimícticos mal consolidados. Finalmente en el Holoceno se depositan materiales de tipo aluvial como gravas arenas y limos.

4.2. Geología del Subsuelo

Para determinar la geología de subsuelo no se cuenta con información suficiente; la información con la que se cuenta son interpretaciones que corresponden a los perfiles geológicos de las cartas geológicas Agua Prieta, Nacozari y Madera, a escala 1: 250,000, realizadaza por el Consejo de Recursos Minerales (1997 a 2002).

En esta área el basamento lo conforma un intrusito granítico- granodiorítico del Cretácico superior, que en algunas partes, como en la Sierra San Fernando, se encuentra intrusionado por un porfido andesítico del Oligoceno. En la mayor parte del área el intrusito se encuentra subyacido por areniscas andesitas muy deformadas del Cretácico superior: En algunas localidades el intrusivo se encuentra en contacto directo con otras unidades como son: esquistos del Precámbrico superior, lutitas, areniscas calizas y dolomías del Paleozoico, areniscas y conglomerados polimícticos correspondientes al Grupo Barranca (Triásico superior), rocas volcánico y metasedimentarias del Jurásico, tobas riolíticas y riolitas del Oligoceno. El resto de la columna varia dependiendo del lugar en que se situé dentro del área, por lo que es difícil hacer una descripción correcta, ya que son muy pocos los datos con los que cuenta.

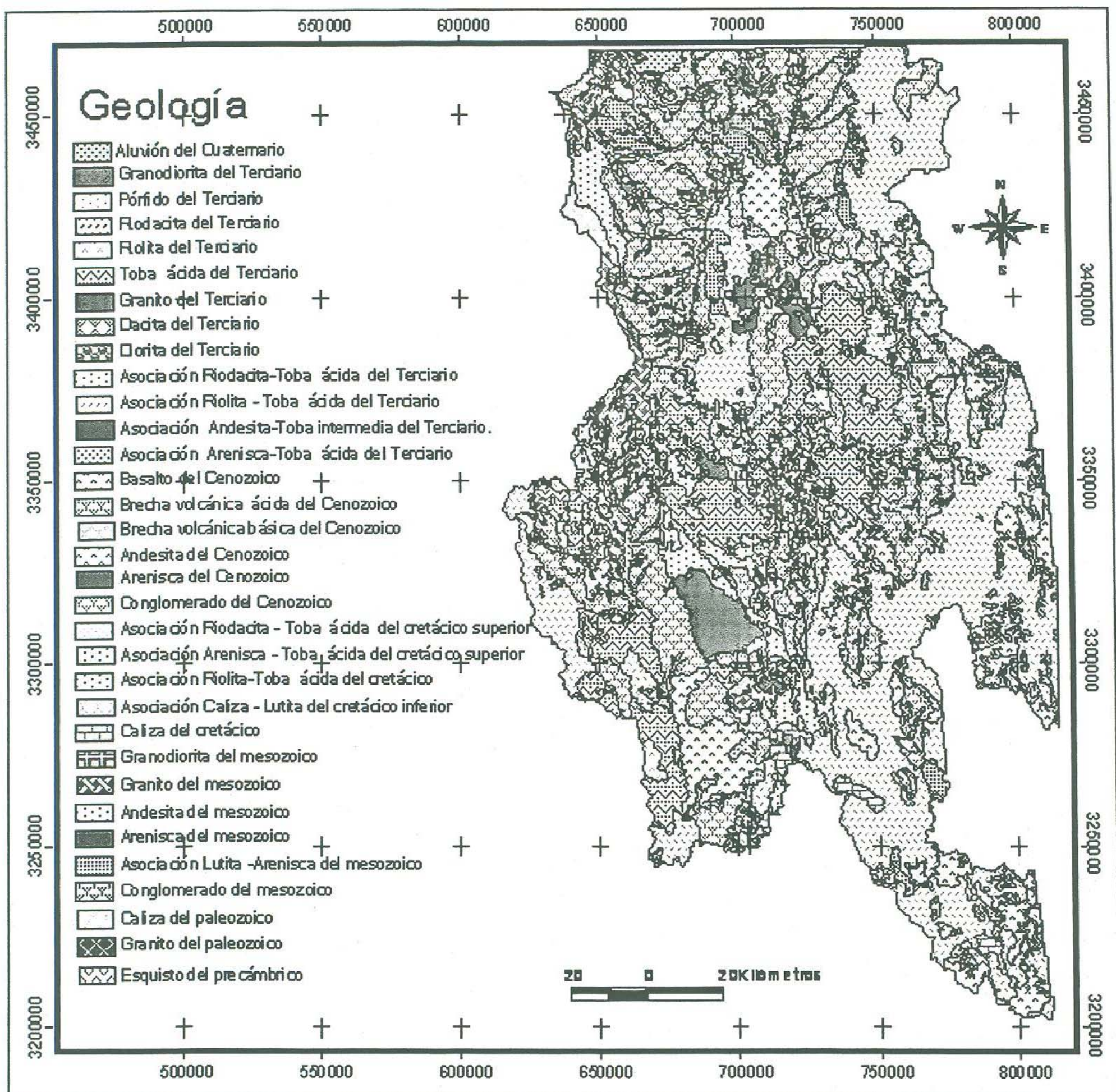


Figura 70.- Geología cuenca alta Río Yaqui.

4.3. Geología Estructural

Con ayuda de la información geológica obtenida, y el análisis de imágenes de satélite, se definieron las estructuras y patrones estructurales de la cuenca Río Yaqui, las cuales serán analizadas para identificar su relación con las unidades hidrogeológicas y definir así, las posibles zonas con potencial para la explotación de agua subterránea, de aquí que tomando en cuenta el objetivo principal de este estudio, dada la relación que existe entre estructuras geológicas como

fallas y fracturas con las zonas de recarga y las unidades hidrogeológicas susceptibles de constituirse como acuíferos, las estructuras se presentan para cada subcuenca.

Las unidades más antiguas del área presentan un metamorfismo regional, el cual causó una foliación con ejes axiales subparalelos a la estratificación original de estas rocas. Las características petrográficas y estructurales de estas rocas metamórficas indican que el metamorfismo que las afectó fue producto, posiblemente, de un engrosamiento cortical como respuesta a un apilamiento tectónico asociado a una colisión de placas litosféricas.

Mullan (1978) hizo un estudio basado en correlaciones y relacionó este metamorfismo a la orogenia nevádica o nevadiana (Cenomaniano-Turoniano). El rasgo estructural general E-W encontrado en el área, ha sido también observado más al sur (Fredrikson y Henry, 1972; Mullan, 1978; Henry, 1986), es por ello que se le da una importancia regional. Henry (1986), las ha atribuido a una convergencia oblicua entre las placas Norteamericana y Farallón hace poco menos de 100 Ma. Aun así, este marco tectónico no alcanza a explicar los pliegues de ejes sub-verticales. En este sentido, es interesante notar que ciertos autores han postulado que en alguna parte del área deben de existir una o varias estructuras fundamentales que yuxtapongan ya sea dos o más 'terrenos tectónicos' al cratón norteamericano (Ortega-Gutiérrez et al ,1994). El tipo de acreción de estos 'terrenos' es aún tema de debate, pero las reconstrucciones más aceptadas sugieren que esta porción de México debió haber actuado como una gran zona de cizallamiento de tipo transcurrente durante la apertura del golfo de California (Dietz y Hoden 1979; Pilger, 1978). Se sugiere que el sur-oeste del área fue originalmente el marco de una margen continental activa, destruida eventualmente por la colisión de diferentes terrenos tectónicos que yacieron más al sur-oeste, y luego sufrieron las consecuencias de la apertura del golfo de California.

Las rocas estratificadas del Cretácico tardío-Terciario temprano, generalmente presentan una tendencia NW-SE y buzamiento suave ya sea al SW o al NE. Esta actitud parece ser por la fuerte influencia de las estructuras terciarias más jóvenes que se describen más abajo. Sin embargo, a escala de afloramiento estas rocas presentan un plegamiento suave, lo que sugiere que ellas están afectadas por una tectónica compresiva tangencial de baja intensidad y/o duración. Por las edades de estas rocas, esta deformación correspondería a la orogenia Laramídica en el área, época que en la región se caracterizó más por un magmatismo que por una deformación.

Las estructuras terciarias son las más importantes dentro del área (Atwater, 1970; Carlson, 1982; Gans, 1997), simplemente con observar un mapa de estructuras y la distribución de sus rocas se puede notar que el rasgo más notorio es un patrón orientado NW-SE. Sin embargo, en un análisis más minucioso se puede ver que el comportamiento estructural es más complejo que esto.

El comportamiento estructural en las cuencas del sur varía conforme la posición geográfica, así en el extremo centro-este dominan los elementos orientados NE-SW, con presencias subordinadas de estructuras NW-SE y NNW-SSE, mientras que en el sureste la relación se invierte, dominando sobre todo los lineamientos orientados al NW (COREMI, 2001).

Otros patrones existentes son los E-W y las N-S; sin embargo, al contabilizar el total de lineamientos determinados, estas estructuras se vuelven estadísticamente insignificantes; mientras que la población de las estructuras NW son más importantes que las NE.

Cartográficamente, se ha encontrado que las estructuras NW corresponden a fallas normales que han controlado cuencas sedimentarias miocénicas (Grupo Rosario), por lo que su edad mínima es miocena.

Por otra parte, las estructuras NE han representado una parte problemática, ya que ha sido más complicado tratar de establecer su edad y el evento por el cual fueron provocadas. Gans (1997) en su trabajo en la parte central del área, encontró que estas estructuras corresponden a zonas de acomodamiento de fallas normales de orientación meridional; en dicho lugar, las rocas más jóvenes afectadas por estas estructuras son ignimbritas oligocénicas. Además, en el extremo centro-este existen fallas normales orientadas NE-SW que controlan una pequeña cuenca sedimentaria oligocénica. Estas observaciones indican que estas estructuras son oligocénicas, y que su papel depende de cada localidad; la dimensión de la cuenca sedimentaria referida posiblemente representa un ambiente extensional puro, no bien establecido durante ese tiempo. Más al norte, estructuras de la misma orientación se les ha asociado a depósitos de pórfidos cupríferos de edad laramídica (Rehrigh y Heidrick, 1972; Turner et al 1982; Heidrick y Titley, 1982). Esta misma situación parece aplicarse al depósito de Piedras Verdes (Espinosa-Perea, 1999). Sin embargo, Stewart y Roldán-Quintana (1994), muestran que estructuras similares limitan bloques estructurales asociados al Basin and Range.

Las evidencias estructurales nos indican que las estructuras NE-SW se formaron en dos etapas, pero principalmente durante el Oligoceno; por su parte, las estructuras NW-SE, en general, parece corresponder al fracturamiento ocurrido en el Neógeno, período en el cual se formaron las provincias geológicas Desierto Sonorense y Sierras y Valles Paralelos. (Basin and Range Sonorense; De Serna, 1988)

En estudios realizados con anterioridad se menciona que mediante análisis de mapas hipsométricos e imágenes de satélite, se pudieron identificar rasgos sub-circulares en el área. Otras estructuras sub-circulares, aunque de dimensiones menores, se encuentran en la porción central del área. Las características geológicas que presentan estas estructuras parecen apoyar la teoría de que estas estructuras son calderas, unas de colapso y otras resurgentes. Estudios adicionales indicarán la situación de cada una.

Estudios estructurales al norte de la Sierra Madre Occidental (Montaño-Jiménez 1988), indican que un momento de cambio de orientación de los ejes de esfuerzos corticales ocurrió a finales del Oligoceno; mientras que durante el Terciario tardío el campo de esfuerzo estaba orientado esencialmente ENE – WSW. Las observaciones geológicas del área apoyan dicha interpretación. Las estructuras más recientes en el área se pueden identificar a partir de la fisiografía, de estudios sedimentológicos (Beltrán-Ramírez, 1994) y de la sismicidad regional (Doser y Rodríguez, 1992). (Figura 71)

Estructuras y Lineamientos en la cuenca alta del Río Yaqui

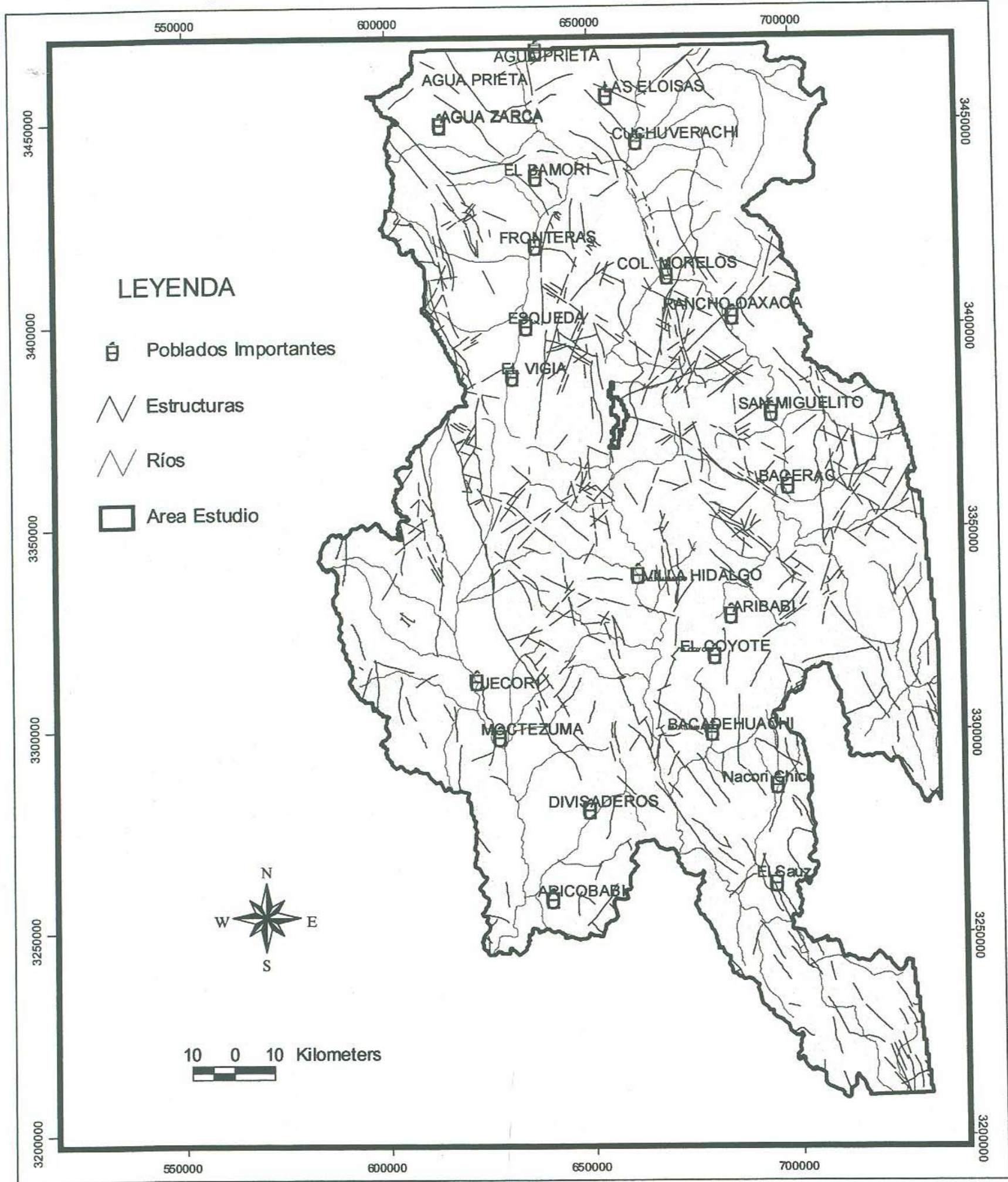


Figura 71.- Estructuras y Lineamientos en la cuenca alta Río Yaqui.

5.- HIDROGEOLOGÍA

5.1. División Administrativa de Acuíferos

El área de estudio se localiza dentro de la Región Hidrológica No. 9 Sonora Sur; el río Yaqui es la corriente más importante de esta Región, drena un área de 69,590 km² hasta la presa Álvaro Obregón y aproximadamente 72,575 km² hasta su desembocadura en el Golfo de California. Su escurrimiento medio anual es de 3,300 millones de m³ hasta la presa Álvaro Obregón.

El estado de Sonora se encuentra dividido en 9 cuencas, Río Colorado, Sonoyta, Concepción, San Pedro-Santa Cruz, Río Sonora, Mátape, Río Yaqui, Río Mayo y Fuerte-Mayo; con un total de 64 acuíferos, los cuales fueron clasificados por la Gerencia Regional Noroeste. La cuenca Río Yaqui esta compuesta por 25 acuíferos y queda delimitada al Norte con Estados Unidos; al Sur con Río Mayo; al Este con la cuenca San Pedro - Santa Cruz, Río Sonora, Río Mátape y al Oeste con el Estado de Chihuahua. (Tabla 8)

DIVISION ADMINISTRATIVA DE ACUIFEROS - GERENCIA REGIONA NOROESTE					
CLAVE	NOMBRE	ESTADO	CLAVE	NOMBRE	ESTADO
2642	VALLE DEL MAYO	SONORA	2655	NACORI CHICO	SONORA
2635	VALLE DE GUAYMAS	SONORA	2658	SAN BERNARDO	SONORA
2626	RIO ZANJON	SONORA	2649	YECORA	SONORA
2624	RIO SONORA	SONORA	2634	RIO MATAPE	SONORA
2625	RIO SAN MIGUEL	SONORA	2621	M. DEL SERI-LA VICTORIA	SONORA
2633	RIO MOCTEZUMA	SONORA	2614	COCOSPERA	SONORA
2632	RIO FRONTERAS	SONORA	2602	LOS VIDRIOS	SONORA
2613	RIO ALISOS	SONORA	2604	ARROYO SAHUARO	SONORA
2612	MAGDALENA	SONORA	2605	CABORCA	SONORA
2606	LOS CHIRRIONES	SONORA	2617	PUERTO LIBERTAD	SONORA
2610	COYOTILLO	SONORA	2618	ARIVAIPA	SONORA
2609	BUSANI	SONORA	2636	SAN JOSE DE GUAYMAS	SONORA
2611	LA TINAJA	SONORA	2641	COCORAQUE	SONORA
2622	LA POZA	SONORA	2644	FUERTE-MAYO	SONORA
2623	SANTA ROSALIA	SONORA	2607	ARROYO SECO	SONORA
2627	RIO BACOACHI	SONORA	2608	RIO ALTAR	SONORA
2628	RIO BACANUCHI	SONORA	2650	NOGALES	SONORA
2637	RIO BACANORA	SONORA	2615	RIO SANTA CRUZ	SONORA
2638	RIO SAHUARIPA	SONORA	2616	RIO SAN PEDRO	SONORA
2639	RIO TECORIPA	SONORA	2629	RIO AGUA PRIETA	SONORA
2646	ROSARIO-TESOPACO	SONORA	2630	A. SAN BERNARDINO	SONORA
2647	ONAVAS	SONORA	2603	SONOYTA-P. PEÑASCO	SONORA
2648	SOYOPA	SONORA	2620	SAHUARAL	SONORA
2651	BATEVITO	SONORA	2643	CUCHUJAQUI	SONORA
2652	VILLA HIDALGO	SONORA	2601	VALLE DE S.L.R.COLORADO	SONORA
2653	HUASABAS	SONORA	2619	COSTA DE HERMOSILLO	SONORA
2654	BACADEHUACHI	SONORA	2640	VALLE DEL YAQUI	SONORA
2656	CUMURIPA	SONORA	2645	RIO CHICO	SONORA
2657	AGUA CALIENTE	SONORA	860	GUERRERO-YEPOMERA	CHIHUAHUA
2660	CUITACA	SONORA	859	MADERA	CHIHUAHUA
2661	CUMPAS	SONORA	858	LA NORTEÑA	CHIHUAHUA
2631	RIO BAVISPE	SONORA			

Tabla 8.- División Administrativa de los Acuíferos-Gerencia Regional Noroeste

La cuenca alta del Río Yaqui esta compuesta por 11 acuíferos, los cuales son: Acuífero Río Agua Prieta, San Bernardino, Río Fronteras, Batepito, Villa Hidalgo, Río Bavispe, Huásabas, Cumpas, Bacadéhuachi, Río Moctezuma y Nacori Chico. (Figura 72)

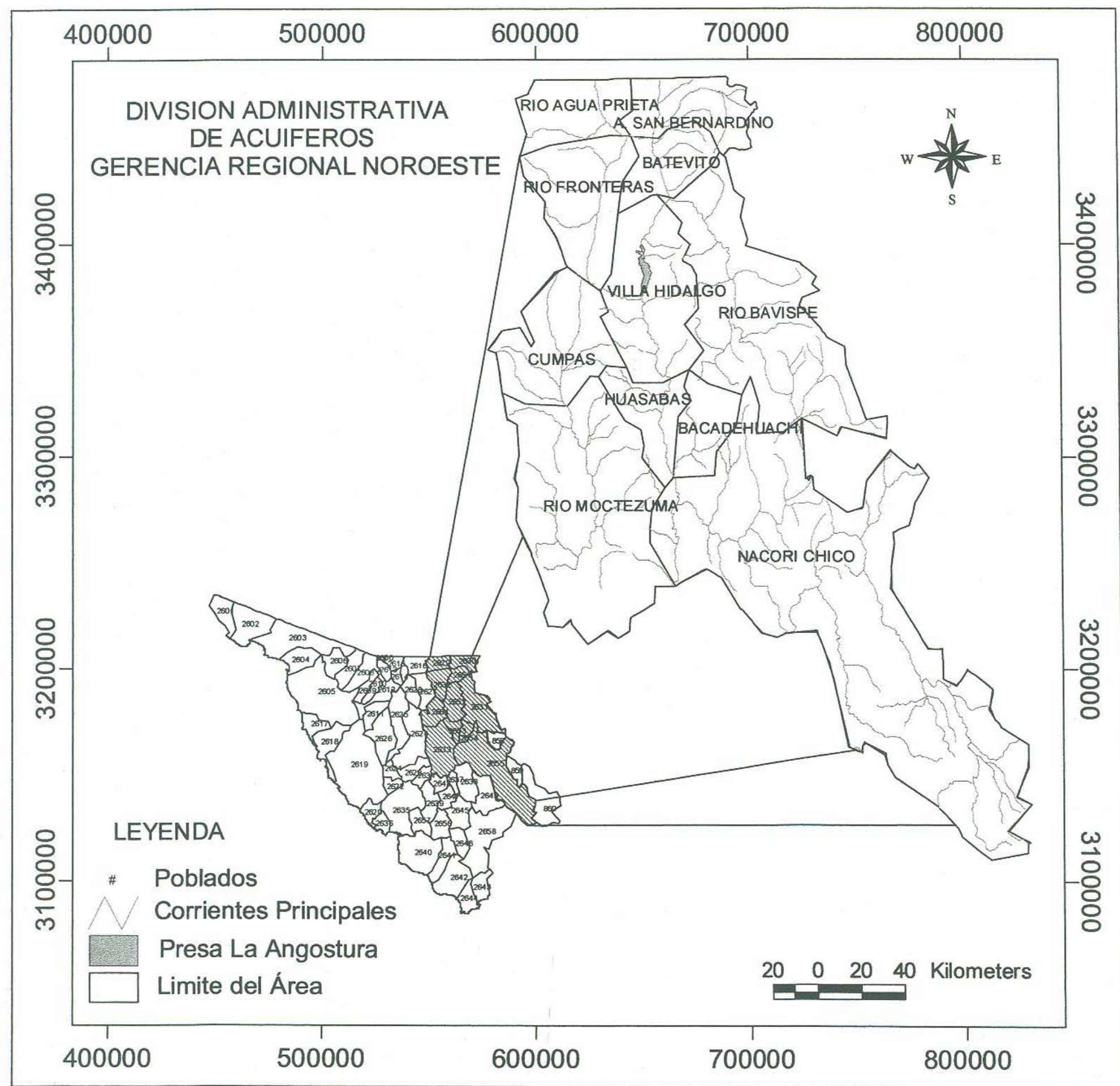


Figura 72.-División Administrativa de los Acuíferos-Gerencia Regional Noroeste.

5.2. Unidades Hidrogeológicas por Subcuenca.

Estas unidades se han definido considerando las posibilidades de las rocas de contener agua, tomando en cuenta las características físicas, litológicas y estructurales además de la influencia en el comportamiento geohidrológico dentro de cada unidad. Según los materiales que constituyen las unidades, se determinaron dos grupos: consolidados y no consolidados.

Subcuenca Río Agua Prieta

Material consolidado con posibilidades bajas.

Esta unidad comprende gran parte del área, la porción lateral derecha e izquierda, esta constituida por rocas ígneas, sedimentarias, vulcanoclásticas y metamórficas, que conforman la zona montañosa. Presentan características no favorables para conformar acuíferos, debido a que la gran mayoría de los cuerpos rocosos son impermeables o de baja a baja-media impermeabilidad. En las sierras altas donde predominan las rocas ígneas, se condiciona una zona desfavorable para que se lleve a cabo la infiltración, retención de agua y conformación de acuíferos, debido a la impermeabilidad y al fracturamiento poco relevante.

En las rocas sedimentarias y vulcanosedimentarias estas características se hacen extensivas, con una mayor variación; los materiales arcillosos que contienen, determinan la impermeabilidad en las unidades compuestas por lutitas –areniscas, en alternancia con capas de limonitas y afloramientos de areniscas y calizas.

Los afloramientos de rocas metamórficas están representados principalmente por secuencias esquistosas, que dadas sus características de origen, como metamorfismo regional que implica condiciones extremas, generalmente son impermeables.

En base a las características observadas en el área que comprende a esta unidad, el agua subterránea es prácticamente inexistente (no explotable económicamente).

Material no consolidado con posibilidades altas.

Esta unidad se localiza en la porción norte, en los alrededores de Agua Prieta y en el valle de esta subcuenca cual comprende parte en la porción norte central de la subcuenca de norte a sur. Esta unidad se constituye aluviones, depósitos eólicos y de piedemonte.

Material no consolidado con posibilidades medias.

Esta unidad se localiza en la porción sur del área, los materiales que la constituyen son conglomerados del Terciario y Cuaternario, cuyos fragmentos varían en tamaños desde cantos rodados hasta limos y arcillas que rellenan las depresiones de estos lugares.

Material no consolidado con posibilidades bajas.

Esta unidad se localiza en pequeñas áreas en el centro y sur del área. Esta constituida por un conglomerado polimíctico, con fragmentos redondeados, incluidos en una matriz arcillo-arenosa ligeramente cementada; los cantos son derivados de rocas volcánicas ácidas y básicas y algunas sedimentarias. El espesor, sin fracturamiento, poco cementante y porosidad primaria, son factores que determinan una mala permeabilidad y la ausencia de obras de captación que confirman la inexistencia de acumulación de agua subterránea económicamente explotable.

(Figura 72)

Subcuenca Río Batepito

Material consolidado con posibilidades bajas.

Esta unidad comprende más de la mitad del área, abarcando la porción lateral derecha y la parte inferior izquierda. Esta compuesta por rocas ígneas, sedimentarias y vulcanosedimentarias. En los afloramientos de rocas ígneas se presentan riolitas, andesitas, basaltos y granitos, estas presentan características no favorables para conformar acuíferos, debido a que la gran mayoría de los cuerpos rocosos son impermeables o de baja a media permeabilidad. En las Rocas sedimentarias se encuentran las lutitas, compuesta por materiales arcillosos, los cuales presentan características altamente impermeables.

Los afloramientos de calizas localizados en áreas muy pequeñas, pudieran formar un buen acuífero dado sus características físicas como paisaje carstico, gran cantidad de dolinas, fracturamiento moderado e intemperismo profundo; de acuerdo a estas características, geohidrologicamente son capaces de almacenar agua.

Los afloramientos volcanoclasticos se localizan en varias partes del área. Estas rocas tienen escasa posibilidad de almacenar agua, debido a sus características físicas como alto contenido de sedimentos arcillosos extremadamente impermeables, capas de reducido espesor intercaladas por lo regular con capas confinantes, fracturas rellenas por calcita y material arcilloso.

Material no consolidado con posibilidades altas.

Esta unidad se localiza en mayor porción al noroeste del área y de estudio. Esta unidad esta compuesta por conglomerados semiconsolidados del Terciario y Pliocuaternario; aluviones y depósitos eolicos, acumulados en el valle.

Material no consolidado con posibilidades medias.

Esta unidad se localiza en la parte sur central del área, los materiales que la constituyen son conglomerados del Terciario y Cuaternario, cuyos fragmentos varían en tamaño desde cantos rodados hasta limos y arcillas que rellenan las depresiones de estos lugares.

Material no consolidado con posibilidades bajas.

Esta unidad se localiza en la parte sur del área de estudio. Esta unidad esta constituida por un conglomerado polimíctico, con fragmentos redondeados, incluidos en una matriz arcillo-arenosa ligeramente cementada, los clástos son derivados de rocas volcánicas ácidas y básicas y rocas sedimentarias. El poco espesor, escaso fracturamiento, poco cementante y porosidad primaria son factores que determinan una mala permeabilidad y la ausencia de obras de captación que confirman la inexistencia de acumulación de agua subterráneas económicamente explotable. (Figura 73)

Subcuenca Río Bavispe Bajo

Material consolidado con posibilidades bajas.

Esta unidad se localiza en la mayor parte del área, se encuentra constituida por rocas volcánicas extrusivas que van desde riolitas a basaltos, tobas riolíticas que se encuentran en la parte noroeste del área. También aflora en un área muy pequeña granito-granodiorita. Las rocas sedimentarias como conglomerados-areniscas con alto contenido de material arcilloso, determinan impermeabilidad. Estas unidades se clasifican en consolidadas con posibilidades bajas debido a que presentan características no favorables para conformar acuíferos, como es la impermeabilidad.

Material no consolidado con posibilidades altas.

Esta unidad se encuentra en la parte central y noroeste del área, se encuentra constituido por aluvión, acumulado en el valle.

Material no consolidado con posibilidades medias.

Esta unidad se localiza en su mayor porción en la parte central y noroeste del área, los materiales que la constituyen son conglomerados y areniscas del Terciario.

Material no consolidado con posibilidades bajas.

Esta unidad se encuentra localizada en la parte central del área de norte a sur, esta constituida por areniscas y un conglomerado polimíctico del terciario, con fragmentos redondeados, incluidos en una matriz arcillo-arenosa. (Figura 74)

Subcuenca Río Bavispe- Presa La Angostura.

Material consolidado con posibilidades bajas.

Esta unidad comprende la mayor parte del área de estudio, se constituye por rocas ígneas como riolitas, andesitas, basaltos, granitos, granodiorita y tobas riolíticas; En las rocas sedimentarias y vulcanosedimentarias, los materiales arcillosos que contienen determinan la impermeabilidad en las unidades compuestas por conglomerados-areniscas

Material no consolidado con posibilidades altas.

Esta unidad se localiza en la parte central y sureste del área, se constituye por material aluvial acumulado en el valle.

Material no consolidado con posibilidades medias.

Esta unidad se encuentra localizada al norte y centro del área, en porciones pequeñas, constituida por conglomerados del Terciario, cuyos fragmentos varían en tamaño desde cantos rodados hasta limos y arcillas que rellenan las depresiones de estos lugares.

Material no consolidado con posibilidades bajas.

Esta unidad se encuentra localizada en varias partes del área, la mayor porción se encuentra en la parte central y sureste. Se constituye por un conglomerado polimíctico y areniscas del Terciario. (Figura 75)

Subcuenca Río Moctezuma

Material consolidado con posibilidades bajas.

Esta unidad se localiza en la mayor parte del área, esta constituida por rocas ígneas como riolitas, andesitas, basaltos, granito-granodiorita; rocas sedimentarias como calizas, conglomerados y lutitas contienen materiales arcillosos que determinan la impermeabilidad en esta unidad, los afloramientos de areniscas- conglomerados se presentan en diferentes partes del área de estudio.

Material no consolidado con posibilidades altas.

Esta unidad se encuentra localizada en la parte central superior y sureste del área de estudio, esta unidad esta constituida por material aluvial acumulado en el valle.

Material no consolidado con posibilidad media.

Esta unidad se encuentra localizada en la parte central de norte a sur y noroeste del área, los materiales que la constituyen son conglomerados del cuaternario. cuyos fragmentos varían en tamaño desde cantos rodados hasta limos y arcillas que rellenan las depresiones de estos lugares.

Material no consolidado con posibilidad baja.

Esta unidad se encuentra dispersa en el noroeste y norte del área. Esta constituida por conglomerados polimícticos, con fragmentos redondeados, incluidos en una matriz arcillo-arenosa ligeramente cementada; los clastos son derivados de rocas volcánicas ácidas y básicas y algunas sedimentarias. (Figura 76)

Subcuenca Río Papigóchic

Material consolidado posibilidades bajas.

Esta unidad se encuentra en la mayor parte del área. Esta unidad esta constituida por rocas ígneas, sedimentarias y vulcanosedimentarias.

Las rocas ígneas como andesitas, riolitas, basaltos y granodiorita-diorita, se presentan en las partes altas de la sierra, se condiciona una zona desfavorable para que se lleve a cabo la infiltración, retención de agua y conformación de acuíferos, debido a la impermeabilidad y al fracturamiento poco relevante.

Las rocas sedimentarias y vulcanoclásticas se presentan asociaciones de caliza-lutita y asociaciones de lutita-arenisca, los materiales arcillosos que contienen, determinan la impermeabilidad en esta unidad.

Material no consolidado con posibilidades altas.

Esta unidad se presenta en la porción norte del área. Se encuentra constituida por aluvión del cuaternario, acumulado en el valle.

Material no consolidado con posibilidades medias.

Esta unidad se localiza en la parte norte del área. Los materiales que la constituyen son conglomerados y areniscas del Terciario. (Figura 77)

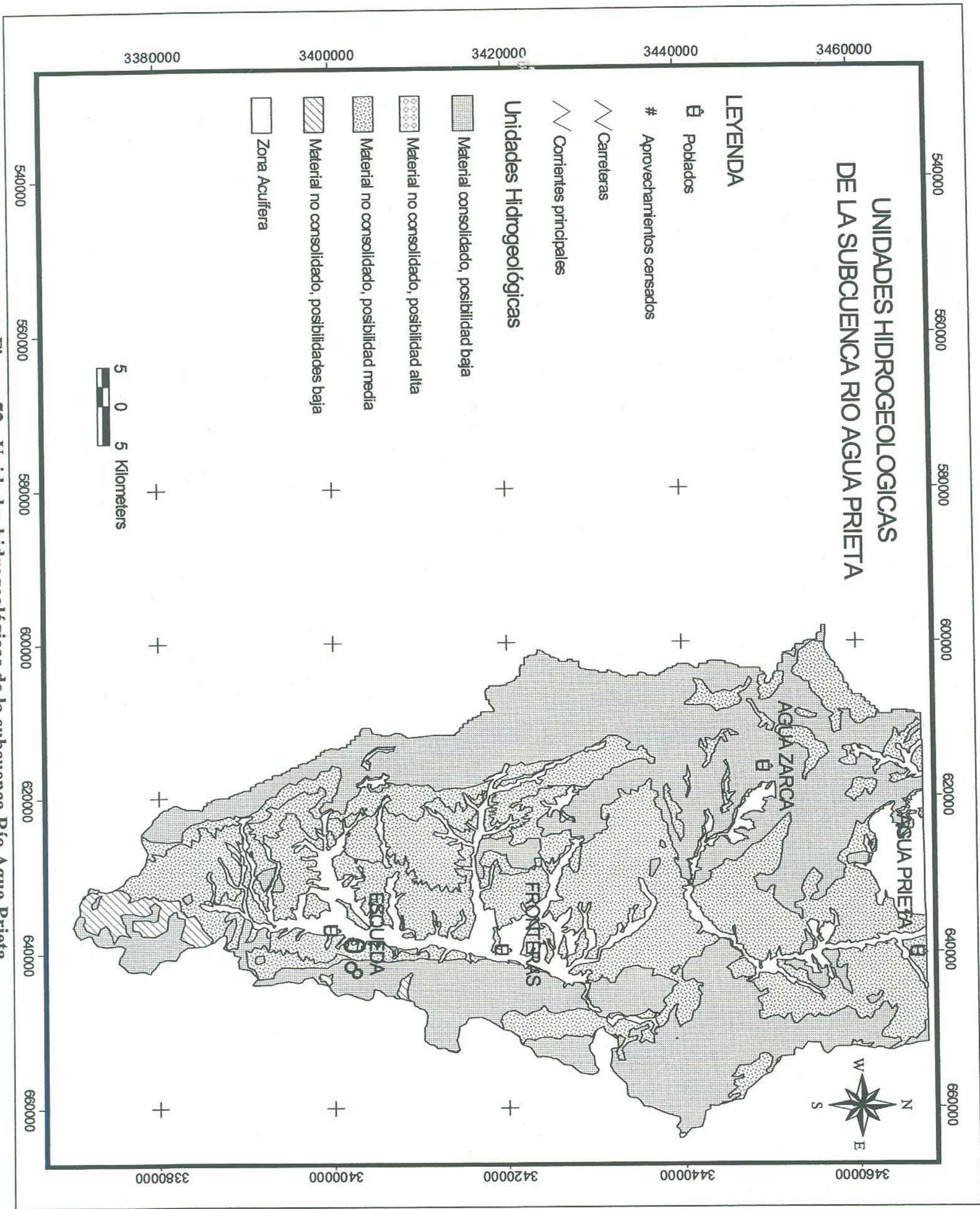


Figura 72.- Unidades hidrogeológicas de la subcuenca Río Agua Prieta.

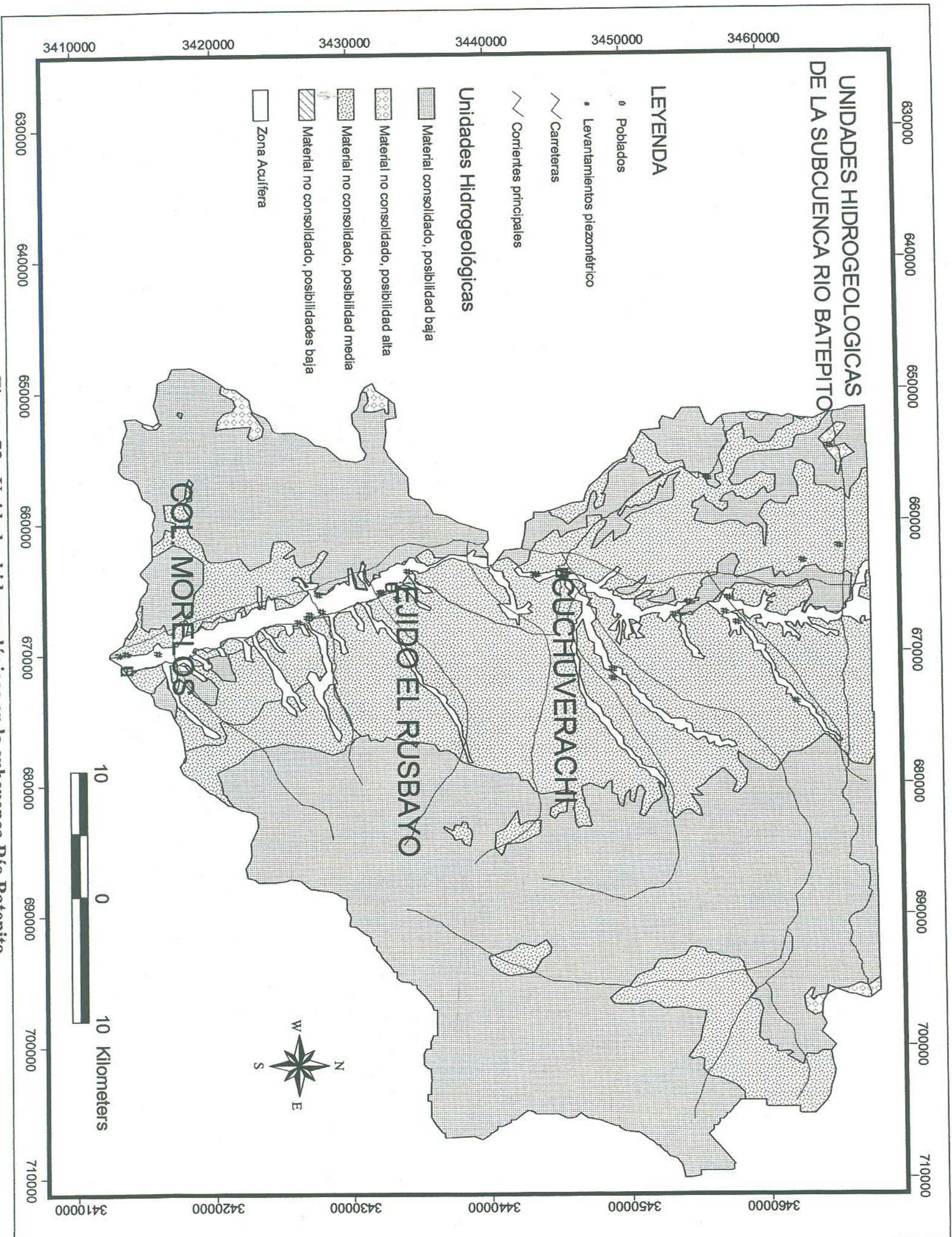
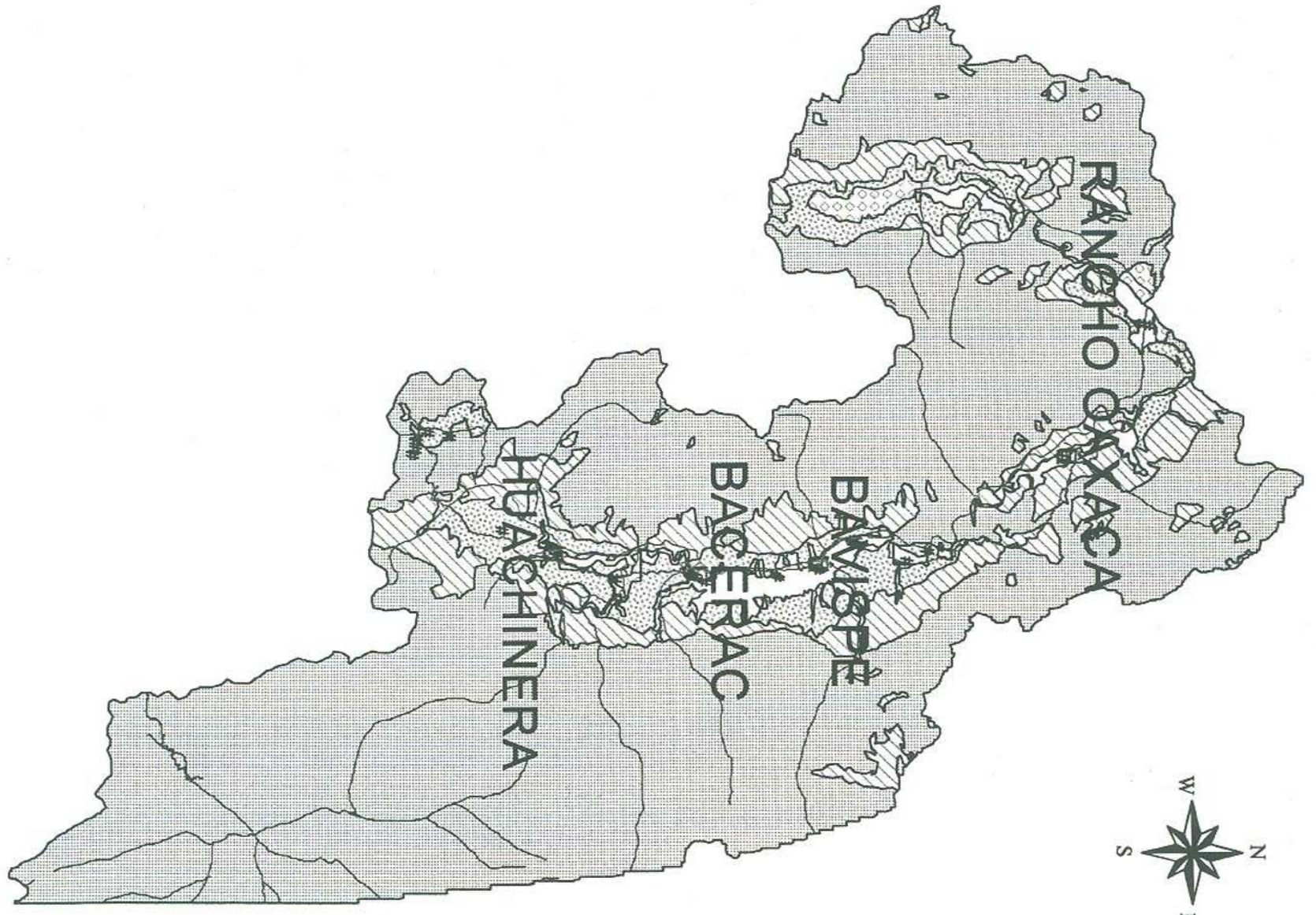


Figura 73.- Unidades hidrogeológicas en la subcuenca Río Batepito.

UNIDADES HIDROGEOLOGICAS DE LA SUBCUENCA RIO BAVISPE BAJO

LEYENDA

- ⌘ Poblados
- # Aprovechamientos censados
- ↘ Carreteras
- ↘ Corrientes principales
- Unidades Hidrogeológicas
- ▨ Material consolidado, posibilidad baja
- ▤ Material no consolidado, posibilidad alta
- ▥ Material no consolidado, posibilidad media
- ▧ Material no consolidado, posibilidades baja
- Zona Acuífera



330000 332000 334000 336000 338000 340000 342000

660000

680000

700000

3420000 3400000 3380000 3360000 3340000 3320000 3300000

660000

680000

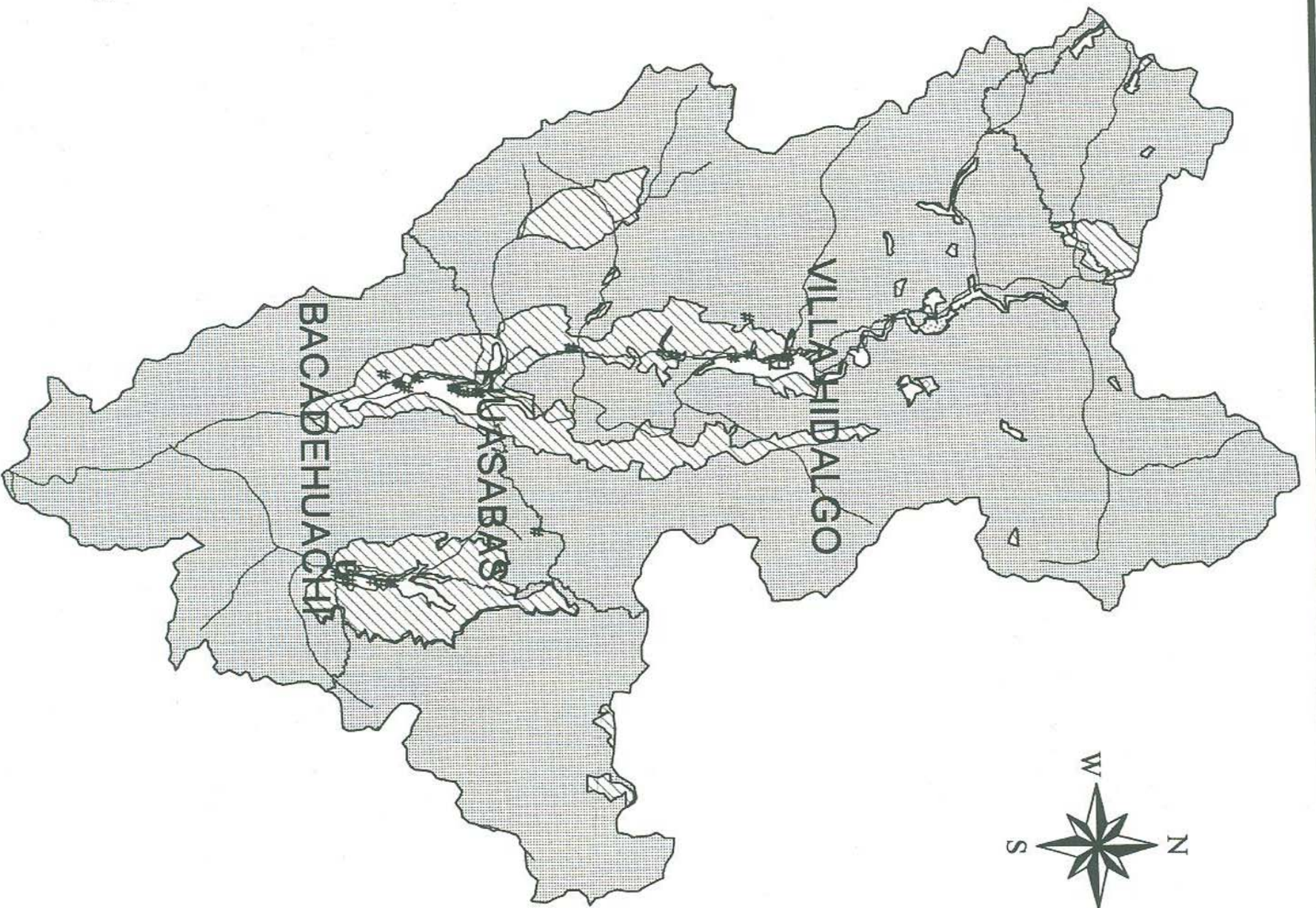
700000

UNIDADES HIDROGEOLOGICAS
DE LA SUBCUENCA
RIO BAVISPE - P. LA ANGOSTURA

LEYENDA

- ⊙ Poblados
- # Aprovechamientos censados
- ↘ Carreteras
- ↘ Corrientes principales
- Unidades Hidrogeológicas
 - ▒ Material consolidado, posibilidad baja
 - ▒ Material no consolidado, posibilidad alta
 - ▒ Material no consolidado, posibilidad media
 - ▒ Material no consolidado, posibilidades baja
 - Zona Acuífera

5 0 5 10 Kilometers



3380000 3360000 3340000 3320000 3300000 3280000

700000

680000

660000

640000

620000

700000

680000

660000

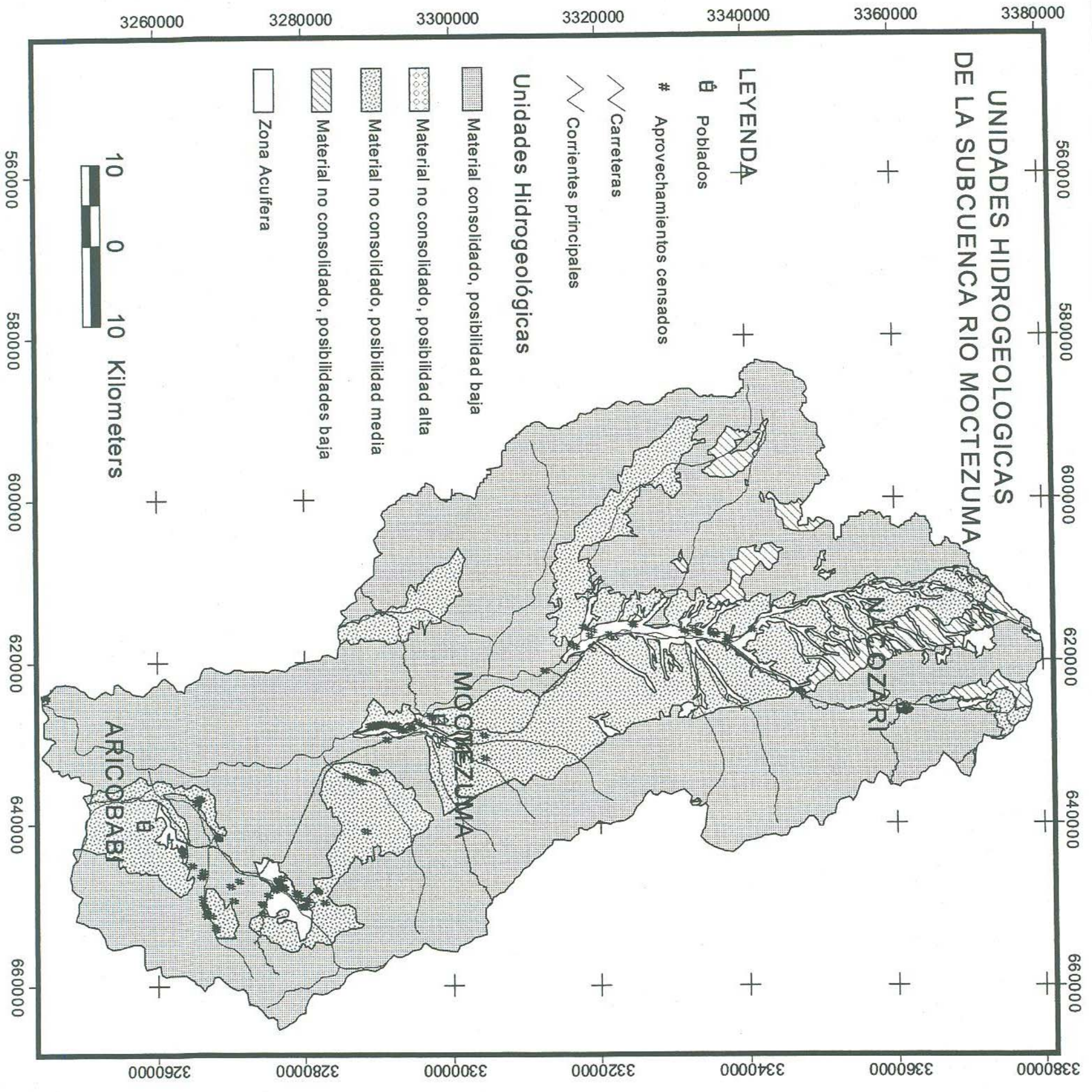
640000

620000

UNIDADES HIDROGEOLOGICAS DE LA SUBCUENCA RIO MOCTEZUMA

LEYENDA

- ⊕ Poblados
- # Aprovechamientos censados
- ↘ Carreteras
- ~ Corrientes principales
- Unidades Hidrogeológicas**
- ▨ Material consolidado, posibilidad baja
- ▤ Material no consolidado, posibilidad alta
- ▥ Material no consolidado, posibilidad media
- ▧ Material no consolidado, posibilidad baja
- ▩ Zona Acuífera



UNIDADES HIDROGEOLOGICAS DE LA SUBCUENCA RIO PAPIGOCHIC

LEYENDA

- ⊙ Poblados
- # Aprovechamientos censados
- ↘ Carreteras
- ↘ Corrientes principales
- Unidades Hidrogeológicas
- ▨ Material consolidado, posibilidad baja
- ▩ Material no consolidado, posibilidad alta
- ▩ Material no consolidado, posibilidad media
- ▨ Material no consolidado, posibilidades baja
- Zona Acuífera

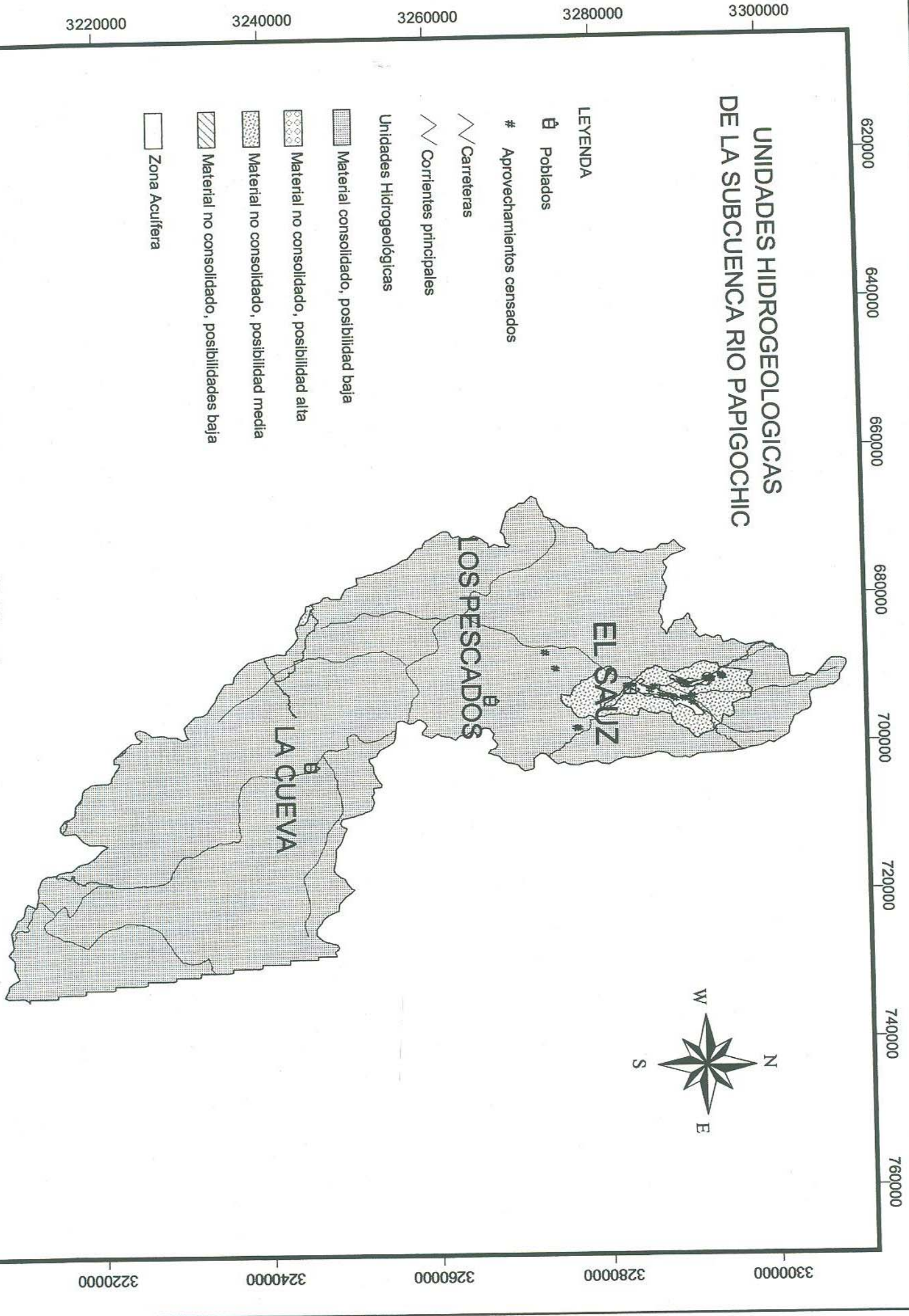


Figura 77 - Unidades hidrogeológicas en la subcuenca Río Papigóchic.

5.3. Censo de Aprovechamientos

El censo de aprovechamientos se llevo a cabo durante el periodo del 21 de Marzo al 1 de Abril del 2004. Este consistió en verificar, de cada aprovechamiento visitado, sus características principales como lo son el tipo de obra, volumen de agua extraída anualmente, reposición de obras, nombre del propietario, uso al que se destina el agua extraída, profundidad del nivel del agua del pozo, altura del brocal, equipo de extracción, diámetros de descarga de agua, incremento o disminución en la profundidad del pozo y georeferenciación mediante un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Como medida de control a cada aprovechamiento censado se le asigno una clave en campo con pintura.

La etapa del censo de aprovechamientos subterráneos se ha realizado en las subcuencas del río Agua Prieta, Río Batepito, Río Bavispe Bajo, Río Bavispe-P. La Angostura, Río Moctezuma, Río Papigóchic. En esta etapa se censaron un total de 323 aprovechamientos, de los cuales 186 corresponden a norias, 133 a pozos y 4 manantiales. (Tabla 9) En la figura 78 se muestran los Aprovechamientos Censados en la cuenca alta del Río Yaqui en Sonora.

APROVECHAMIENTOS CENSADOS EN LA CUENCA ALTA RIO YAQUI				
SUBCUENCAS	POZOS	NORIAS	NAC.	TOTAL
RIO AGUA PRIETA	31	11		42
RIO BATEPITO	18	10		28
RIO BABISPE BAJO	18	12		30
RIO BABISPE- P. LA ANGOSTURA	20	9		29
RIO MOCTEZUMA	38	126	4	168
RIO PAPIGOCHIC	8	18		26
TOTAL	133	186	4	323

Tabla 9.- Aprovechamientos censados en la cuenca alta del Río Yaqui.

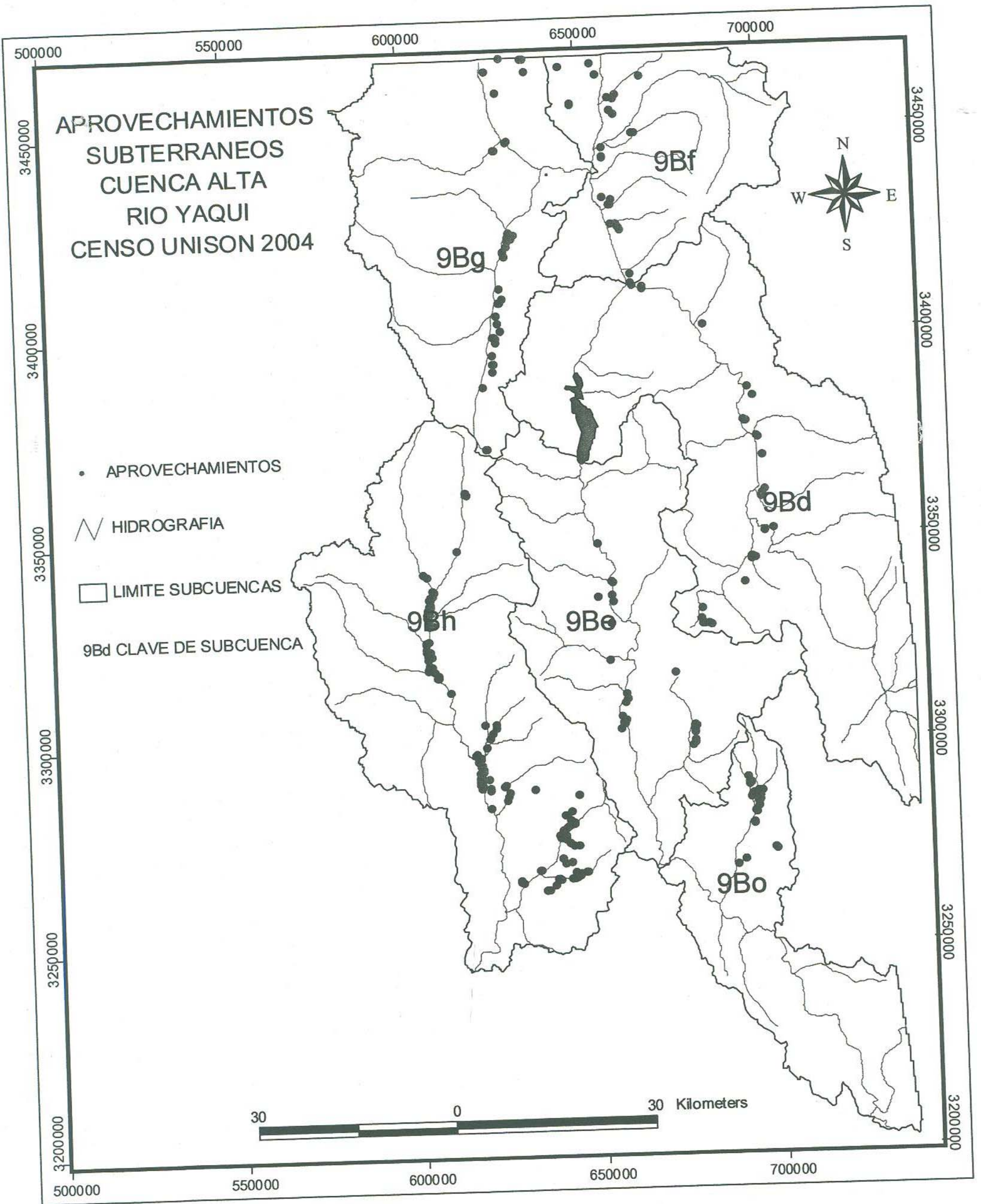


Figura 78.- Aprovechamientos Subterráneos Cuenca Alta Río Yaqui, Censo Unison 2004.

5.3.1. Características de los Aprovechamientos hidráulicos

En base a los resultados obtenidos del censo de aprovechamientos subterráneos en la cuenca alta del río yaqui, se hace una descripción detallada para cada una de las subcuencas. Esto incluye el uso principal del agua, diámetros de descarga, profundidades y gasto de los aprovechamientos.

Subcuenca Río Agua Prieta.

En la subcuenca Agua Prieta se registraron un total de 42 aprovechamientos subterráneos, de los cuales 31 corresponden a pozos y 11 restantes a norias. El uso del agua en la subcuenca Agua Prieta es principalmente agrícola con un 60%, y en menor proporción doméstico con un 21%. (Figura 79)

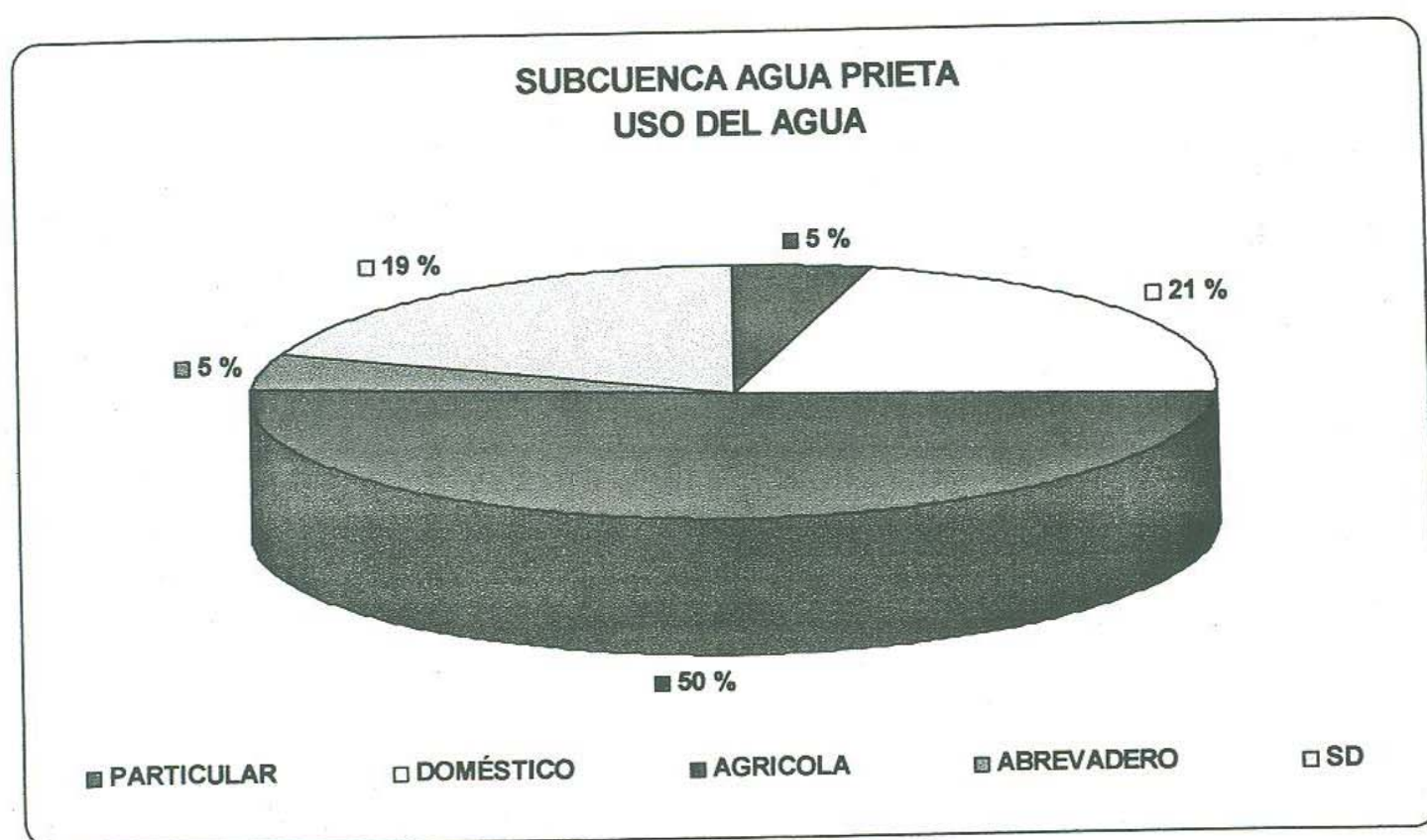


Figura 79.- Uso principal del agua en la subcuenca Río Agua Prieta.

Para la subcuenca Agua Prieta, el 17 % de los aprovechamientos cuenta con una extracción de agua en el rango de 90 a 100 lps. El 24% de ellos representan extracciones de 10 a 89 lps, siendo este el gasto predominante en la zona. Las extracciones de menores de 10 lps representan el 19%. El 40% de los aprovechamientos no tiene registro. (Figura 80)

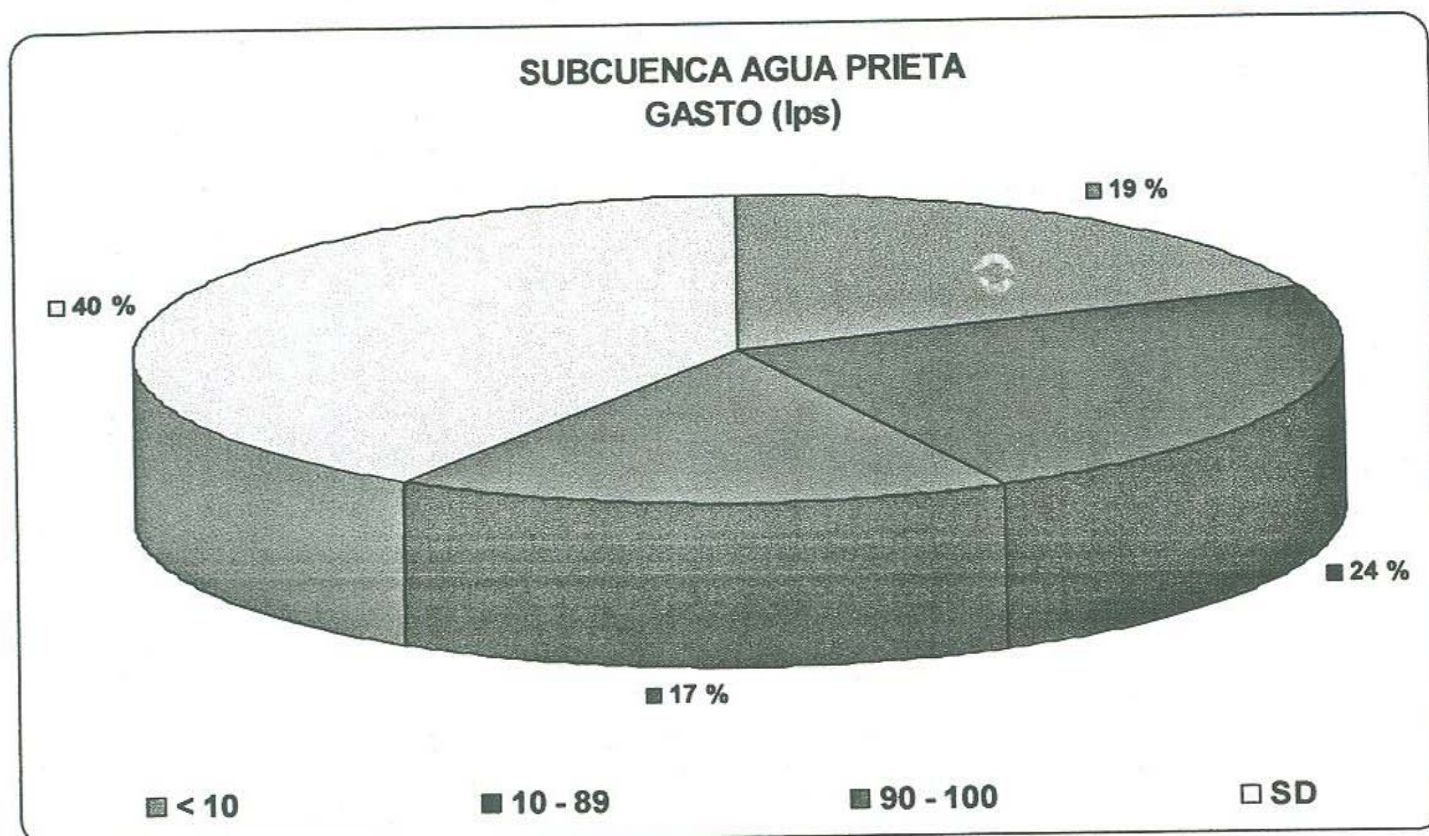


Figura 80.- Gasto en lps. de los aprovechamientos en la subcuenca Río Agua Prieta.

El diámetro de descarga de los aprovechamientos censados en la subcuenca Agua Prieta, en su mayoría esta representado por tuberías de 6 a 12 plg, en un 55%, siendo este el diámetro predominante en la subcuenca. Con un 36%, aparecen los diámetros de descarga menores / iguales a 4 plg. El 10% no de los aprovechamientos no presenta dato. (figura 81)

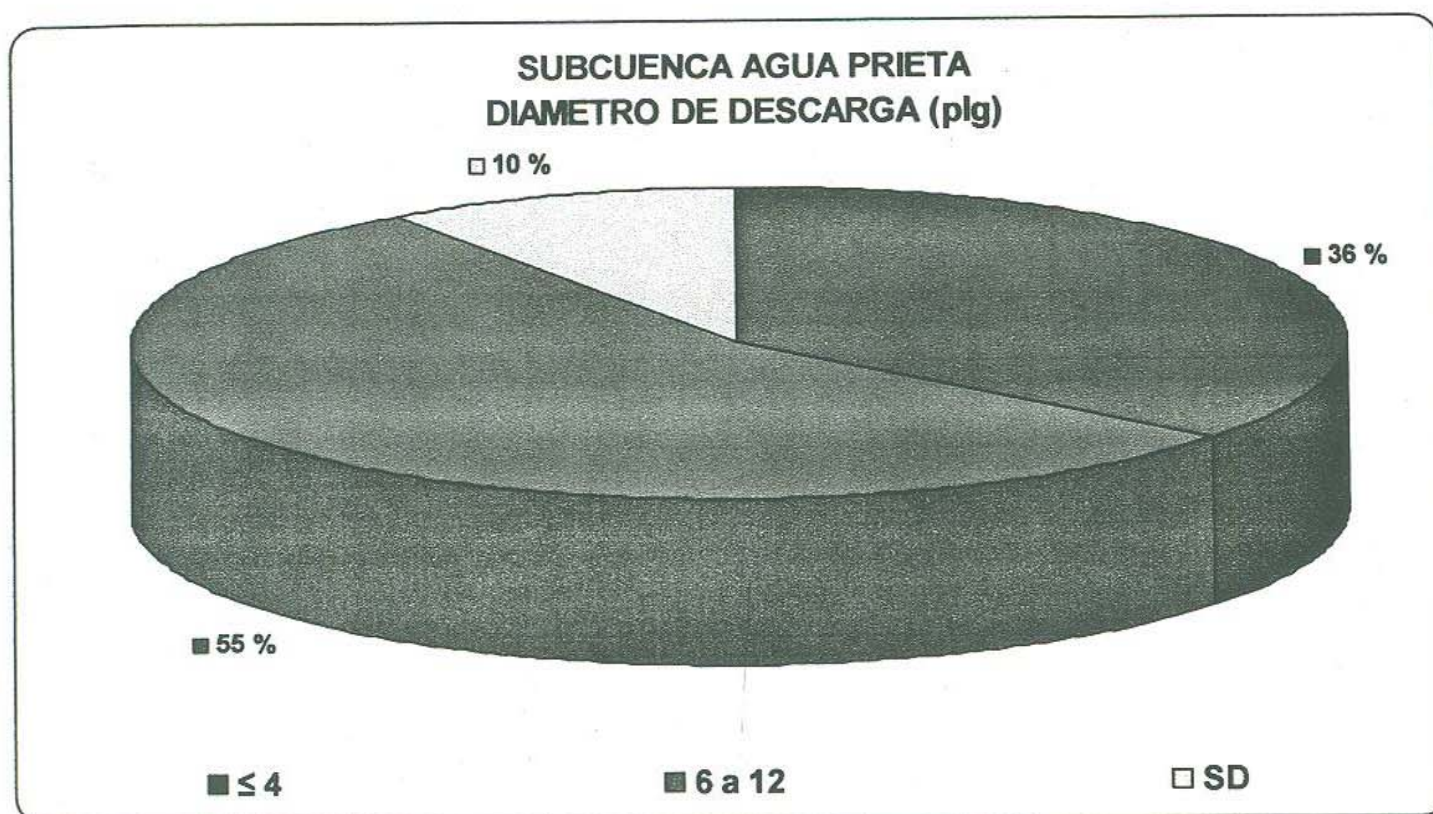


Figura 81.- Diámetros de descarga en la subcuenca Río Agua Prieta.

En cuanto a la profundidad, únicamente se cuenta con datos para 9 aprovechamientos de los 42 censados, lo cual quiere decir que del 79% de los aprovechamientos no se cuenta con datos. De estos 9 aprovechamientos, el 7% tiene profundidades menores / iguales a 20 metros, clasificándose como Norias. La mayoría representan profundidades en el rango de 20 a 100 metros, con un 10%, indicando Pozos Someros, y un 5% para profundidades mayores de 100 metros correspondientes a Pozos Profundos. (Figura 82)

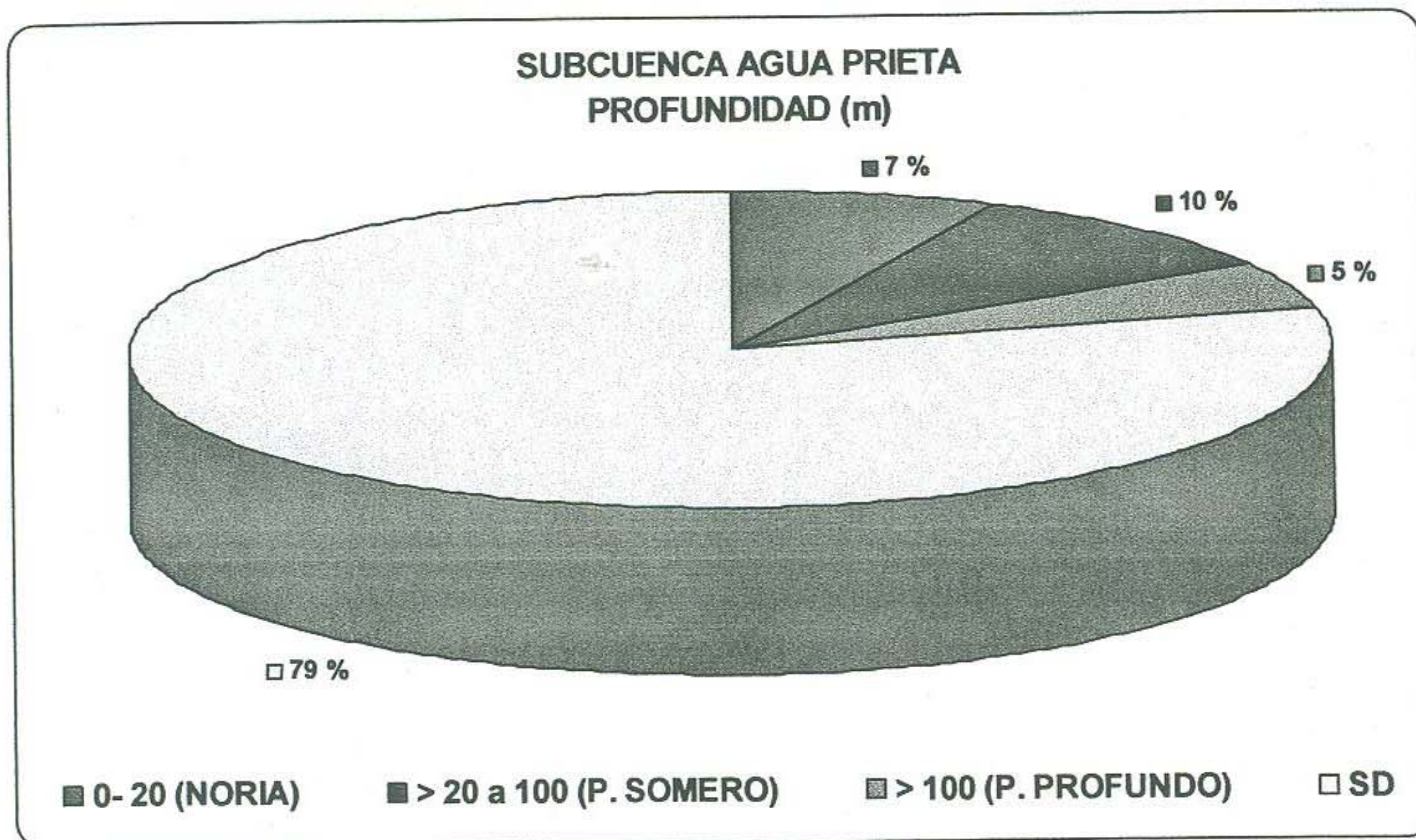


Figura 82.- Profundidad en la subcuenca Río Agua Prieta.

Subcuenca Río Batepito

Para la subcuenca Río Batepito se censaron un total de 28 aprovechamientos, con un total de 18 pozos y 10 norias. El uso para la actividad agrícola, en la subcuenca Río Batepito, predomina sobre el uso particular y para agua potable. El análisis indica que el uso agrícola representa el 46% del total. En segundo lugar se encuentran los particulares con un 29% y en tercer lugar el uso para agua potable, con un 7%, representado por 2 aprovechamientos. (Figura 83)

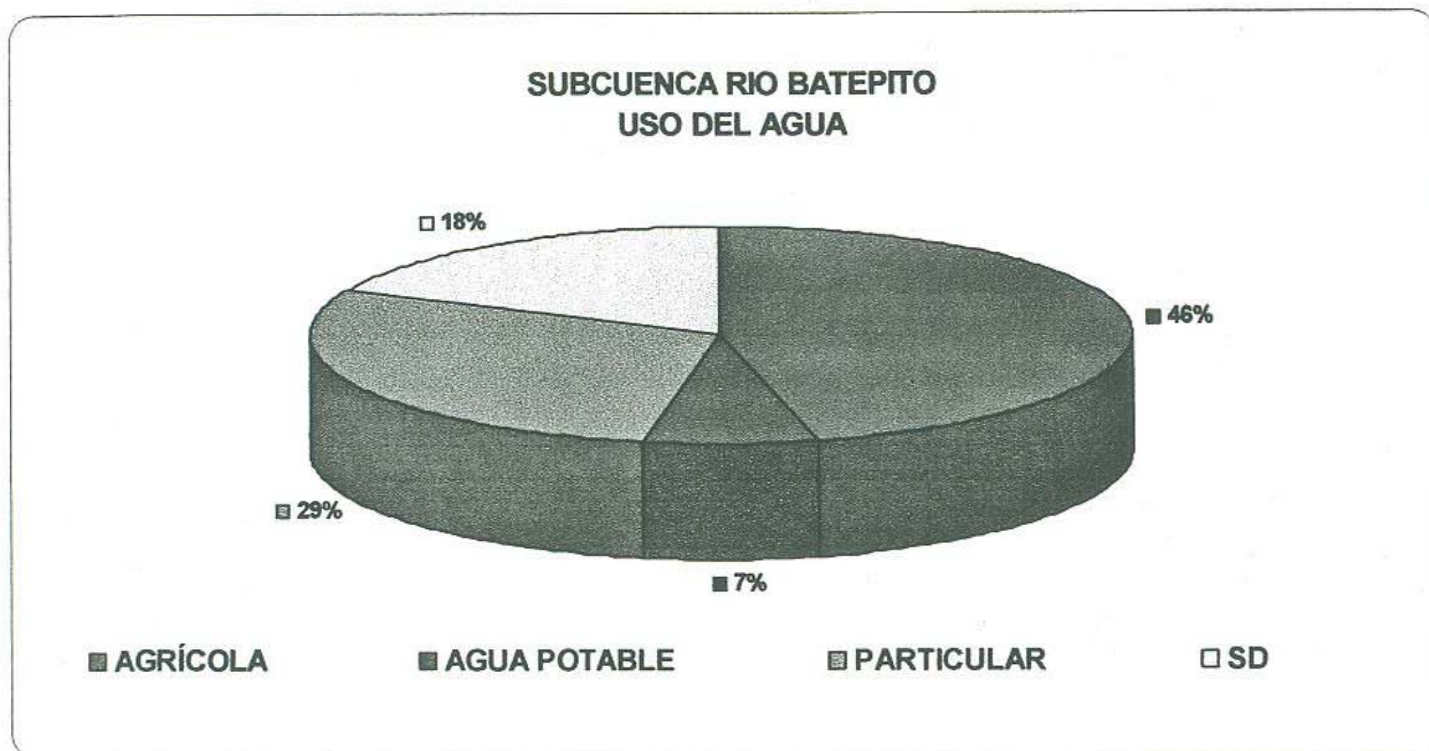


Figura 83.- Uso del agua en la subcuenca Río Batepito.

En el análisis de los datos, se observó que el gasto de la subcuenca Batepito, es predominante para extracciones de 20 a 65 lps en un 43%, el 7% a gastos menores de 20 lps y el 4% corresponde a gastos mayores de 65 lps. El 46% de los aprovechamientos no cuenta con la

información (Figura 84). Por otro lado, el diámetro predominante de descarga para la subcuenca Río Batepito es de 6 a 12 plg, lo que representa un 47%. Los diámetros menores / iguales a 4 plg solamente representan el 7%. Al igual que en el gasto, en la información del diámetro de descarga, el 46% de los aprovechamientos carece de información. (Figura 85)

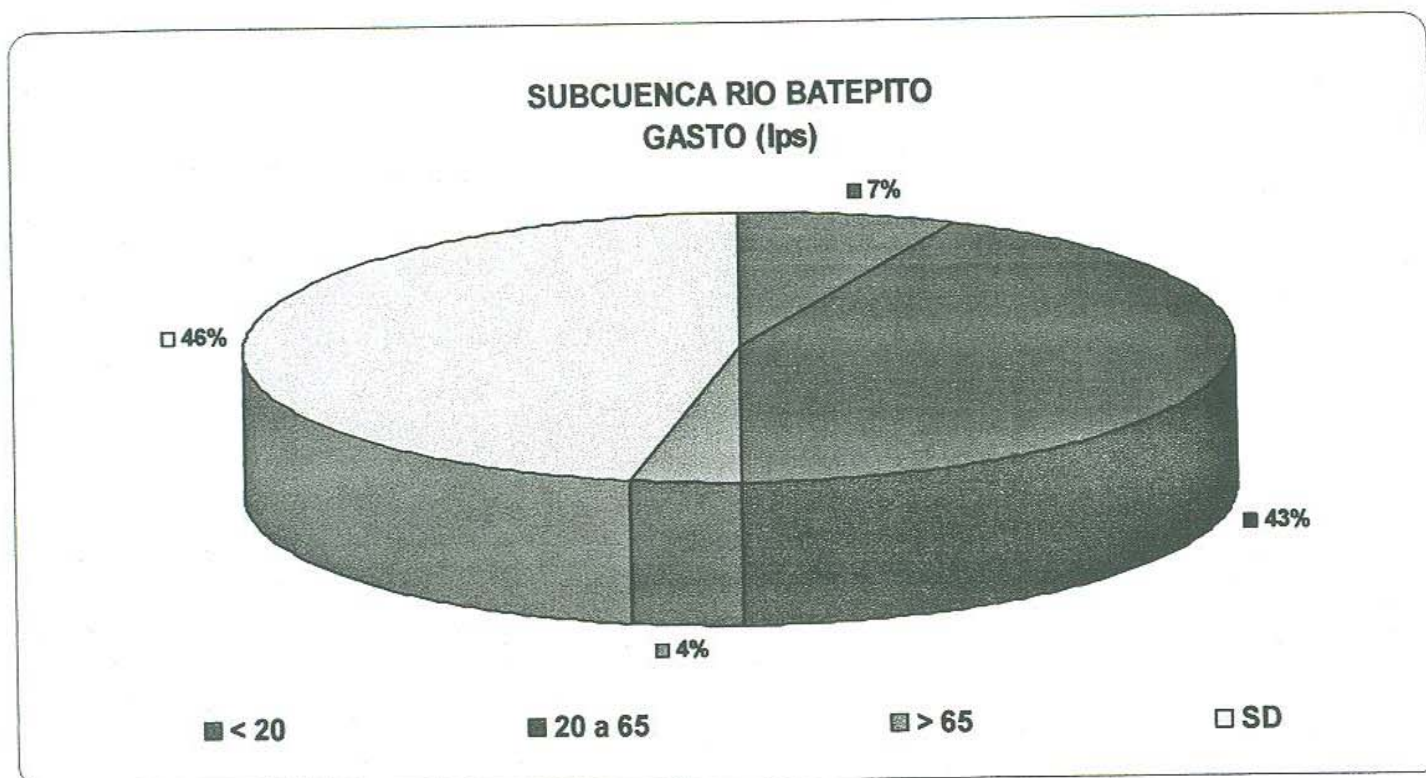


Figura 84.-Gasto en l.p.s. de la subcuenca río batepito.

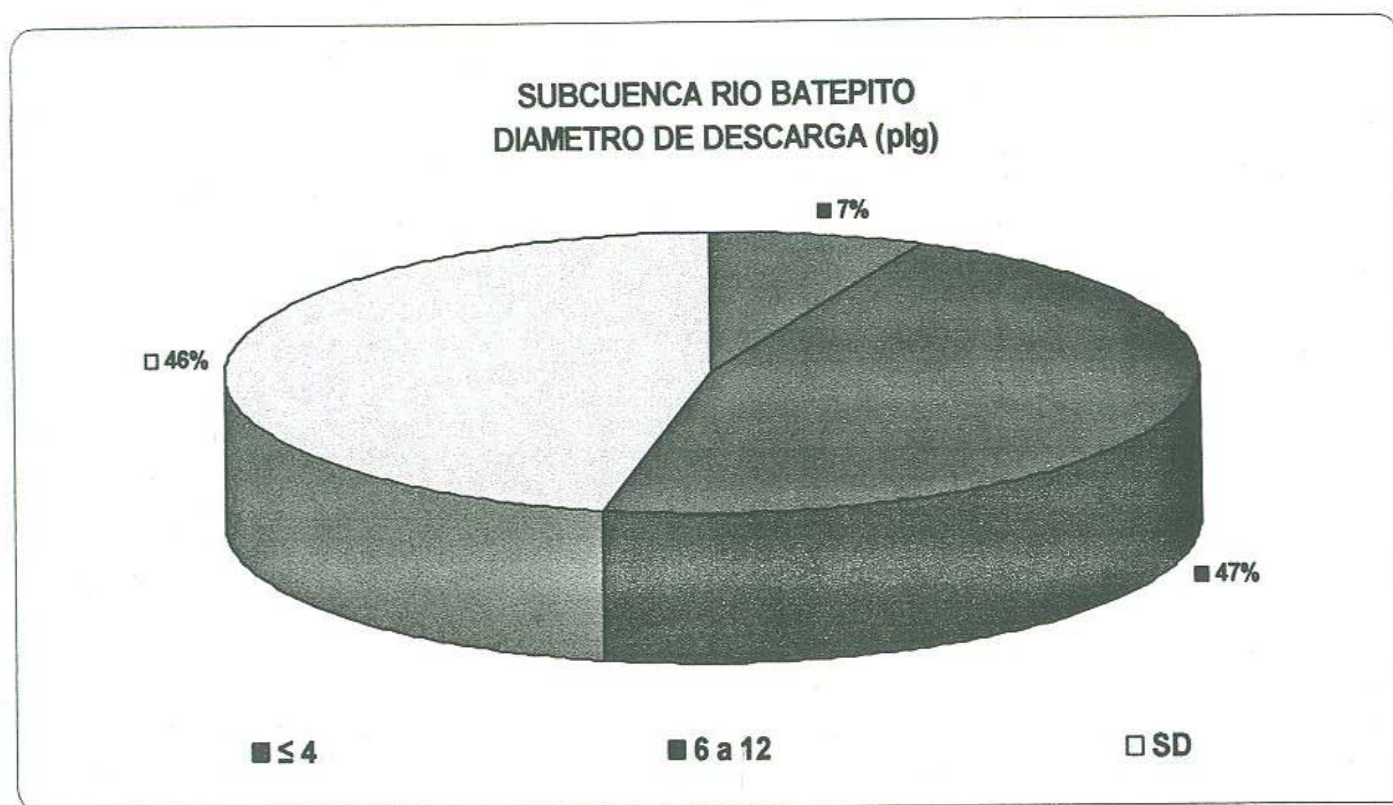


Figura 85.- Diámetro de descarga en la subcuenca Río Batepito.

De los 28 aprovechamientos censados, solo el 25% de estos contiene información acerca de la profundidad de la obra. De manera que de este 25%, predominan profundidades en el rango de 20 a 100 metros en un 18%, por lo que los aprovechamientos se clasifican como Pozos someros. El 7% restante es para profundidades menores de 20 metros, clasificados como Norias. (Figura 86)

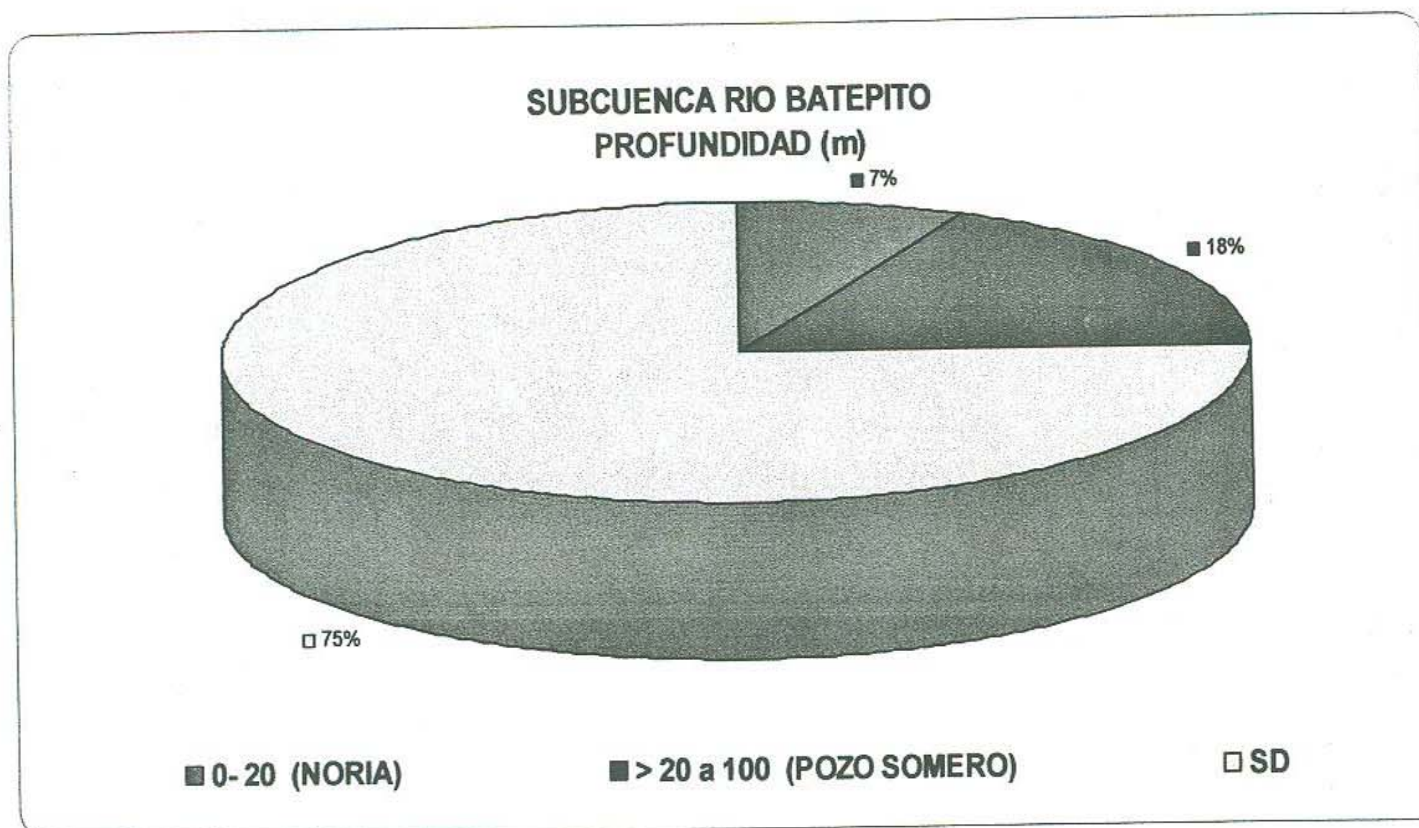


Figura 86.- Profundidad en metros de los aprovechamientos en la subcuenca Río Batepito.

Subcuenca Río Bavispe Bajo

En la subcuenca Río Bavispe Bajo se censaron un total de 30 aprovechamientos subterráneos, 18 representados por pozos y 12 representados por norias. La información disponible, relacionada con la profundidad de los aprovechamientos, y el gasto en la subcuenca Río Bavispe-Bajo, es muy escasa o casi nula, a diferencia de la información relacionada con el uso del agua y diámetro de descarga, la cual si es representativa.

El uso del recurso para consumo humano, representa el 39% en la subcuenca Río Bavispe-Bajo, con un total de 12 aprovechamientos. En segundo lugar se encuentra el uso para actividades agrícolas con un 27%, seguido de un 10 y 7%, los cuales corresponden al uso particular y domestico respectivamente. El 17% de los aprovechamientos carecen de información.(Figura 87)

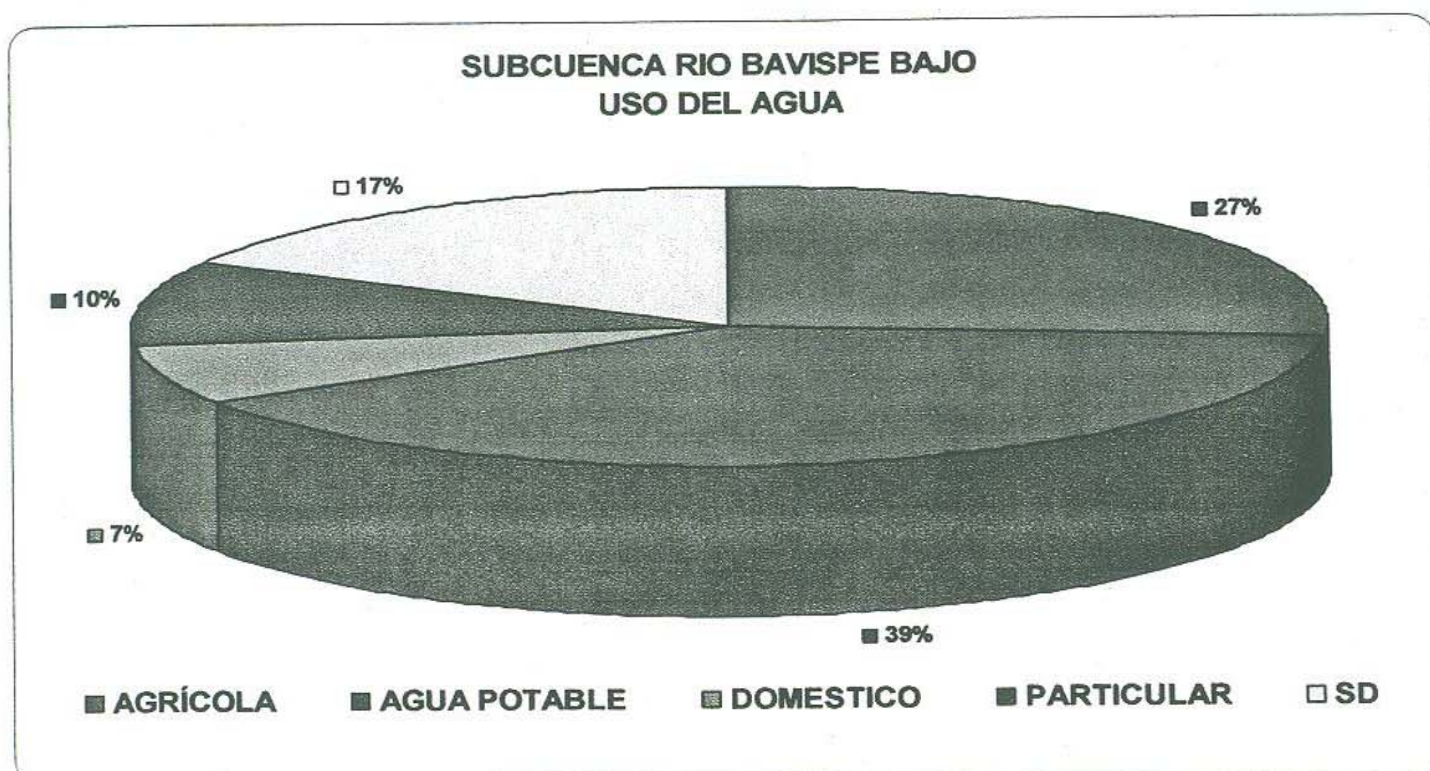


Figura 87.- Uso del agua de la subcuenca río bavispe bajo

El diámetro predominante de descarga en esta subcuenca, es de 2 a 4 plg, lo que representa un 50%. El 30% de los datos representa los diámetros de 6 a 12 plg. El 20% restante carece de información. (Figura 88)

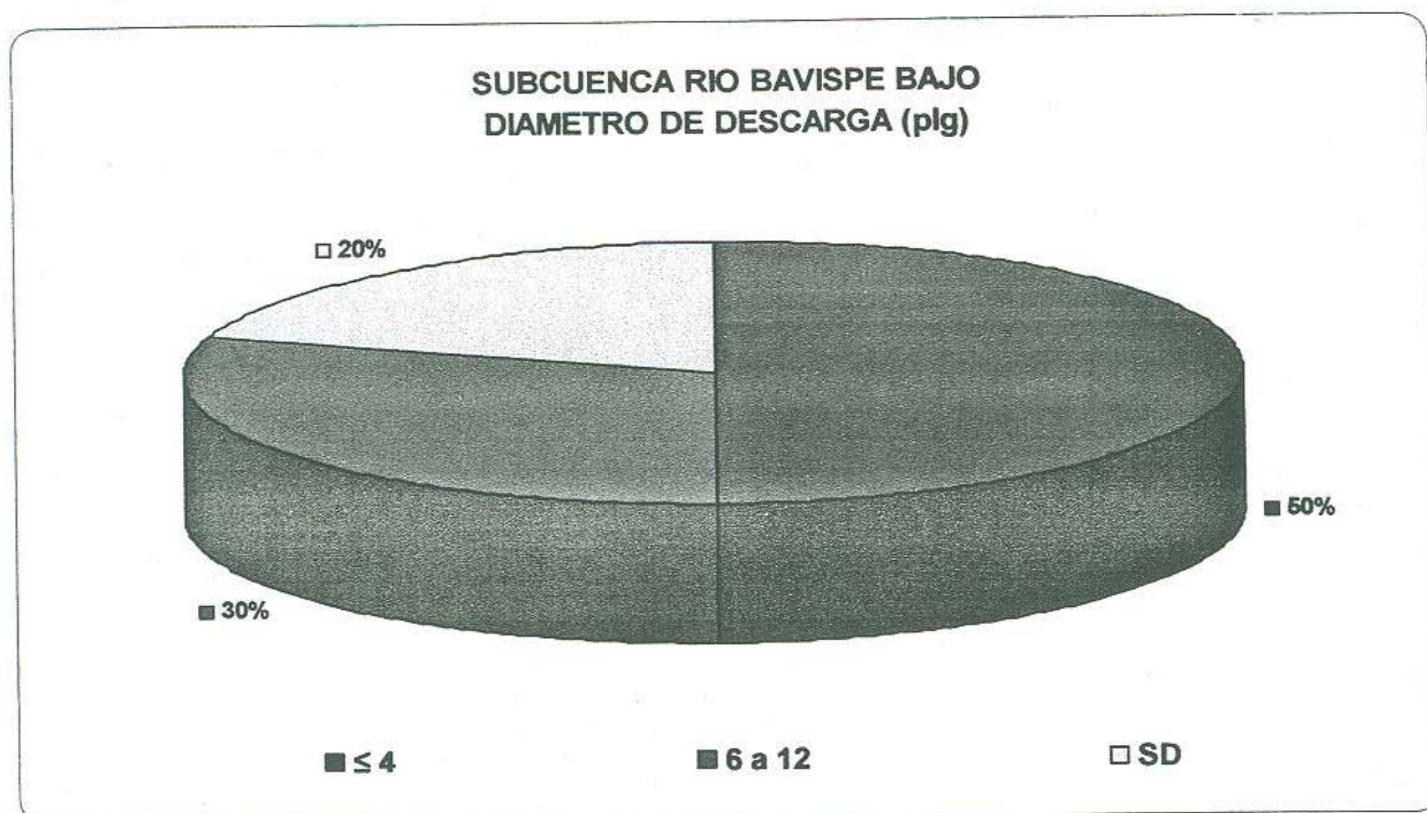


Figura 88.-Diámetro de descarga en la subcuenca Río Bavispe-Bajo.

Subcuenca Río Bavispe-P. La Angostura

En la Subcuenca del Río Bavispe-P. La Angostura se censaron un total de 29 aprovechamientos subterráneos de los cuales 20 son pozos y 9 son norias. Para esta subcuenca, el volumen de agua extraído es destinado principalmente para agua potable y domestico, su uso representa el 46%. Seguido de este, esta el uso para actividades agrícolas las cuales representan el 34%, y en menor proporción el uso pecuario. El 17% de los aprovechamientos carecen de esta información. (Figura 89)

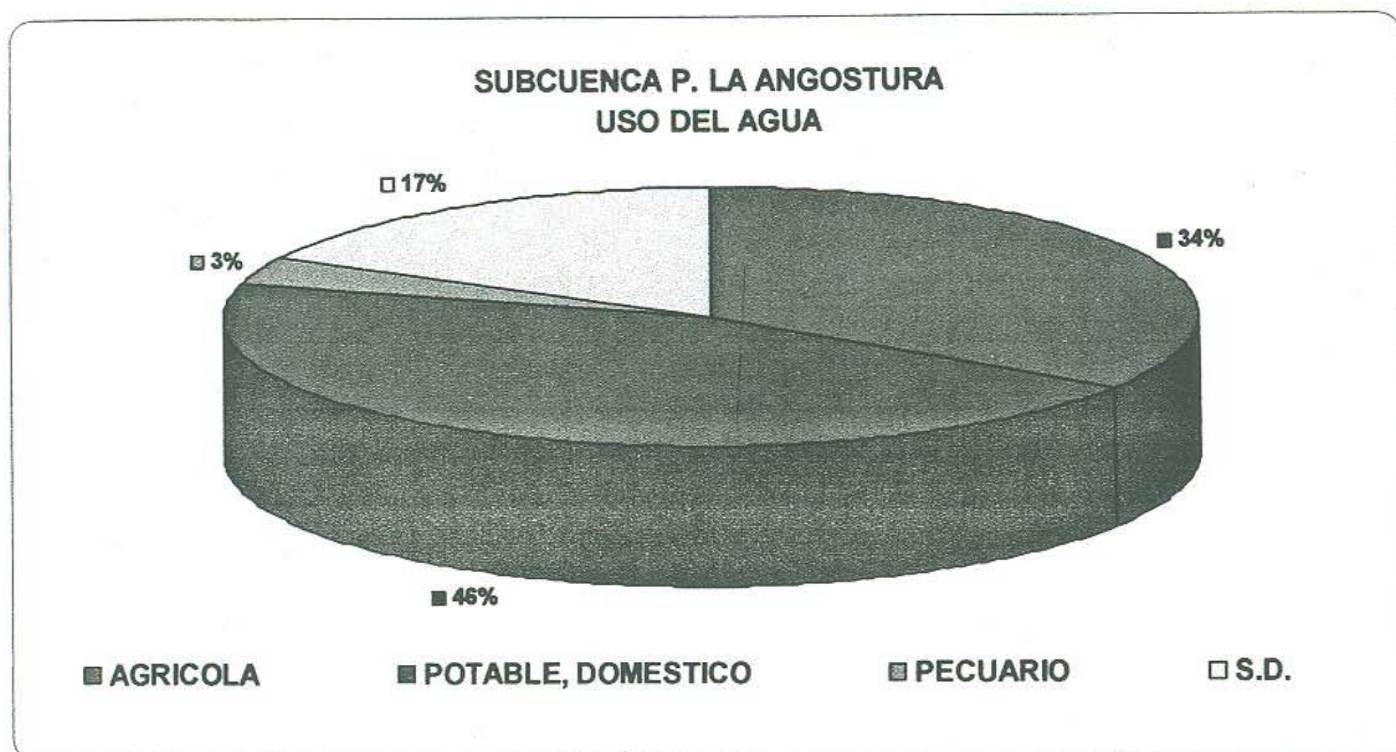


Figura 89.- Uso principal del agua en la subcuenca Río Bavispe - P. La Angostura.

Los datos disponibles para profundidad de la obra y gasto de la subcuenca Río Bavispe-P. Presa la Angostura, al igual que en la subcuenca Río Bavispe-Bajo, no son lo suficientemente confiables. Para profundidad, únicamente se tienen 6 datos, que indican que esta oscila entre los 10 y 26 metros. En cuanto al gasto, solo se tienen datos para 4 aprovechamientos, con gastos de 13 a 20 lps.

El diámetro de descarga predominante es en el rango de 6 a 12 plg, representado por un 41%, seguido de diámetros menores / iguales a 4 plg con un 31%. El 28% de los aprovechamientos censados no cuentan con dicha información. (Figura 90)

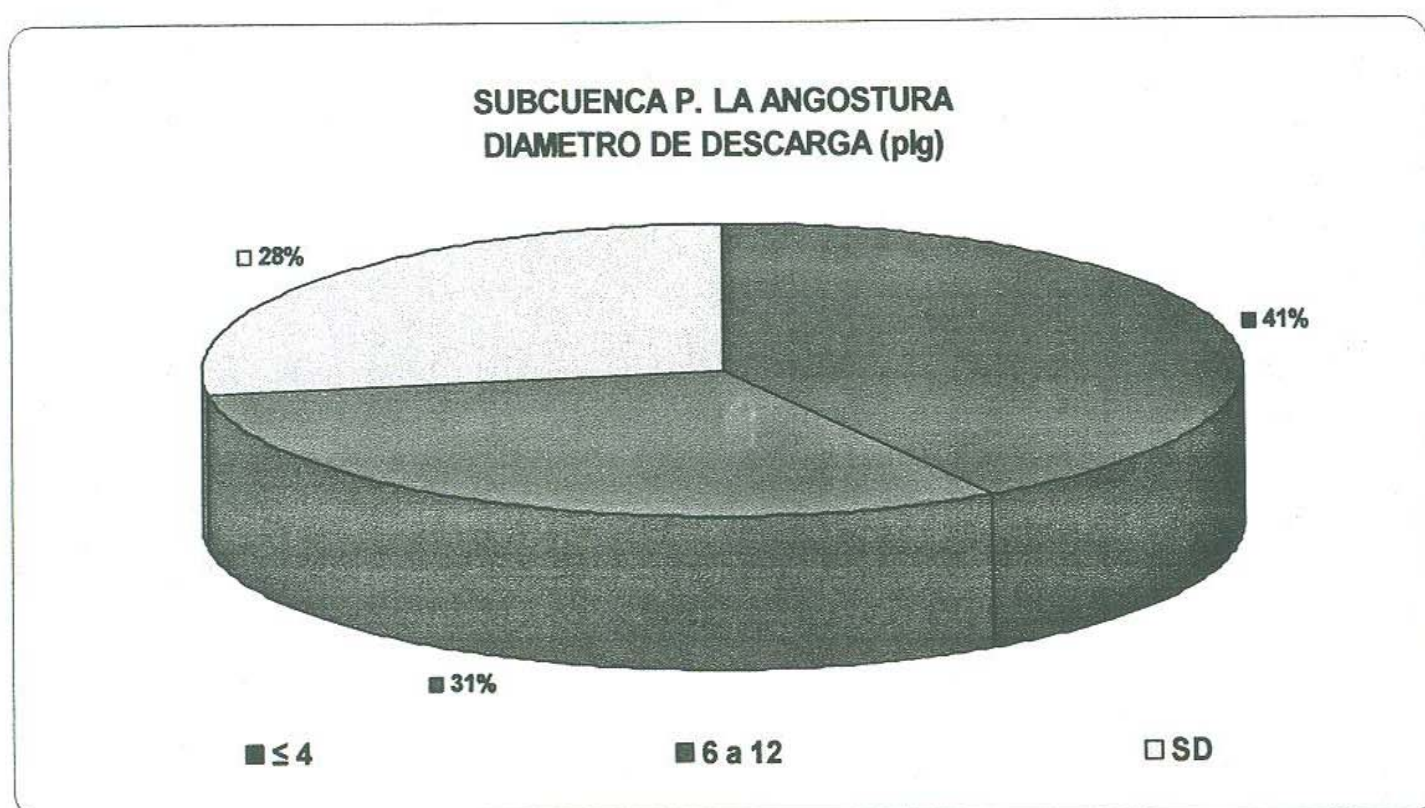


Figura 90.-Diámetros de descarga en la subcuenca Río Bavispe - P. La Angostura.

Subcuenca Río Moctezuma

En la subcuenca Río Moctezuma se censaron un total de 168 aprovechamientos subterráneos, siendo esta la que representa el mayor número de registros. De los aprovechamientos censados, 126 corresponden con norias, 38 pozos y 4 manantiales. A pesar de ser una de las subcuencas con mayor información, los datos para el análisis del gasto son muy pocos.

Para la subcuenca Río Moctezuma, el uso principal del recurso agua es agrícola. Este representa el 41%, seguido del uso para abrevadero con un 29% y doméstico con un 15%. El 15% restante no cuenta con datos. (Figura 91)

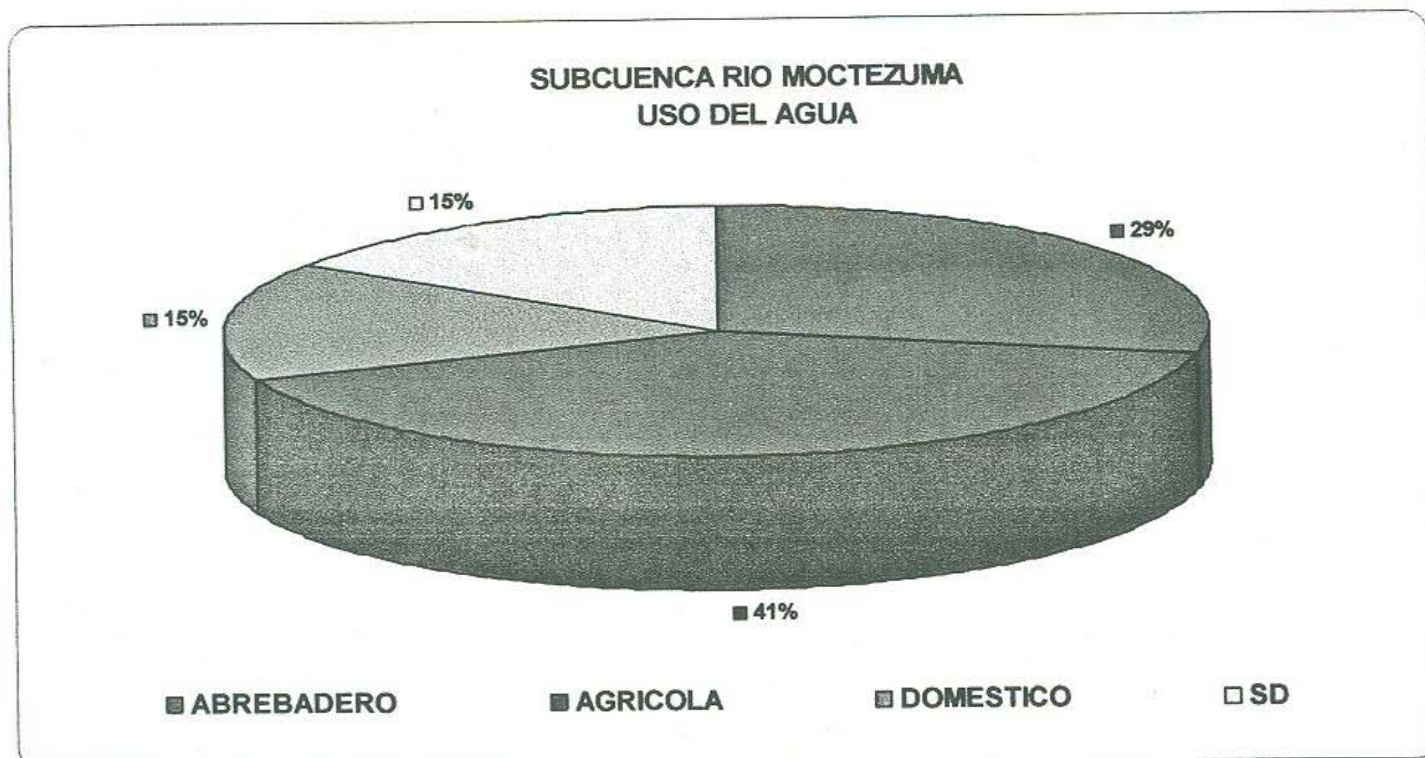


Figura 91.- Uso principal del agua en la subcuenca Río Moctezuma.

Los diámetros predominantes de descarga son de 6 a 12 plg. Estos diámetros representan el 41% del total de los analizados. Los diámetros menores / iguales a 4 plg están representados en menor proporción, estos están presentes en un 26%. El 13% de los aprovechamientos no tiene información. (Figura 92)

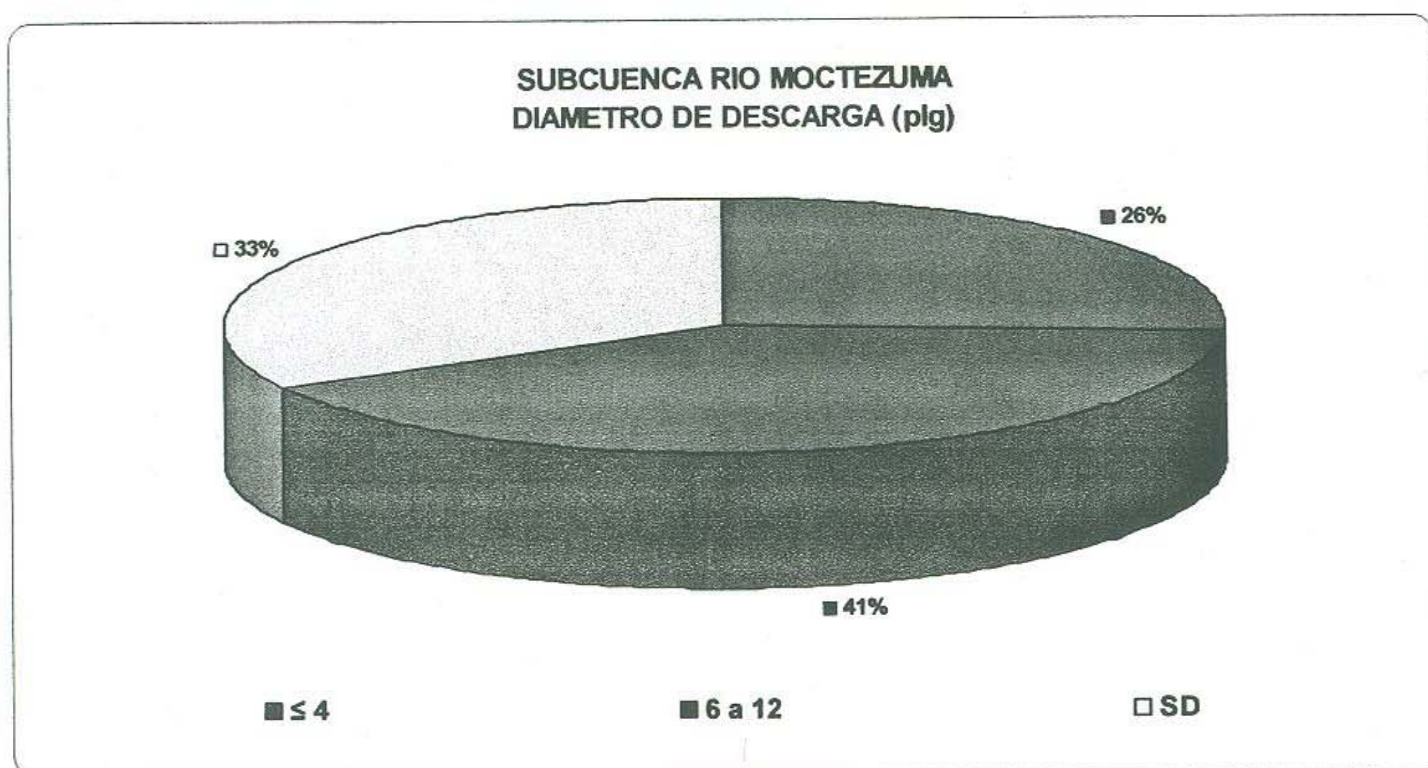


Figura 92.- Diámetros de descarga en la subcuenca Río Moctezuma.

La profundidad de los aprovechamientos en esta subcuenca presenta muchas variaciones. En primer termino, se encuentran los aprovechamientos con profundidades de 1 a 10 metros, los cuales predominan en la subcuenca, y representan un 21%. El 14% de los aprovechamientos representan profundidades de 10.1 a 20 metros. El 12% corresponde a profundidades de 20.1 a 40 metros. En menor proporción, las profundidades de 40.1 a 80 metros representan el 6%, seguida de profundidades de 80.1 a 100 y mayores que 100, con 3 y 2 % respectivamente. (Figura 93)

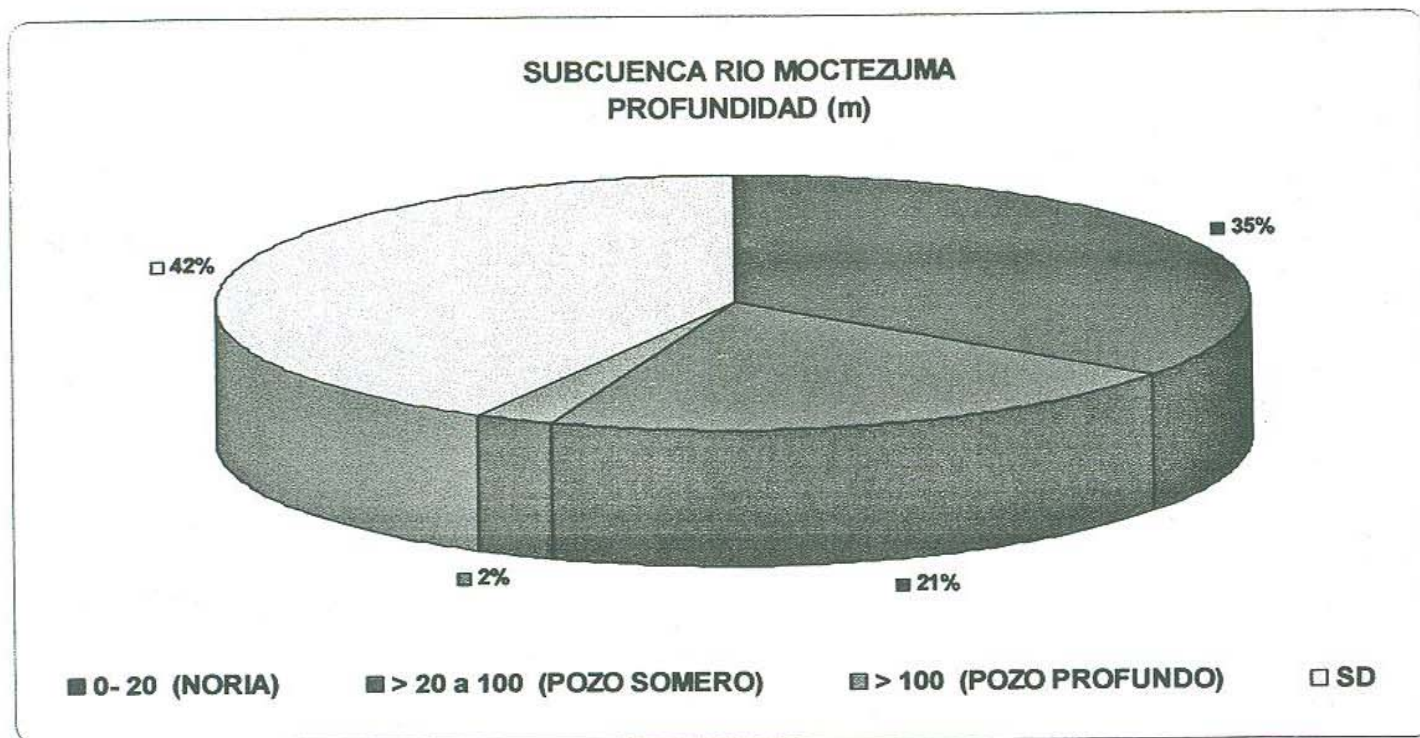


Figura 93.- Profundidad en metros de los aprovechamientos en la subcuenca Río Moctezuma

Subcuenca Río Papigóchic

Para la subcuenca del Río Papigóchic, se registraron un total de 26 aprovechamientos subterráneos, de los cuales 8 corresponden a pozos y 18 a norias. El uso predominante del agua, en la subcuenca del Río Papigóchic está destinado para el agua potable y doméstico, en un 50%. El uso del agua para la actividad agrícola representa el 23% del total. El 27% de la información analizada no cuenta con el dato. (Figura 94)

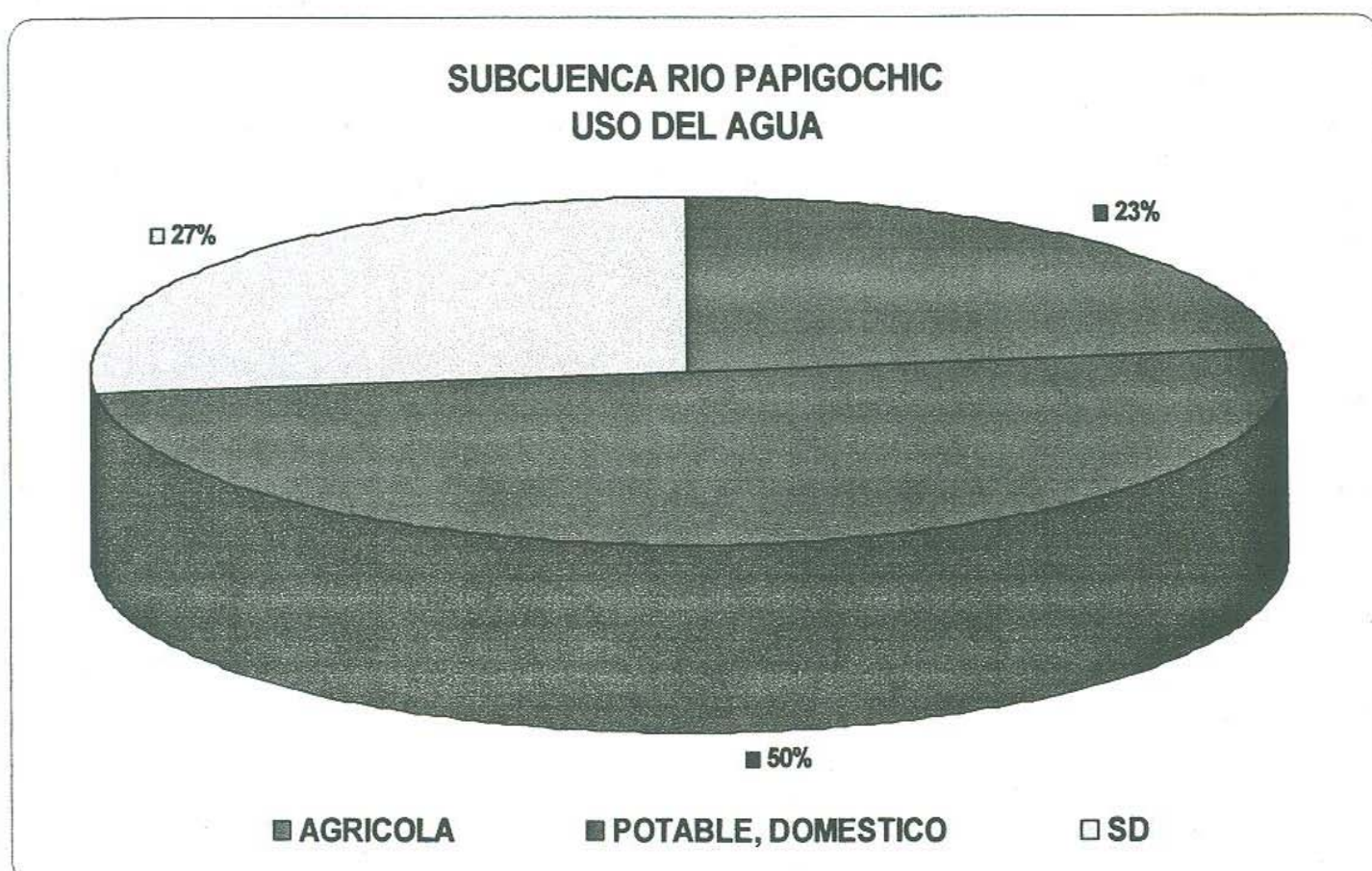


Figura 94.- Uso principal del agua en la subcuenca Río Papigóchic.

Los datos correspondientes a la profundidad total de obras y gasto de la subcuenca Río Papigóchic no son suficientes para su análisis. En lo que respecta al diámetro de descarga, en la subcuenca del Río Papigóchic, el 62% de los aprovechamientos carecen de información, sin embargo si se realizo el grafico correspondiente. Este indica el predominio de diámetros pequeños, es decir, menores / iguales a 4 plg, en un 38%.(Figura 95)

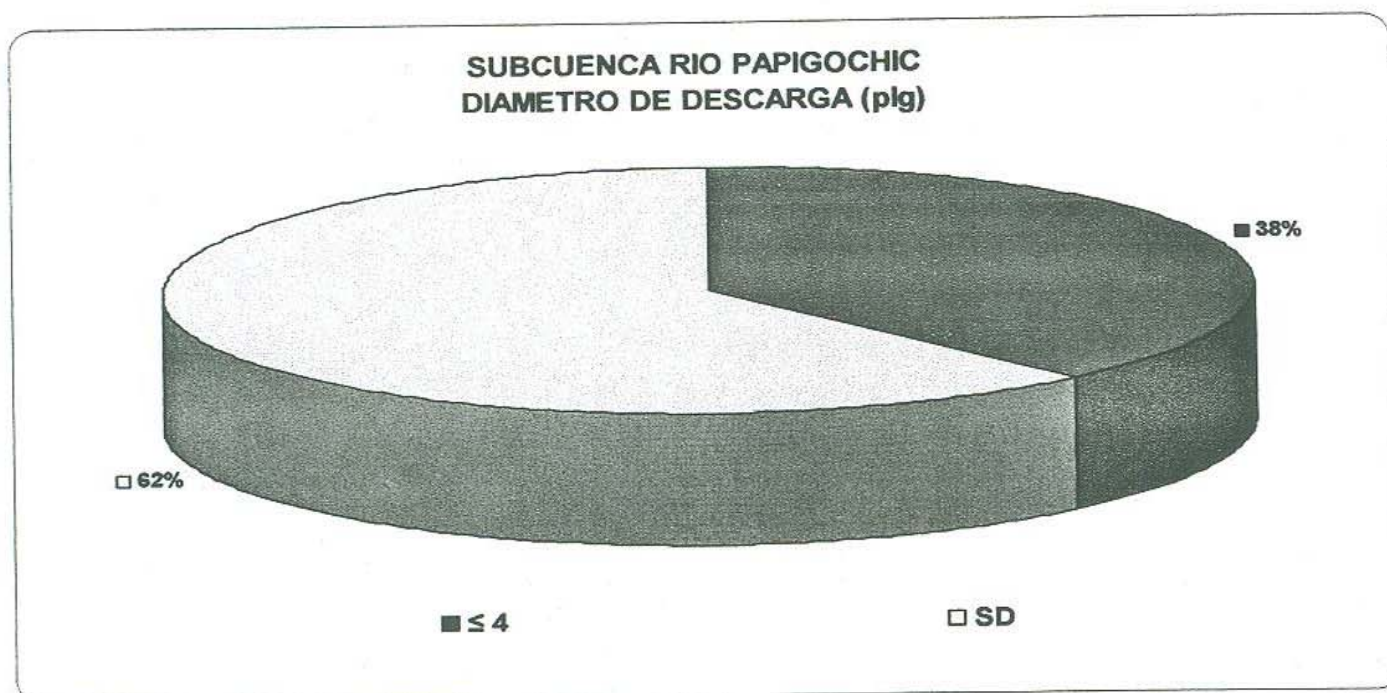


Figura 95.- Diámetros de descarga en la subcuenca Río Papigóchic.

5.4. Piezometría

Con los datos medidos de los niveles de agua en los aprovechamientos subterráneos en la cuenca alta del Río Yaqui durante el censo, se realizó la configuración de niveles estáticos de la zona de estudio.

5.4.1. Configuración del Nivel Estático por Subcuenca.

Subcuenca Agua Prieta

En esta subcuenca, los niveles estáticos varían de 2 a 16 metros, sin embargo se registro un pozo en la localidad del Agua Zarca con un nivel de 28.20 metros, muy por encima del rango máximo registrado. (Figura 96)

Subcuenca Río Batepito

En esta subcuenca los niveles estáticos varían de 2.8 a 19.5 metros. El nivel más profundo se registro en el pozo de agua potable de la comunidad 18 de Agosto con una profundidad de 19.5 metros y los menos profundos en una noria de Cuchuverachi y otra en Colonia Morelos con valores de 2.8 y 3 metros. (Figura 97)

Subcuenca Río Bavispe Bajo

En esta zona los niveles mas profundos obtenidos son del orden de los 12.3 metros, en la localidad el Papalote, y los menores en Aribabi, con niveles de 2.10 metros. (Figura 98)

Subcuenca Bavispe-Presa La angostura

En esta subcuenca los niveles estáticos varían de 1.38 a 18.68 metros. Los niveles mas profundos se registraron en pozos, con valores mayores a los 14 metros, y los menos profundos en pozos y norias, con valores de 1.38 a 14 metros. La profundidad máxima se registro en un pozo localizado en arroyo hondo con 18.68 metros y la mínima en el campo la alameda con 1.38 metros. (Figura 99)

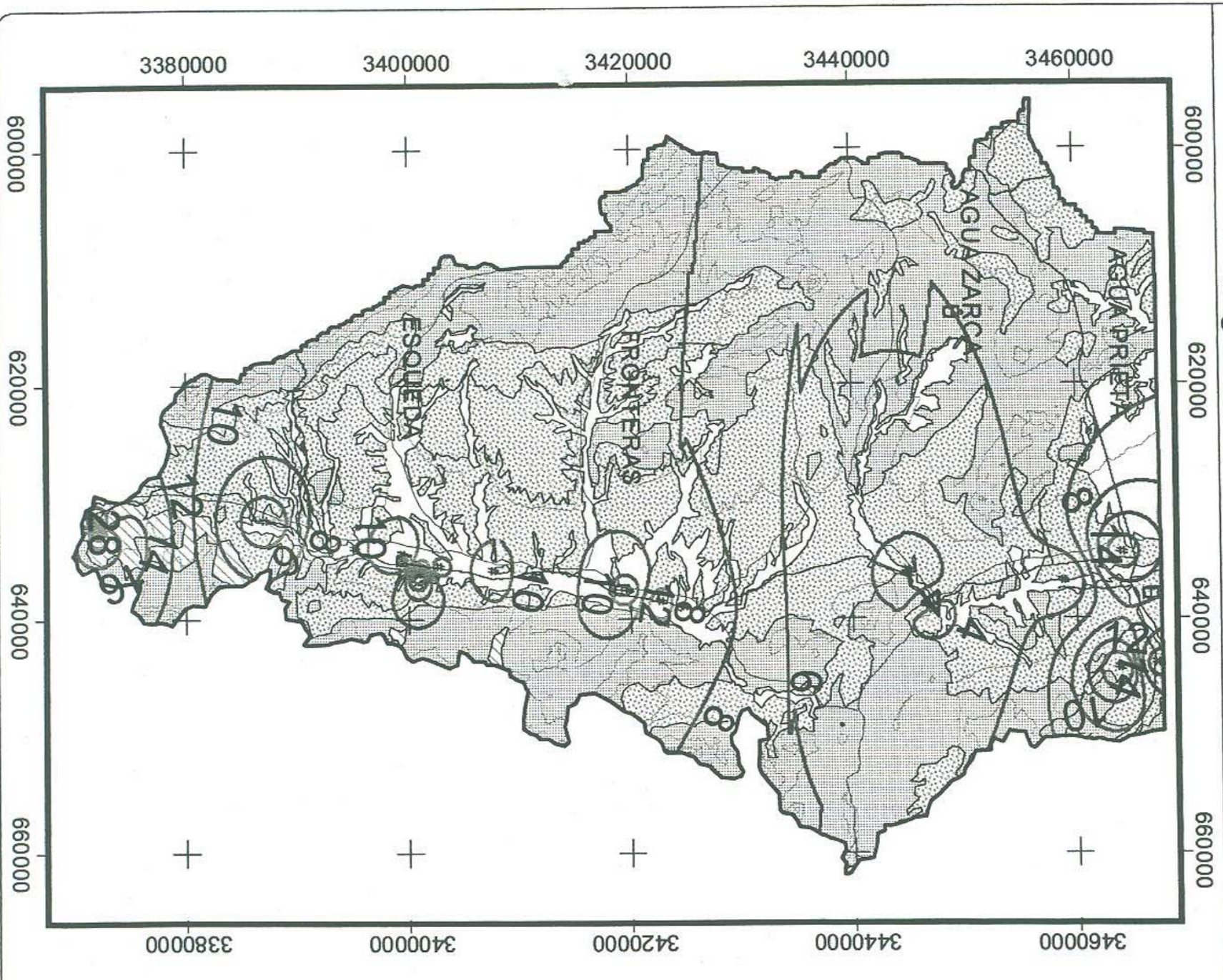
Subcuenca Río Moctezuma

En lo que se refiere a los niveles estáticos en esta subcuenca, presenta un rango mayor que las subcuencas anteriores, esto debido a su gran extensión territorial, y a la gran cantidad de aprovechamientos concentrados en ella. Los niveles mas profundos en esta zona se localizan a 40 metros en el pueblo de Tepache, mientras que los mas someros alrededor de los 2.00 metros al suroeste de Moctezuma en el campo la Huerta. (Figura 100)

Subcuenca del Río Papigóchic

Esta subcuenca representa los niveles estáticos más someros, en comparación con las subcuencas anteriormente mencionadas. El rango varia de 0.5 a 7.10 metros. Teniendo en Nacori chico 0.57 metros como mínima y 7.10 metros como máxima profundidad. (Figura 101)

Configuración de Curvas de Nivel Estático en la Subcuenca Río Agua Prieta



LEYENDA

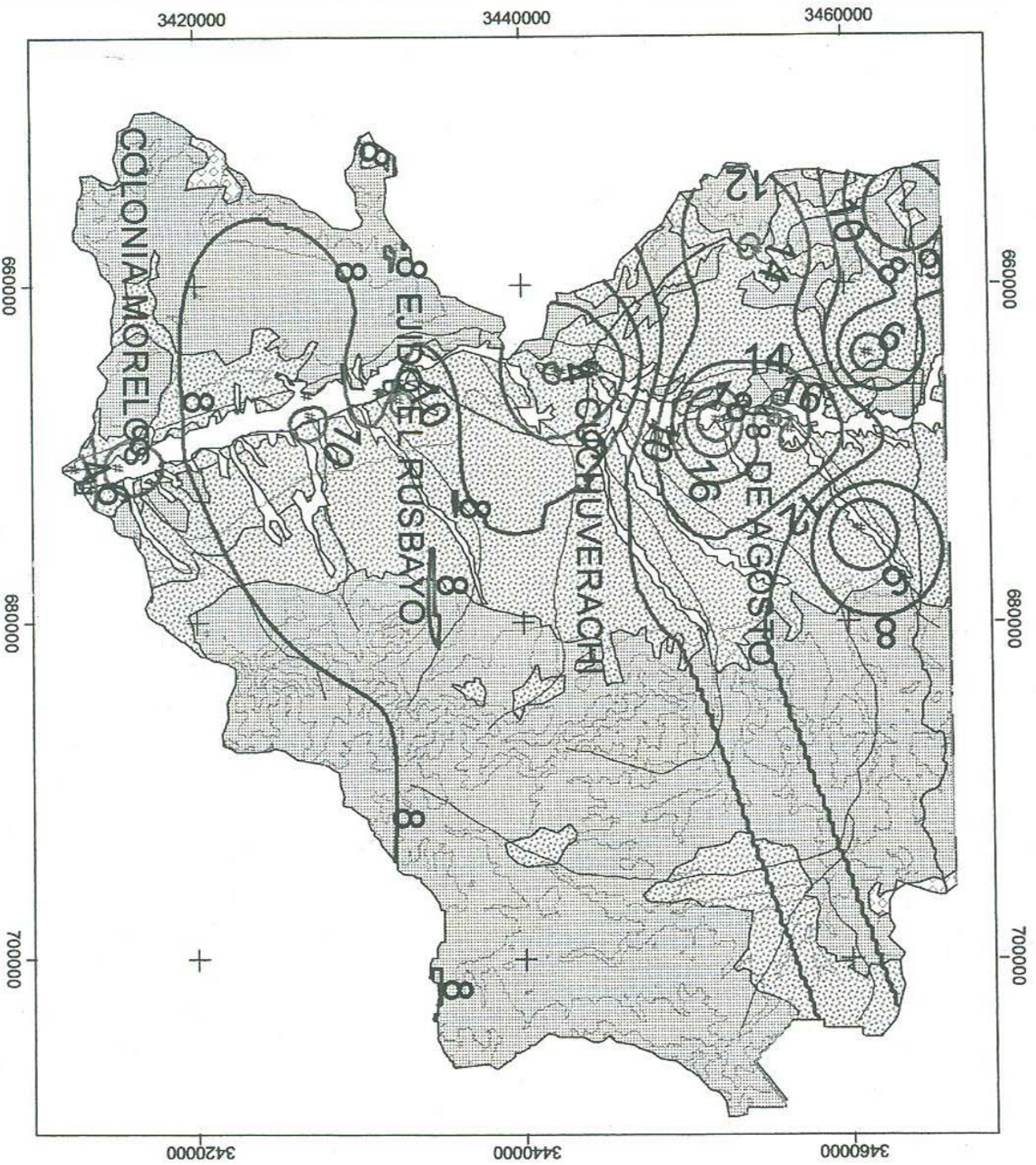


- ⊕ Poblados
- # Levantamiento Piezométrico
- ~ Carretera
- ∩ Valores de Isocurvas
- ∩ Topografía
- ∩ Corrientes
- Zona Acuífera
- Unidades Hidrogeológicas
- ▨ Material consolidado, posibilidad baja
- ▤ Material no consolidado, posibilidad alta
- ▥ Material no consolidado, posibilidad media
- ▧ Material no consolidado, posibilidades baja



Figura 96.- Configuración de curvas de Nivel Estático en la Subcuenca Río Agua Prieta.

Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Río Batepito



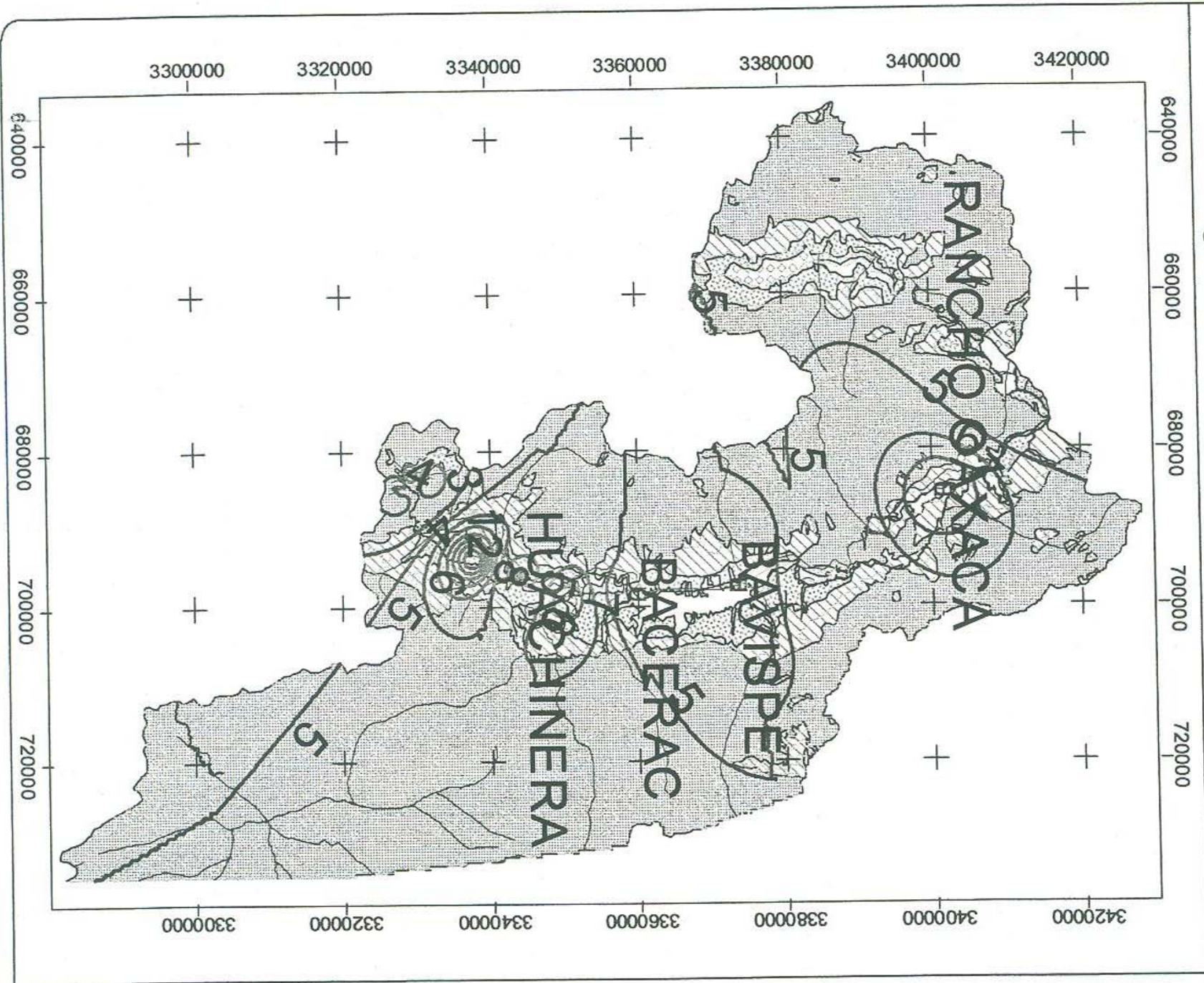
LEYENDA

- ⊙ Poblados
 - # Levantamiento Piezométrico
 - Carretera
 - ~ Valores de Isocurvas
 - ~ Topografía
 - ~ Corrientes
 - Zona Acuífera
- Unidades Hidrogeológicas
- ▨ Material consolidado, posibilidad baja
 - ▩ Material no consolidado, posibilidad alta
 - ▧ Material no consolidado, posibilidad media
 - ▦ Material no consolidado, posibilidades bajas



Figura 97.- Configuración de curvas de Nivel Estático en la Subcuenca Río Batepito.

Configuración de Curvas de Profundidad al Nivel Estático en la Subcuenca Río Bavisque Bajo



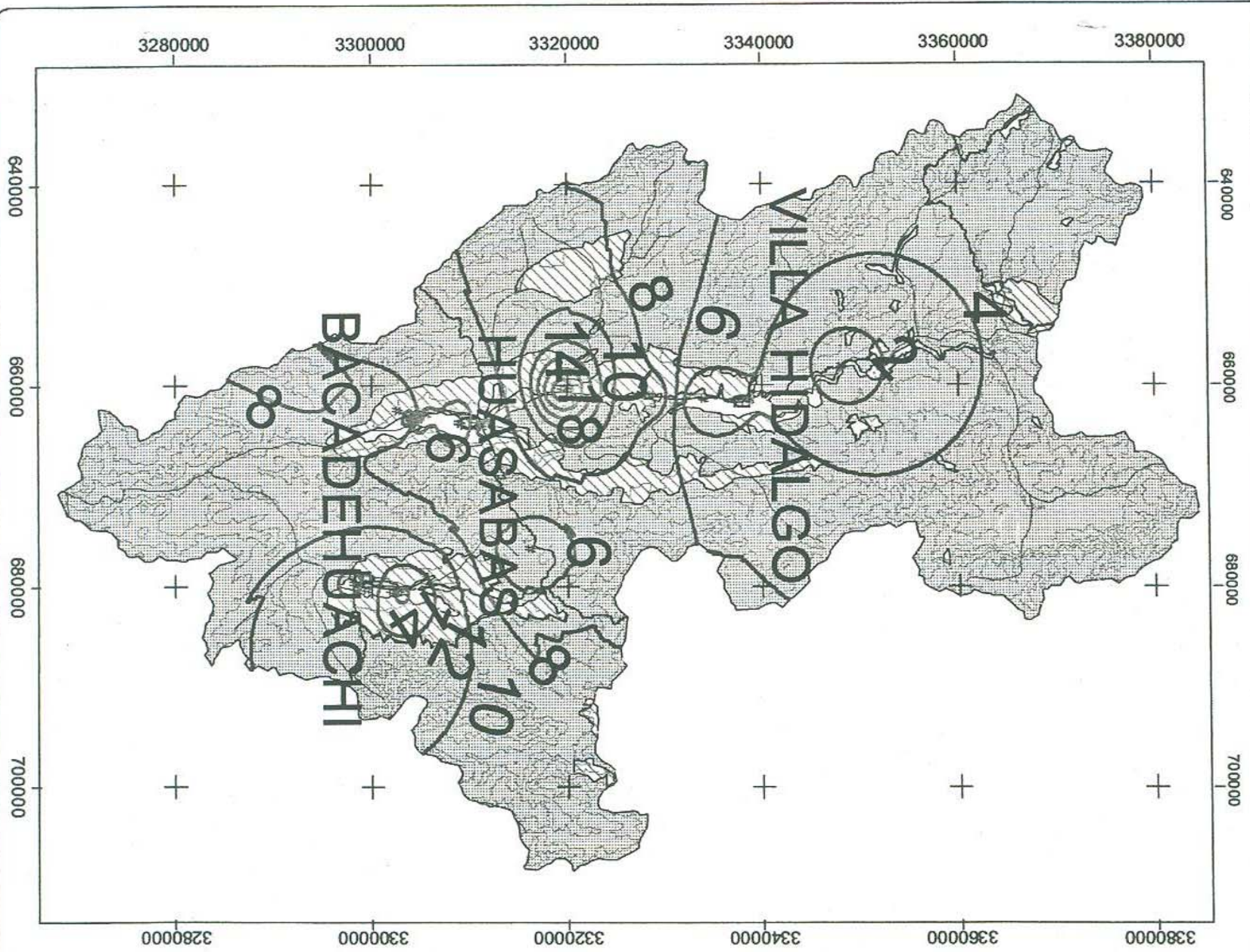
LEYENDA

- ⊕ Poblados
 - # Levantamiento Piezométrico
 - Carretera
 - ~ Valores de Isocurvas
 - ~ Topografía
 - ~ Corrientes
 - Zona Acuífera
- Unidades Hidrogeológicas
- Material consolidado, posibilidad baja
 - Material no consolidado, posibilidad alta
 - Material no consolidado, posibilidad media
 - Material no consolidado, posibilidades baja

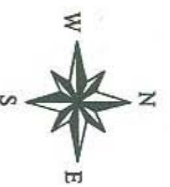


Figura 98.- Configuración de curvas de Nivel Estático en la Subcuenca Río Bavisque Bajo.

Configuración de Curvas de Profundidad al Nivel Estático en la Subcuenca Bavispe- P. La Angostura



LEYENDA

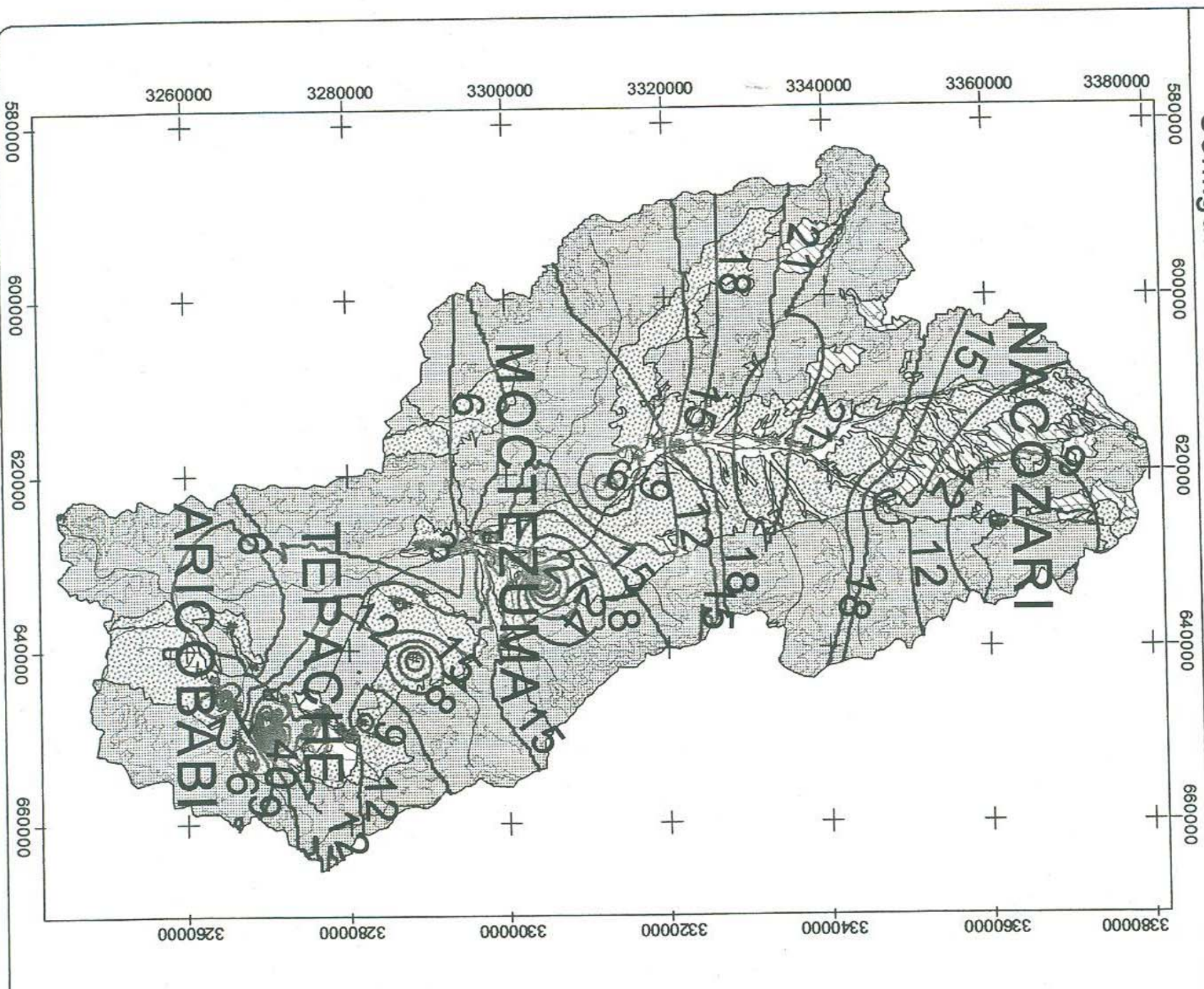


- ⊕ Poblados
 - # Levantamiento Piezométrico
 - Carretera
 - ~ Valores de Isocurvas
 - ~ Topografía
 - ~ Corrientes
 - Zona Acuífera
- Unidades Hidrogeológicas
- Material consolidado, posibilidad baja
 - Material no consolidado, posibilidad alta
 - Material no consolidado, posibilidad media
 - Material no consolidado, posibilidades baja



Figura 99.- Configuración de curvas de Nivel Estático en la Subcuenca Río Bavispe- P. La Angostura.

Configuración de Curvas de Profundidad al Nivel Estático en la Subcuenca Río Moctezuma



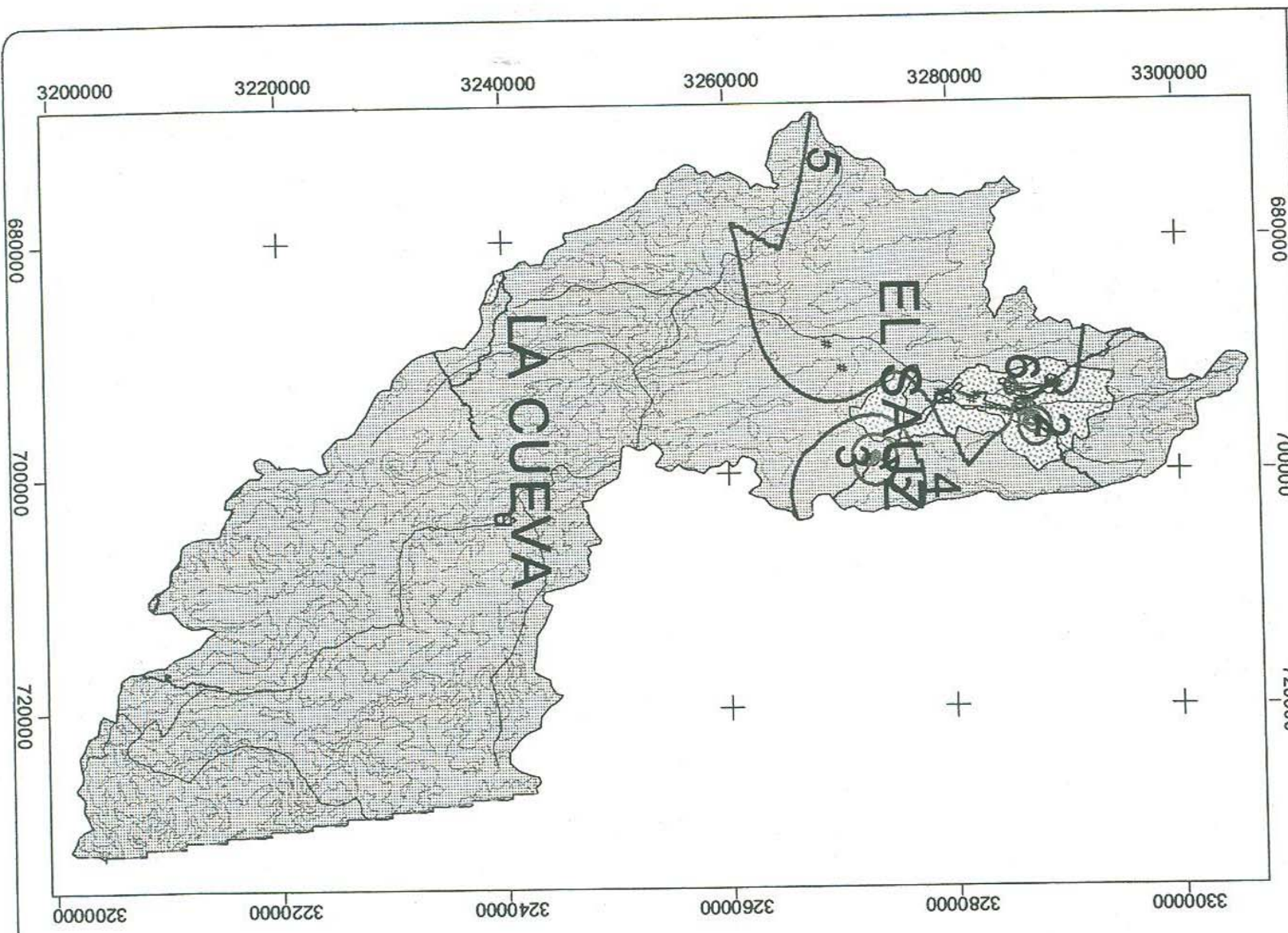
LEYENDA

- ⊕ Poblados
 - # Levantamiento Piezométrico
 - Carretera
 - Valores de Isocurvas
 - Topografía
 - Corrientes
 - Zona Acuífera
- Unidades Hidrogeológicas
- ▨ Material consolidado, posibilidad baja
 - ▨ Material no consolidado, posibilidad alta
 - ▨ Material no consolidado, posibilidad media
 - ▨ Material no consolidado, posibilidades baja



Figura 100.- Configuración de curvas de Nivel Estático en la Subcuenca Río Moctezuma

Configuración de Curvas de Profundidad al Nivel Estático en la Subcuenca Río Papigochic



LEYENDA



- ⊕ Poblados
 - # Levantamiento Piezométrico
 - ▤ Carretera
 - ▧ Valores de Isocurvas
 - ▨ Topografía
 - ▩ Corrientes
 - Zona Acuífera
- Unidades Hidrogeológicas
- ▨ Material consolidado, posibilidad baja
 - ▩ Material no consolidado, posibilidad alta
 - ▧ Material no consolidado, posibilidad media
 - ▦ Material no consolidado, posibilidades baja



Figura 101.- Configuración de curvas de Nivel Estático en la Subcuenca Río Papigochic.

IV.5.2. Configuración de Elevación de Nivel Estático por Subcuenca.

Subcuenca Río Agua Prieta

La elevación menor del nivel estático en esta subcuenca se encuentra en el ejido el 47 al noreste de Fronteras, con 1095 m.s.n.m, mientras que la mayor se registra en el rancho agua zarca ubicado al sur de esta subcuenca con una elevación de 1316 m.s.n.m. (Figura 102)

Subcuenca Río Batepito

En esta subcuenca la elevación del nivel estático menor se registra en la localidad de agua blanca, al norte de la Colonia Morelos con 890 m.s.n.m., mientras que la mayor se registra al noroeste de la localidad 18 de agosto con 1342 m.s.n.m. (Figura 103)

Subcuenca Río Bavispe Bajo

La elevación menor del nivel estático en esta subcuenca se registra en el rancho La Morita con 692 m.s.n.m. ubicado al norte de bavispe, mientras que la elevación mayor en Huépari, con 1342 m.s.n.m. (Figura 104)

Subcuenca Río Bavispe- Presa La Angostura

En esta subcuenca la elevación del nivel estático menor se registra en Granados con 586 m.s.n.m. y la elevación mayor se registra en el rancho el Alamito ubicado al noreste de Huásabas con 1195 m.s.n.m.(Figura 105)

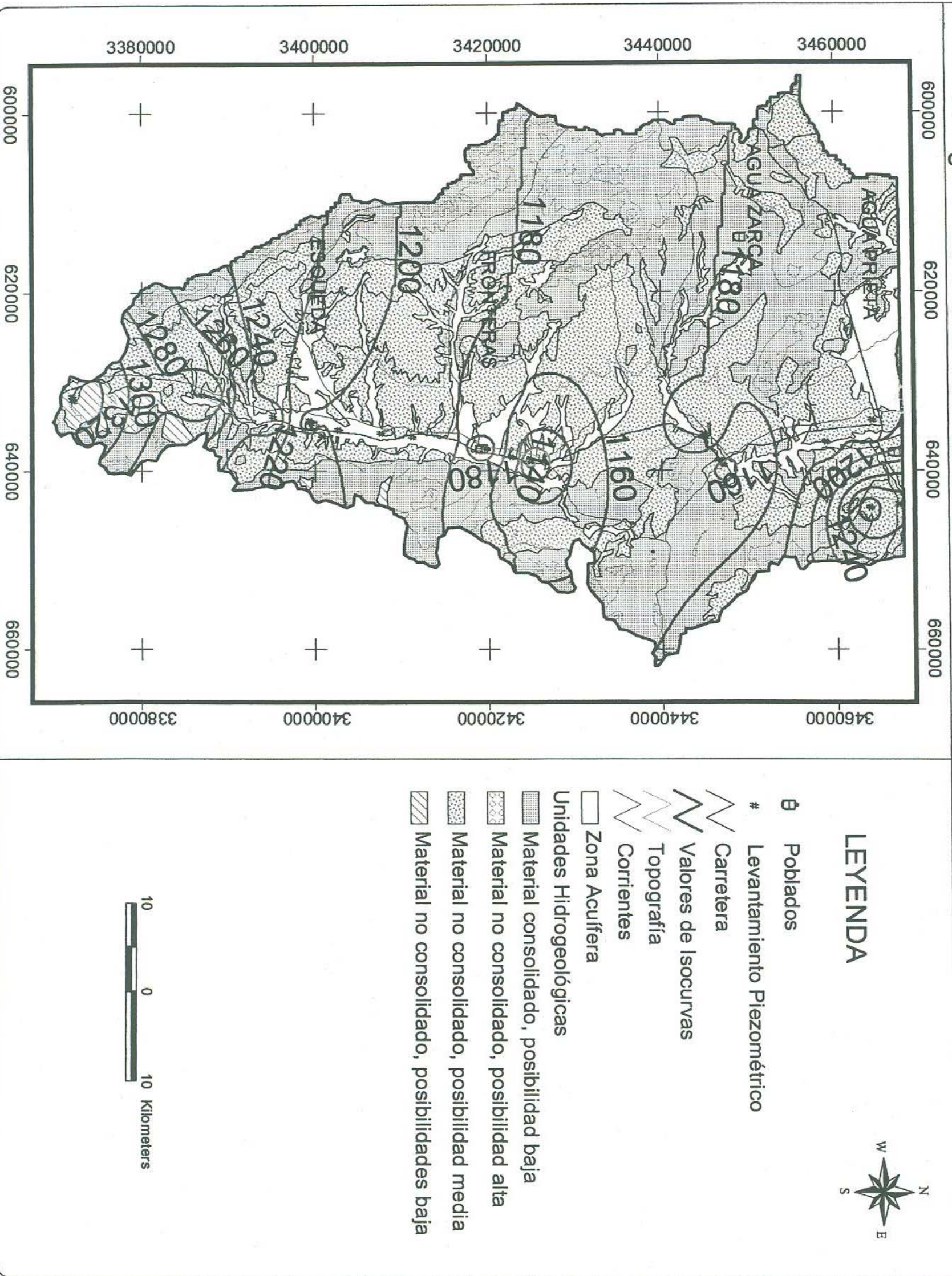
Subcuenca Río Moctezuma

La elevación menor del nivel estático en esta subcuenca se localiza en San Pedro de la Cueva con 340 m.s.n.m. y la elevación mayor se localiza en Nacozari de García con 1093 m.s.n.m. (Figura 106)

Subcuenca Río Papigóchic

En esta subcuenca la elevación del nivel estático menor se localiza en la localidad de Basuchi con 695 m.s.n.m. y la elevación mayor se localiza en el rancho el Alamo ubicado al sureste de El Sauz, con 950 m.s.n.m. (Figura 107)

Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Río Agua Prieta



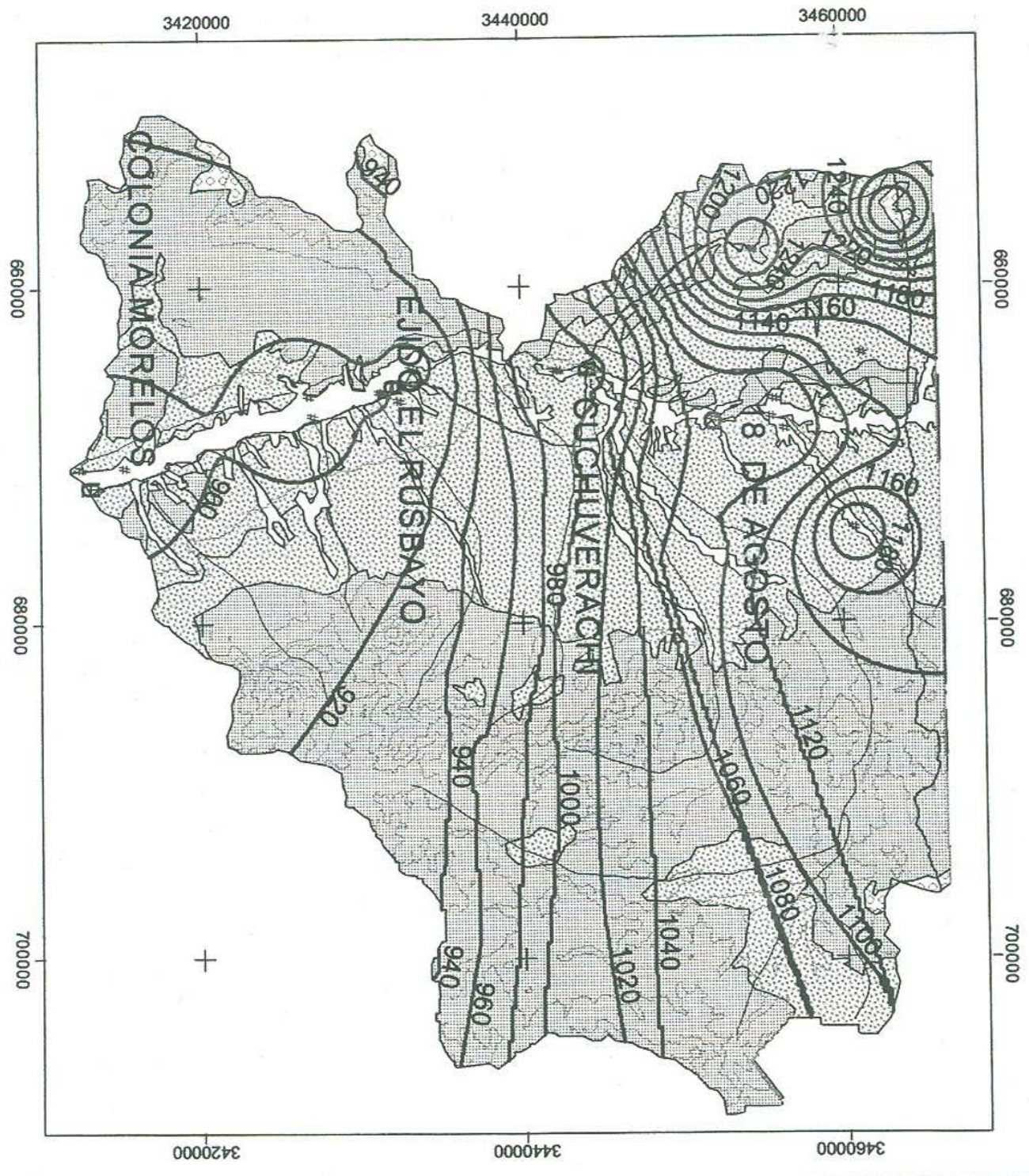
LEYENDA

- ⊕ Poblados
- # Levantamiento Piezométrico
- Carretera
- ~ Valores de Isocurvas
- ~ Topografía
- ~ Corrientes
- Zona Acuífera
- Unidades Hidrogeológicas
 - Material consolidado, posibilidad baja
 - Material no consolidado, posibilidad alta
 - Material no consolidado, posibilidad media
 - Material no consolidado, posibilidades baja



Figura 102.-Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Río Agua Prieta

Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Río Batepito



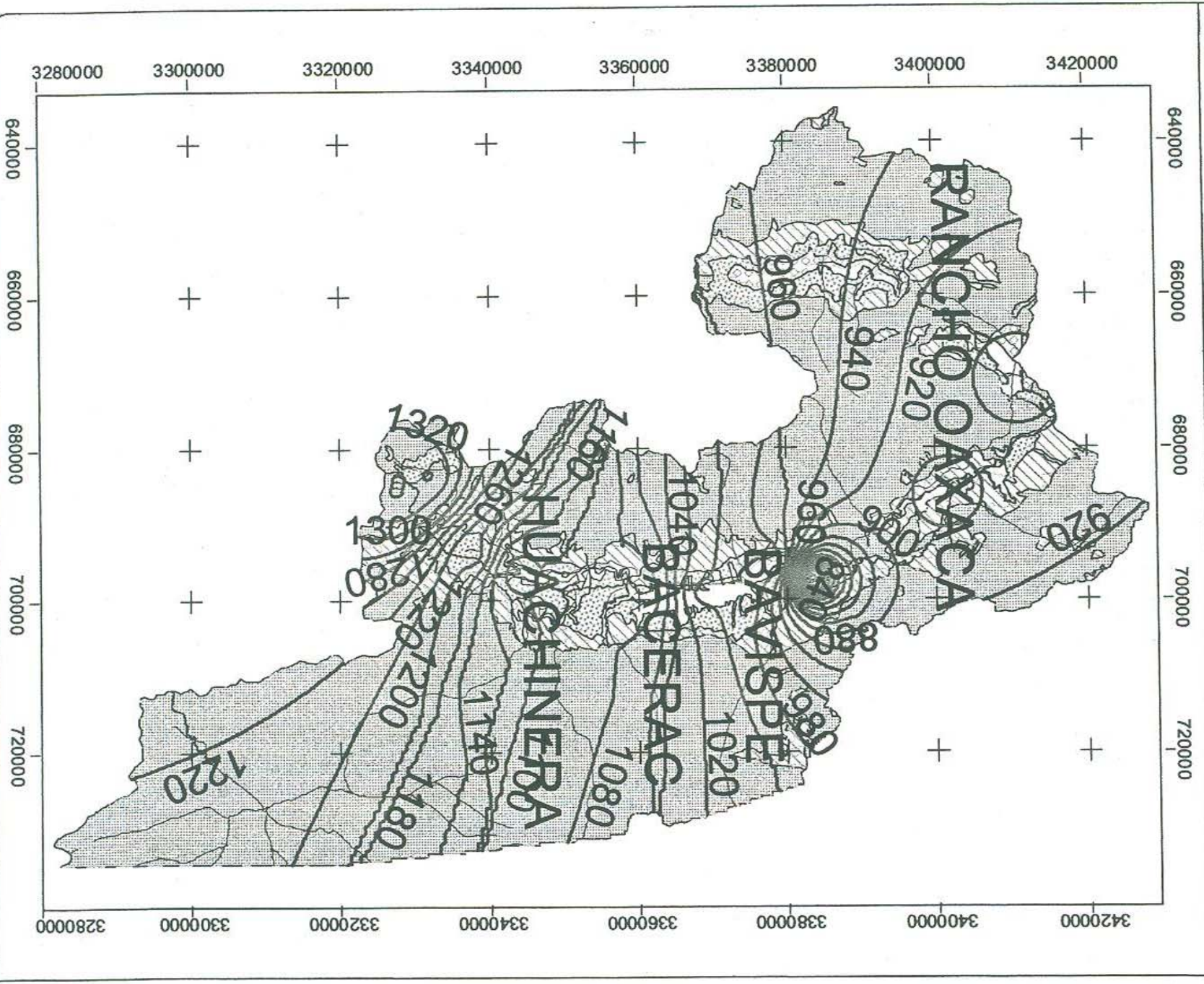
LEYENDA

- ⌘ Poblados
 - # Levantamiento Piezométrico
 - Carretera
 - ∩ Valores de Isocurvas
 - ~ Topografía
 - ~ Corrientes
 - Zona Acuífera
- Unidades Hidrogeológicas
- ▨ Material consolidado, posibilidad baja
 - ▤ Material no consolidado, posibilidad alta
 - ▥ Material no consolidado, posibilidad media
 - ▧ Material no consolidado, posibilidades baja



Figura 103.-Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Río Batepito.

Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Bavisppe Bajo



LEYENDA

- ⊕ Poblados
 - # Levantamiento Piezométrico
 - Carretera
 - ~ Valores de Isocurvas
 - ~ Topografía
 - ~ Corrientes
 - Zona Acuífera
- Unidades Hidrogeológicas
- Material consolidado, posibilidad baja
 - Material no consolidado, posibilidad alta
 - Material no consolidado, posibilidad media
 - Material no consolidado, posibilidades baja

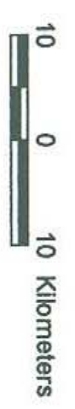
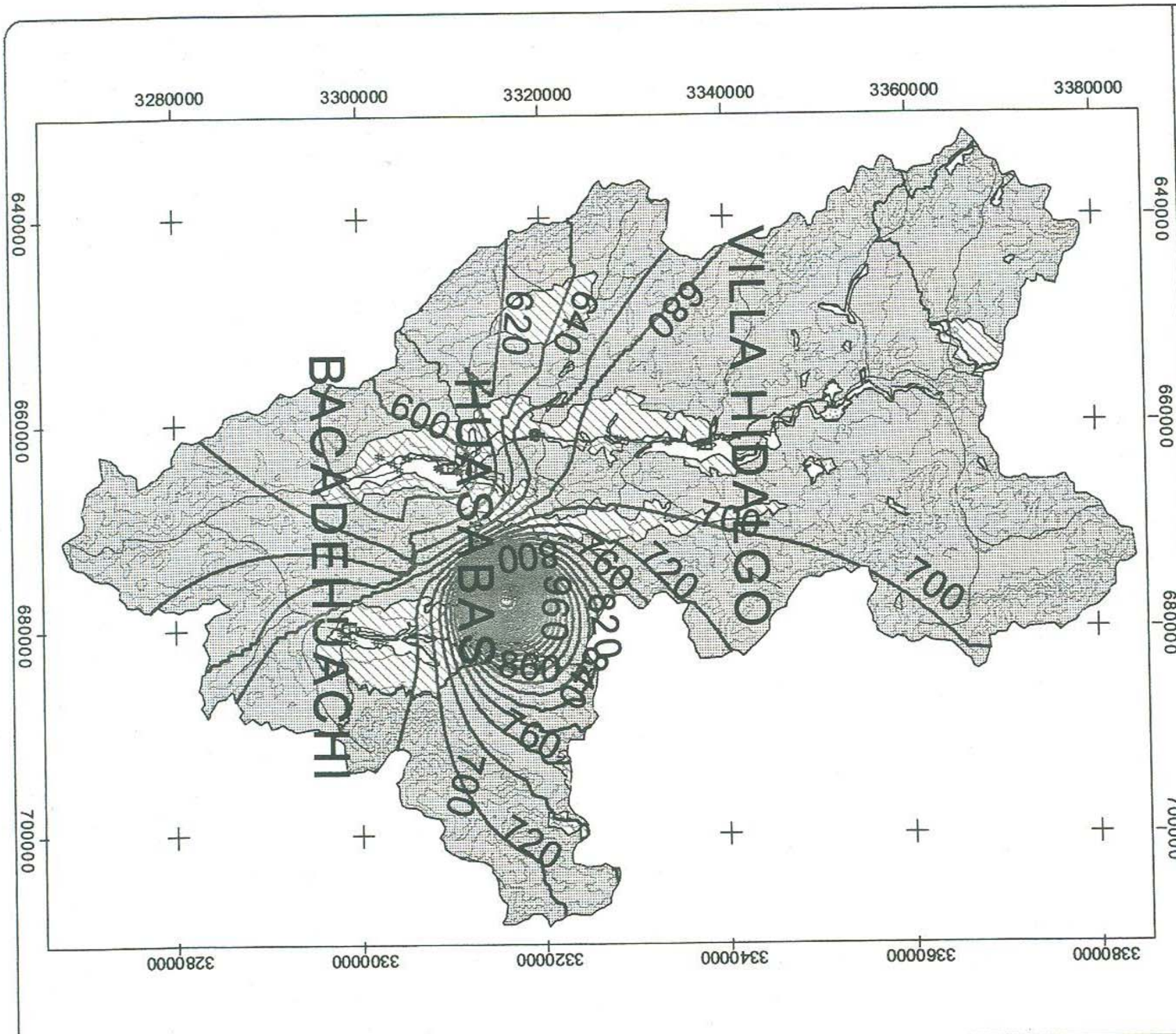


Figura 104.-Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Río Bavisppe Bajo

Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Río Bavispe- P. La Angostura



LEYENDA



- ⊖ Poblados
- # Levantamiento Piezométrico
- ▬ Carretera
- ▭ Valores de Isocurvas
- ▭ Topografía
- ▭ Corrientes
- ▭ Zona Acuífera

Unidades Hidrogeológicas

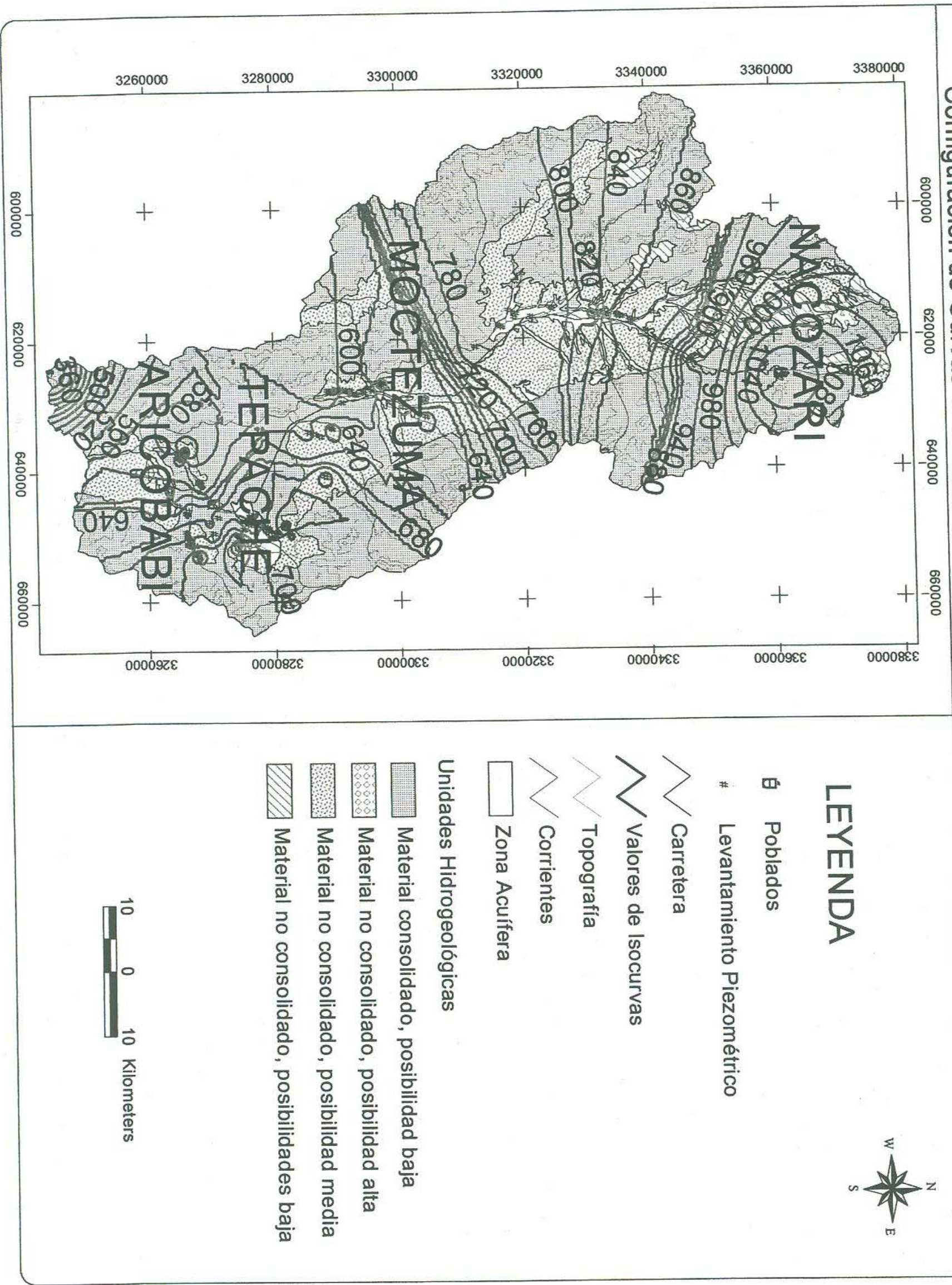
- ▭ Material consolidado, posibilidad baja
- ▭ Material no consolidado, posibilidad alta
- ▭ Material no consolidado, posibilidad media
- ▭ Material no consolidado, posibilidades baja



T. 1253

Figura 105.-Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Río Bavispe-P. La Angostura

Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Río Moctezuma



LEYENDA

- 🏠 Poblados
 - # Levantamiento Piezométrico
 - ↔ Carretera
 - ⌵ Valores de Isocurvas
 - ⌵ Topografía
 - ⌵ Corrientes
 - Zona Acuífera
- Unidades Hidrogeológicas
- ▨ Material consolidado, posibilidad baja
 - ▨ Material no consolidado, posibilidad alta
 - ▨ Material no consolidado, posibilidad media
 - ▨ Material no consolidado, posibilidades baja



Figura 106.-Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Río Moctezuma

Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Río Papigóchic

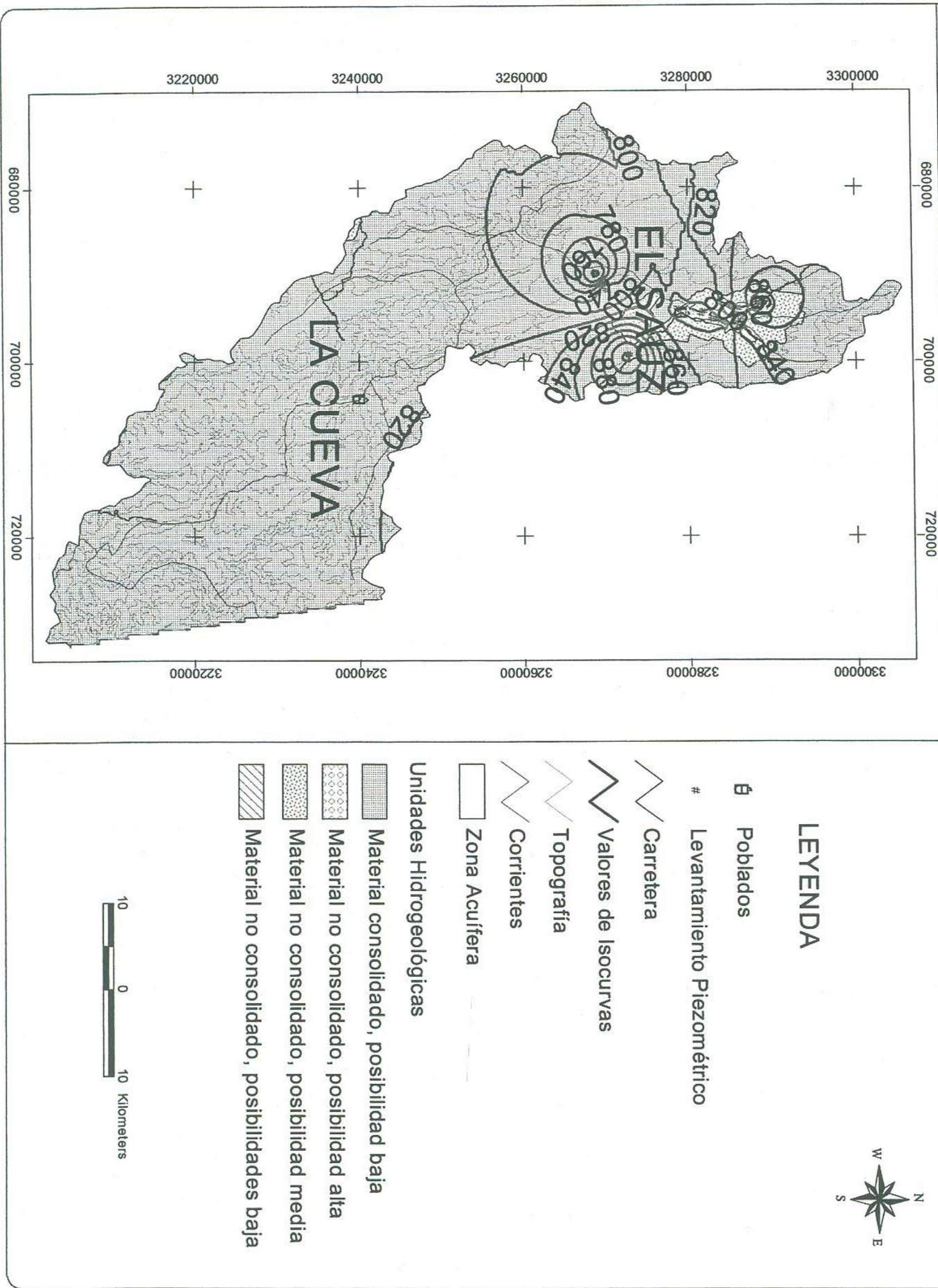


Figura 107.-Configuración de Curvas de Elevación del Nivel Estático en la Subcuenca Río Papigóchic

5.5 Tipo de Acuíferos

Tomando como base la información geológica regional recopilada, así como la información recabada durante el censo de aprovechamientos, se puede establecer que dentro de la zona de estudio se determinaron dos tipos de acuíferos:

(a) Un acuífero superior granular de tipo libre y; (b) Un acuífero inferior en roca que puede comportarse en ocasiones como libre o como semiconfinado.

Los acuíferos granulares están constituidos por materiales no consolidados:

- Formada por aluvión de edad reciente, generalmente localizados en los valles y cauces principales, en donde el nivel freático está cercano a la superficie, y el rendimiento específico es mayor que en los otros materiales. Generalmente, y en sentido vertical, sus espesores no rebasan los 30 metros en la porción de acuífero de la región sonoreense. Lateralmente este varía desde el centro hasta los límites de los valles, en donde el relleno presenta acuíferos siguiendo la geomorfología y la pendiente de las rocas basales. Su extensión lateral puede ser de grandes dimensiones, dependiendo de la geometría del cauce o del valle en donde han sido depositados, pero sus espesores se mantendrán reducidos.

Los acuíferos en roca están constituidos por materiales consolidados que conforman la zona montañosa. Presentan características no favorables para conformar acuíferos, debido a que la gran mayoría de los cuerpos rocosos son impermeables o de baja a baja-media permeabilidad; sin embargo, el fracturamiento intenso de poca profundidad que predomina en las sierras altas, no llega a estar integrado en basalto, tobas y derrames riolíticos, dando lugar a un reducido grado de infiltración que se manifiesta por pequeños manantiales, que algunos desaparecen en el periodo de estiaje.

Dadas las características morfológicas y estructurales, las posibilidades de contener agua se restringen, pero debido a que cada vez es mayor la localización de acuíferos en roca, no se descarta la posibilidad de que estas funcionen como una zona de descarga, principalmente cuando están en contacto con material aluvial.

5.6 Modelo Conceptual Hidrogeológico

En el área de la Cuenca alta del Río Yaqui, la recarga de agua a los acuíferos proviene principalmente de la infiltración del agua precipitada, y de escurrimientos superficiales, principalmente del Noroeste, siendo el elemento principal el Río Bavispe y como tributarios los Ríos Agua Prieta y Fronteras; todas estas aportaciones superficiales son descargadas en la Presa Lázaro Cardenas

El aporte más importante de agua se genera en las zonas topográficamente más elevadas localizadas en la parte este del área, en donde afloran materiales volcánicos como andesitas y basaltos fracturados, y en las zonas bajas en donde afloran los materiales aluviales y rocas volcanoclásticas, debido a su alto grado de permeabilidad ya sea primaria o secundaria y su amplia distribución espacial constituyen un potencial de gran importancia para la región.

El agua que precipita durante el periodo de lluvias sobre las rocas metasedimentarias, granodioritas y riolitas, genera un escurrimiento superficial muy importante debido a la baja

permeabilidad de los materiales, provocando que el agua fluya hasta las zonas bajas en donde parte de ella se infiltra en los materiales aluviales, y en donde afloran las rocas volcanosedimentarias y volcánicas, aportando agua al acuífero, sin embargo durante el escurrimiento se tienen grandes pérdida por evaporación.

El agua infiltrada en las partes altas o zonas de recarga, fluye a través del acuífero en dirección NW – SE hacia las zonas bajas, es decir, en los valles y cauces principales, en donde afloran los materiales vulcanosedimentarios y aluviales. Estas zonas son las que representan el área de descarga del acuífero, y donde se tienen pérdidas por evaporación directa del agua de los ríos, y por evapotranspiración de la vegetación existente sobre sus márgenes.

En este caso, las pérdidas por la acción directa del hombre son mínimas, ya que el principal tipo de captaciones distribuidas en el área son norias, en donde los volúmenes de extracción son escasos y no afectan el funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos.

6.- ZONAS FACTIBLES PARA LA PROSPECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Subcuenca Río Agua Prieta

En esta subcuenca se determinaron dos zonas potenciales para exploración hidrogeológica, en base a la geología, litoestratigrafía, estructuras y lineamientos.

Zona 1.- Se encuentra localizada en la porción central del área, dentro de esa zona están aflorando una asociación de Riolitas y Tobas ácidas del Oligoceno, asociación de lutitas y areniscas del Cretácico superior, conglomerado del Mioceno y aluvión del Cuaternario. Las rocas antes mencionadas son clasificadas en unidades hidroestratigráficas de material consolidado con posibilidades bajas excepto el aluvión que se clasifica en material no consolidado con posibilidades altas. (Figura 108)

Zona 2.- Se encuentra localizada en la porción suroeste del área, dentro de esta zona afloran calizas del Paleozoico y asociación de areniscas y Tobas ácidas del Cretácico superior. A estas rocas son clasificadas en unidades hidroestratigráficas como material consolidado con posibilidades bajas. (Figura 109)

Subcuenca Río Batepito

La zona de exploración se determino en base a la litología, geología y a las estructuras y lineamientos, la cual se localiza en la porción suroeste del área. Dentro de esta zona aflora una asociación de lutitas y areniscas del mesozoico, basaltos del Cenozoico, conglomerado del Cenozoico y aluviones del Cuaternario. Se clasificaron tres unidades hidroestratigráficas, Material no consolidado con posibilidades altas para el aluvión, Material no consolidado con posibilidades media para el conglomerado y Material consolidado con posibilidades bajas para la toba ácida, asociación de areniscas con tobas ácidas y Calizas del Paleozoico. (Figura 110)

Subcuenca Río Bavispe Bajo

La zona de exploración se encuentra localizada en la porción noroeste, dentro de esta aflora en gran parte Riolitas y Tobas riolíticas, basaltos en la porción norte central de la zona y conglomerados en la porción sureste en menor área. Se clasificaron dos unidades hidroestratigráficas, Material consolidado con posibilidades bajas para la asociación de riolitas y tobas riolíticas, y Material no consolidado con posibilidad media a baja para el conglomerado. Esta zona se clasifico por la gran cantidad de estructuras y lineamientos que ahí se presentan. (Figura 111)

Subcuenca Río Bavispe- Presa La Angostura

Esta zona se localiza en la porción noroeste de esta subcuenca, dentro de esta zona afloran Andesitas, Toba Riolitica-Ignimbrita, asociación Conglomerado-Arenisca y Basaltos. A las rocas antes mencionadas se clasifican en unidades hidroestratigráficas Material consolidado con posibilidades bajas. Esta zona se clasifico en base a la geología, litoestratigrafía y principalmente a la gran cantidad de estructuras y lineamientos presentes en esta zona. (Figura 112)

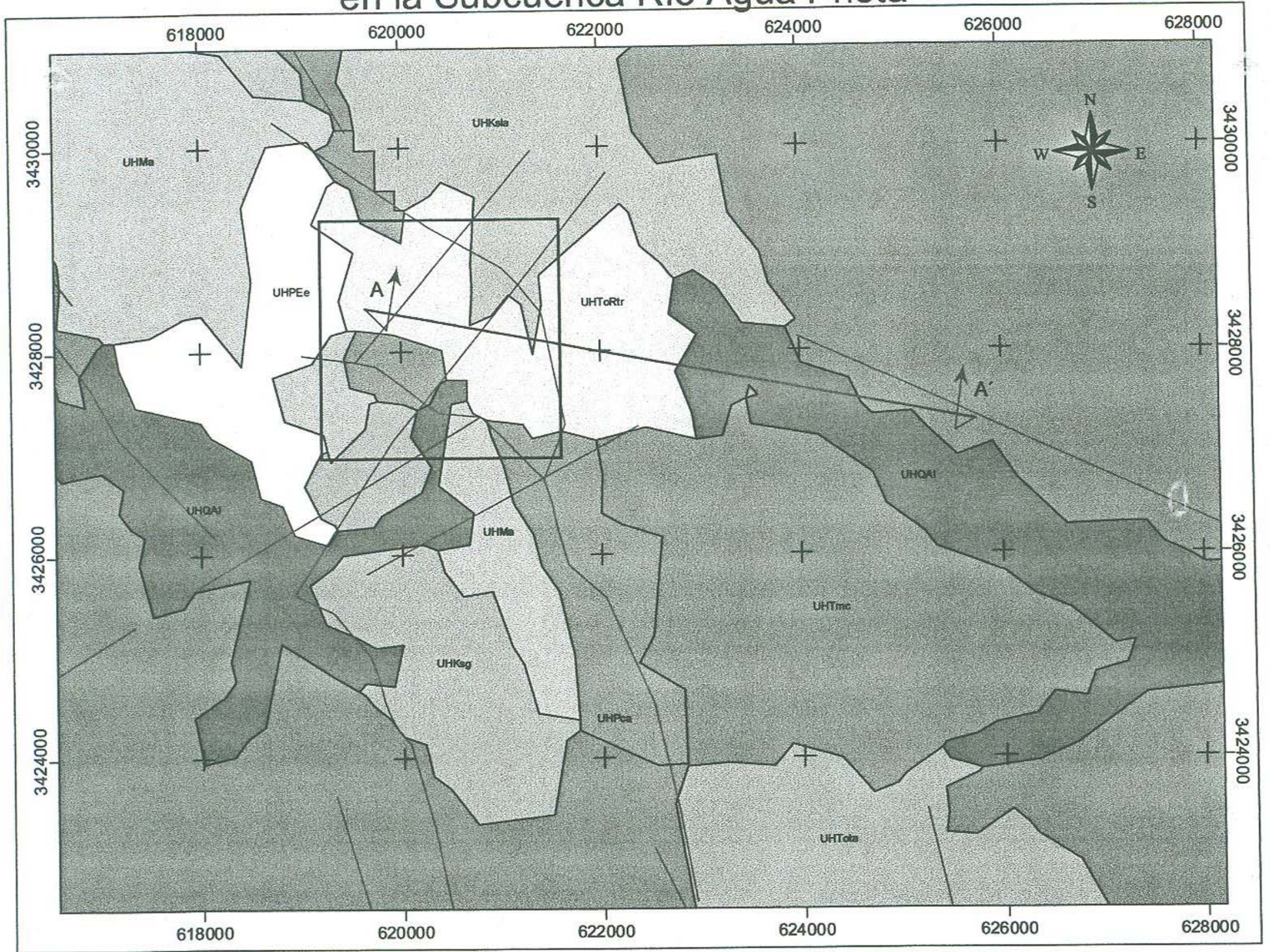
Subcuenca Río Moctezuma

Esta zona se localiza en la porción Noreste de esta Subcuenca, en la zona de exploración afloran principalmente andesitas y una asociación de Riolitas y Tobas riolíticas. Las rocas antes mencionadas se clasifican en unidades hidroestratigráficas, Material consolidado con posibilidades bajas.(Figura 113)

Subcuenca Río Papigóchic

La zona de exploración se localiza en la porción noroeste. Dentro de esta zona afloran Tobas andesíticas y una asociación de Riolita y Toba ácida. Estos tipos de roca se clasifican en unidades hidroestratigráficas, Material no consolidado con posibilidades bajas. Se ubico en esta área debido a que donde se interceptan los escurrimientos provenientes de la zona de recarga son Tobas andesíticas, ya que presentan características capaces de transmitir fluidos. (Figura 114)

Zona potencial para exploración hidrogeológica en busca de acuíferos en la Subcuenca Río Agua Prieta



LEYENDA

- Estructuras y Lineamientos
 - Zona potencial
 - Sección A-A'
 - Pozos propuestos
- UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS**
- Aluvión del Cuaternario
 - Conglomerado del mioceno
 - Toba ácida del oligoceno
 - Asociación riolita-toba ácida de oligoceno
 - Granito del cretácico superior
 - Asociación Lutita -Arenisca del cretácico superior
 - Arenisca del mesozoico
 - Caliza del paleozoico
 - Esquisto del precámbrico

UNIDADES HIDROESTRATIGRAFICAS

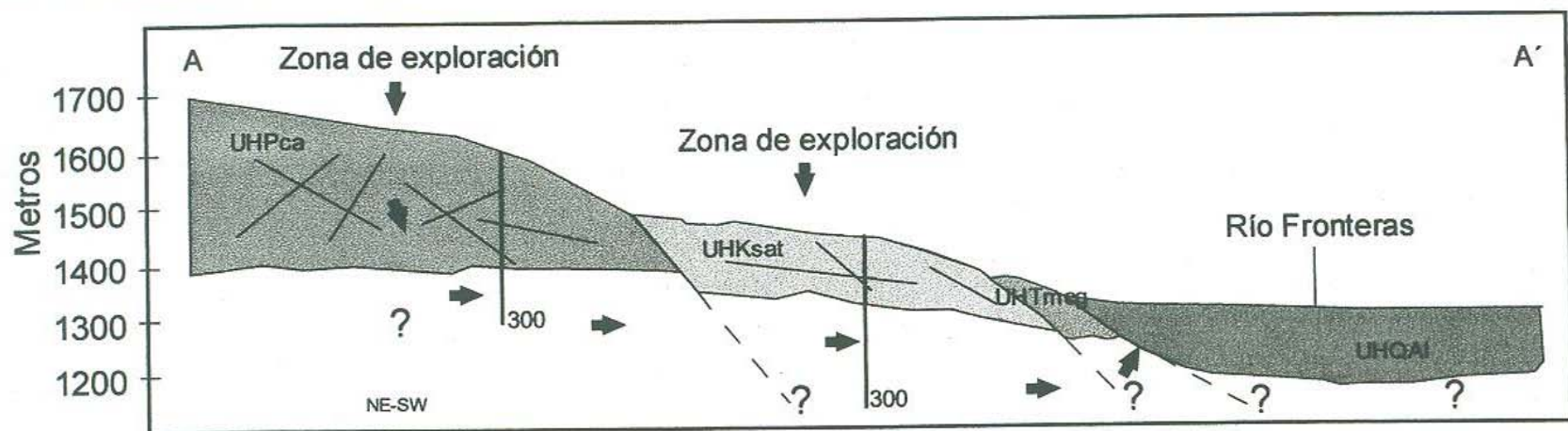
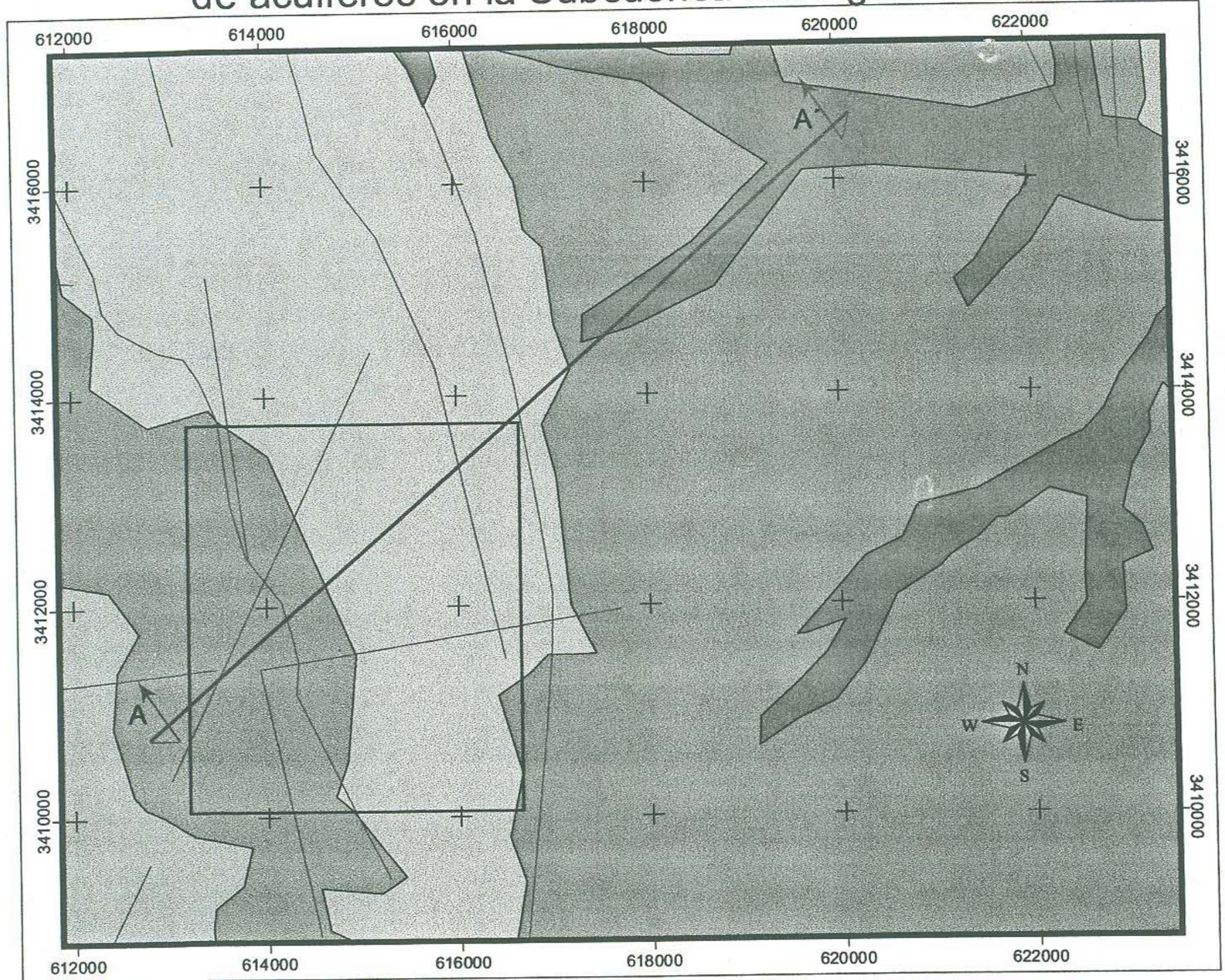
- Material no consolidado con posibilidades altas UHQAI
- Material no consolidado con posibilidad media UHTmc
- Material consolidado con posibilidad baja UHTota
- UHTOrta
- UHKsg
- UHKsla
- UHMa
- UHPca
- UHPEe

1 0 1 Kilómetros

* Clave de unidad modificada de INEGI

Figura 108.-Zona factible (1) para exploración hidrogeológica en la Subcuenca Río Agua Prieta.

Zona potencial para exploración hidrogeológica en busca de acuíferos en la Subcuenca Río Agua Prieta



LEYENDA

Estructuras y Lineamientos	
Zona potencial	
Sección A - A'	
Pozos propuestos	
UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	
Aluvión del Cuaternario	
Conglomerado del Mioceno	
Toba ácida del Oligoceno	
Asociación Arenisca - Toba ácida del Cretácico superior	
Caliza del Paleozoico (d-p)	

UNIDADES HIDROESTRATIGRAFICAS

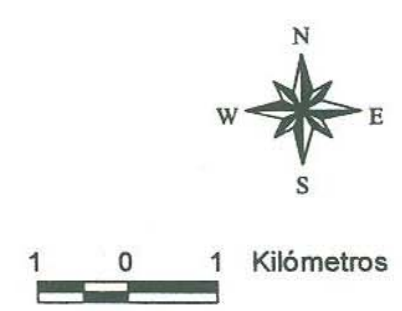
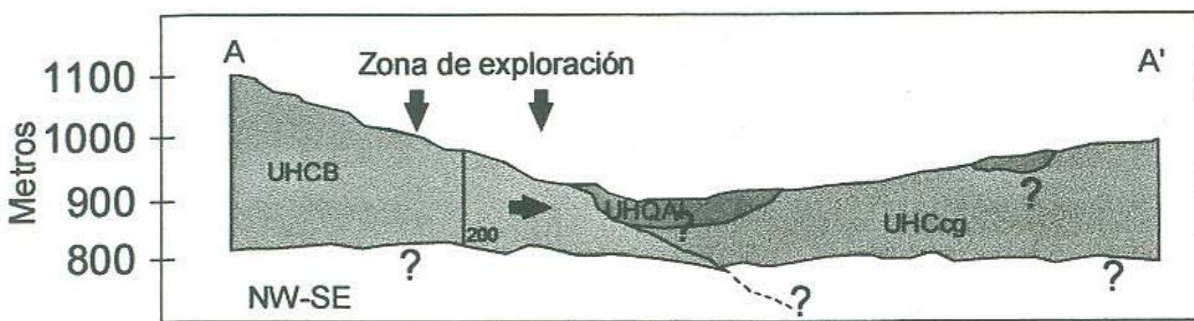
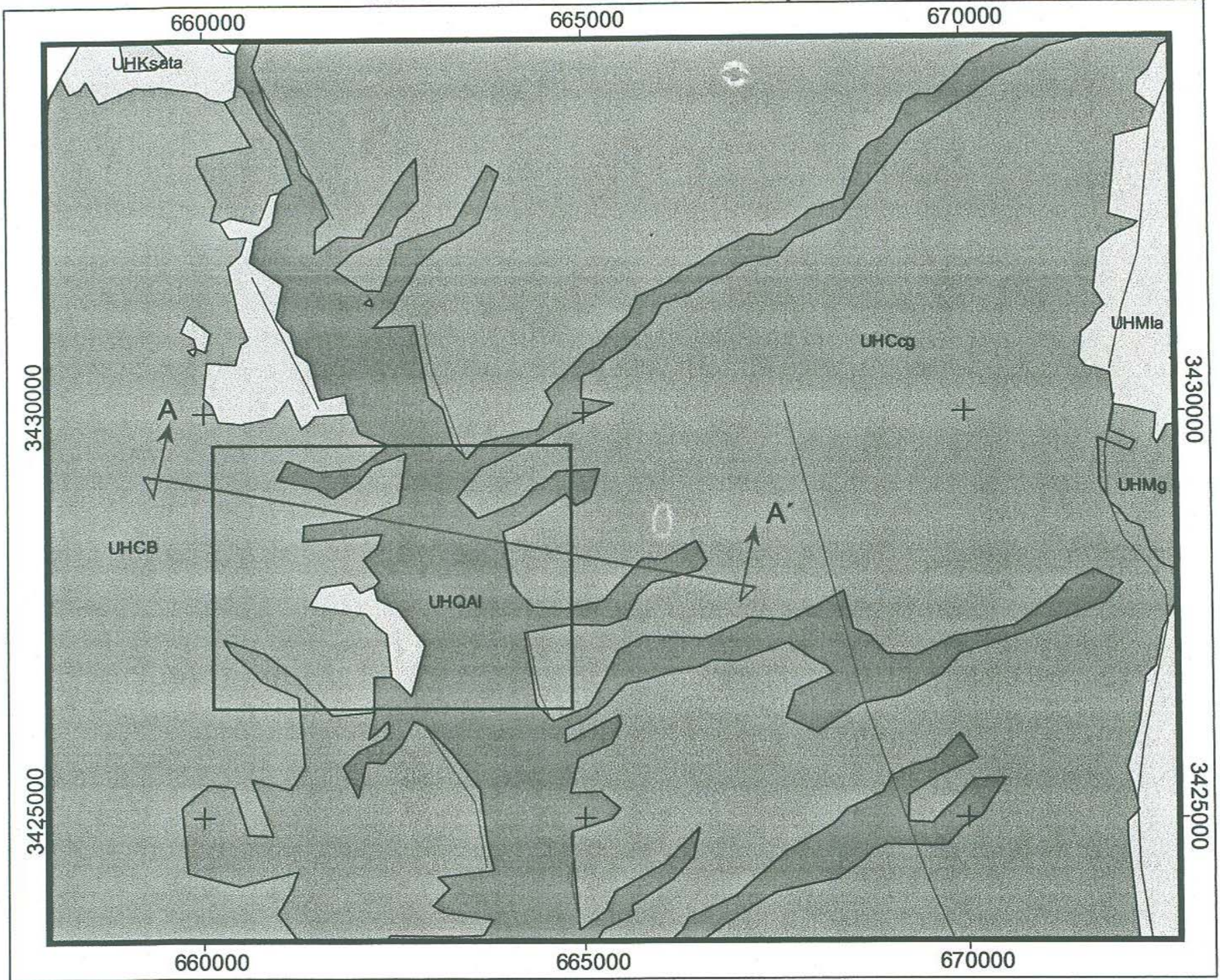
Material no consolidado, posibilidades altas. restringido en áreas	UHQAI
Material no consolidado con posibilidades medias	UHTmca
Material consolidado con posibilidades bajas	UHTota
	UHKsat
	UHPca

1 0 1 Kilómetros

* Clave de unidad modificada de INEGI

Figura 109.-Zona factible (2) para exploración hidrogeológica en la Subcuenca Río Agua Prieta.

Zona potencial para exploración hidrogeológica en busca de acuíferos en la Subcuenca Río Batepito



LEYENDA

Estructuras y Lineamientos	
Sección A - A'	
Zona potencial	
Pozos propuestos	

UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS

Aluvión del Cuaternario	
Conglomerado del Cenozoico	
Basalto del Cenozoico	
Asociación Lutita -Arenisca del mesozoico	
Granito del mesozoico	
Asociación Arenisca - Toba ácida del cretácico superior	

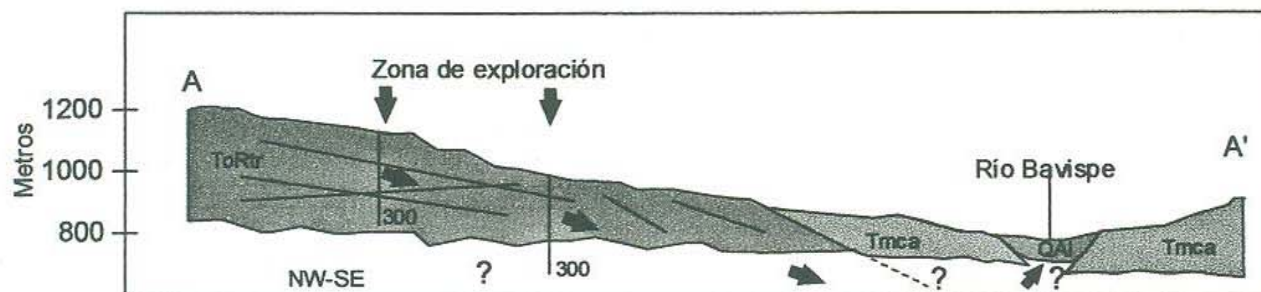
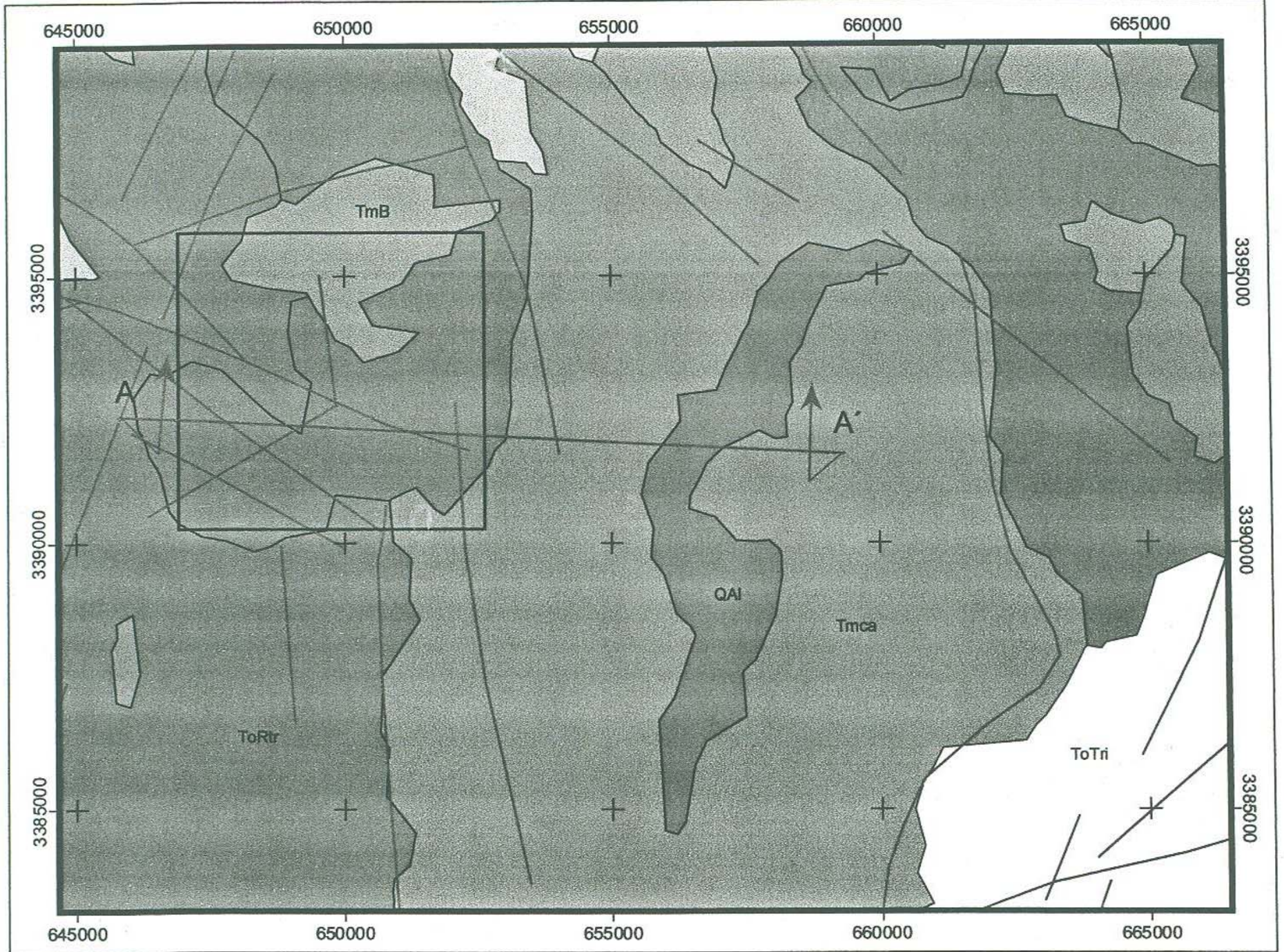
UNIDADES HIDROESTRATIGRAFICAS

Material no consolidado, posibilidades altas	UHQAI
Material no consolidado, posibilidades medias	UHCcg
Material consolidado, posibilidad baja	UHMa
	UHCB
	UHMg
	UHKsata

* Clave de unidad modificada de INEGI

Figura 110. Zona factible para exploración hidrogeológica en la Subcuenca Río Batepito.

Zona potencial para exploración hidrogeológica en busca de acuíferos en la Subcuenca Río Bavispe Bajo



LEYENDA

- Estructuras y Lineamientos —
- Zona potencial □
- Sección A - A' —
- Pozos propuestos +

UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS

- Aluvión del Cuaternario ■
- Toba riolítica-Ignimbrita del Oligoceno ■
- Riolitas-Tobas riolíticas Oligoceno ■
- Conglomerado-Arenisca del Mioceno ■
- Basalto del Mioceo ■
- Arenisca-Conglomerado del Cretácico Superior ■

UNIDADES HIDROESTRATIGRAFICAS

- Material no consolidado, posibilidades altas — QAI
- Material no consolidado, posibilidades medias a bajas — TmB
- Material consolidado, posibilidades bajas — ToTri
- ToRtr
- Tmca
- Ksac

1 0 1 Kilómetros

* Clave de unidad modificada de INEGI

Figura 111. Zona factible para exploración hidrogeológica en la Subcuenca Río Bavispe Bajo.

Zona potencial para exploración hidrogeológica en busca de Acuíferos en la Subcuenca Río Bavispe-P. La Angostura

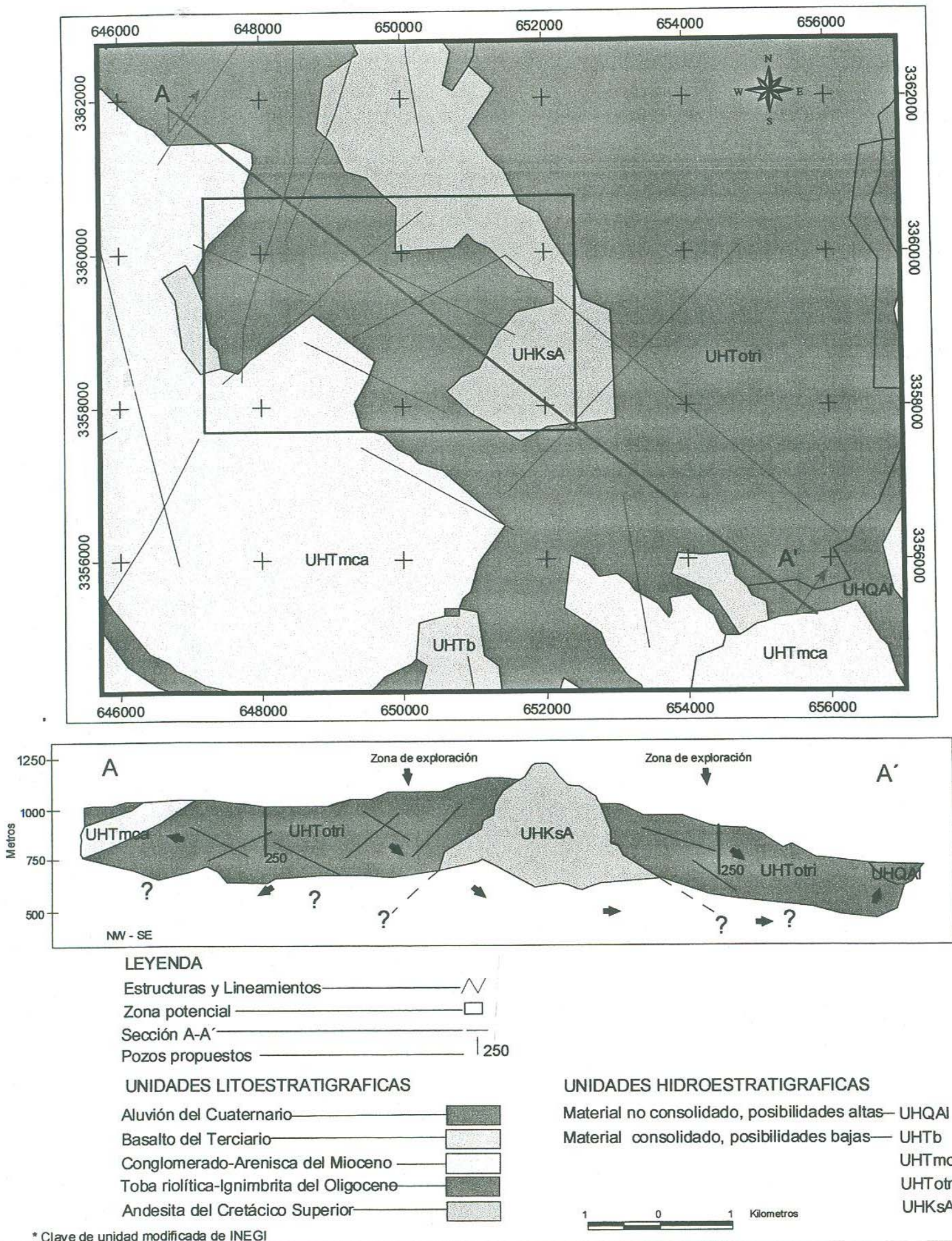
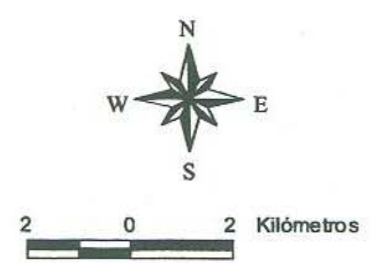
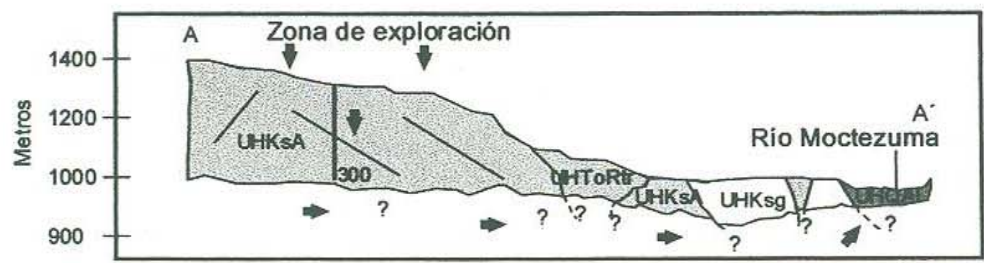
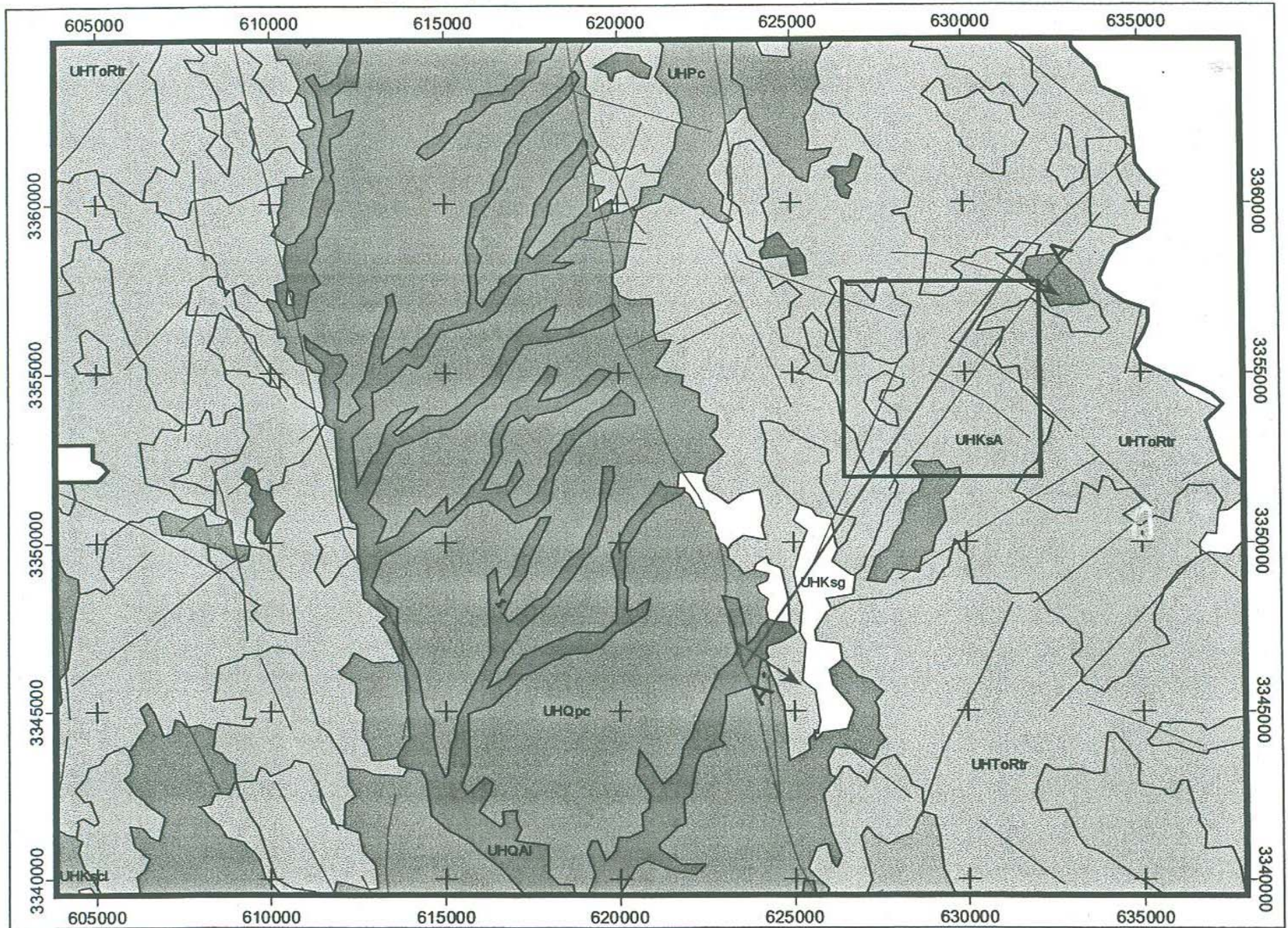


Figura 112. Zona factible para exploración hidrogeológica en la Subcuenca Río Bavispe- P. La Angostura.

Zona potencial para exploración hidrogeológica en busca de acuíferos en la subcuenca Río Moctezuma



LEYENDA

- Estructuras y Lineamientos
- Zona potencial
- Sección A - A'
- Pozos propuestos

UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS

- Aluvión del Cuaternario
- Conglomerado del Pleistoceno
- Riolita-Toba riolítica del Oligoceno
- Andesita del Cretácico Superior
- Granito-Granodiorita del Cretácico Superior
- Caliza-Lutita del Cretácico superior
- Caliza del Paleozoico

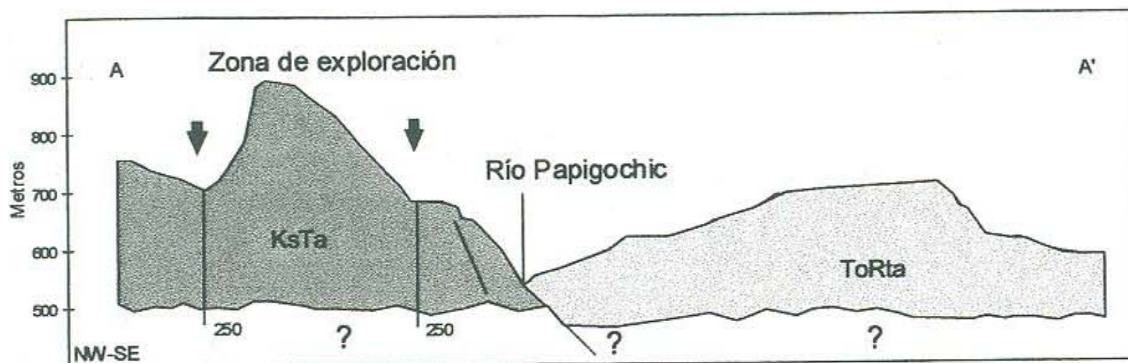
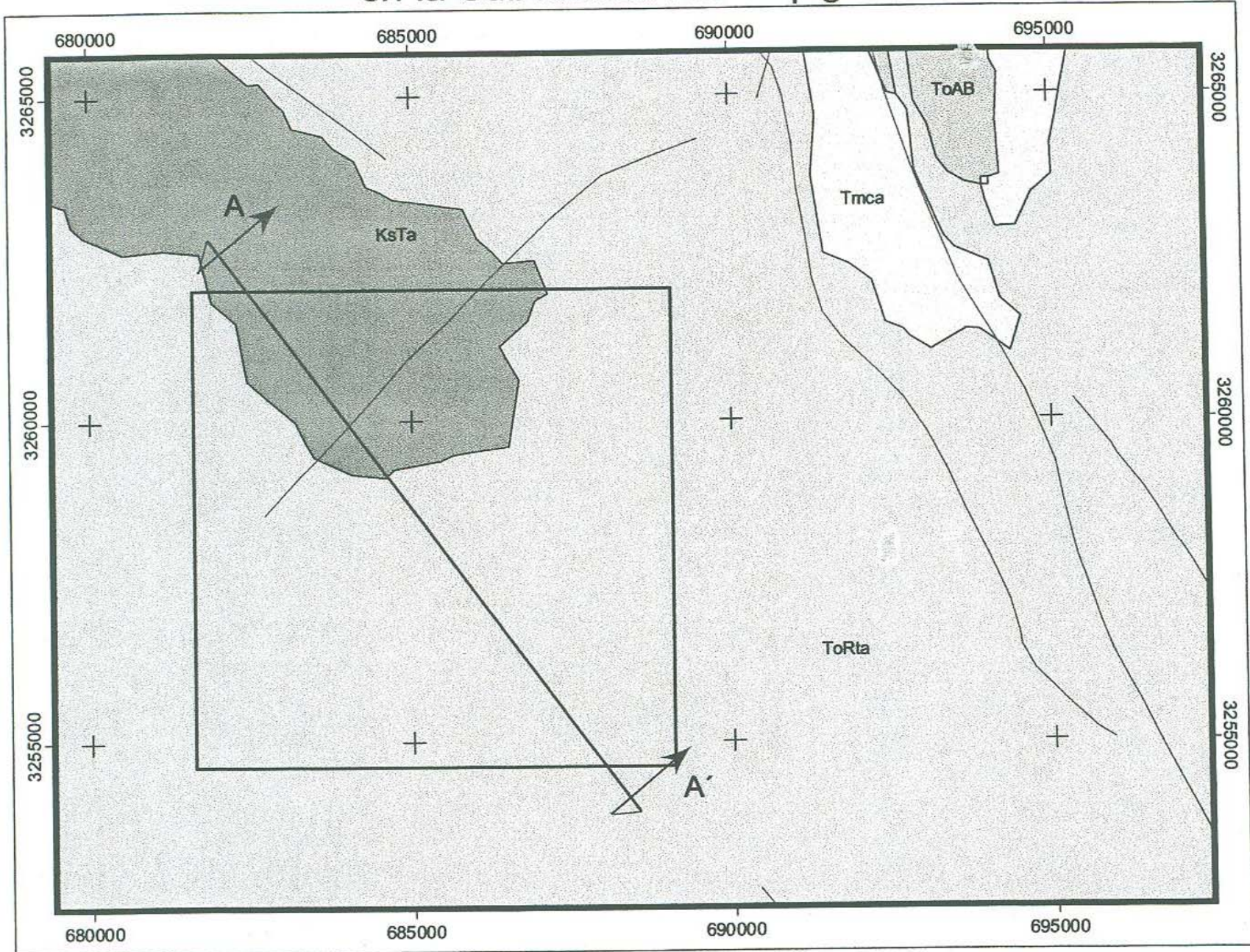
UNIDADES HIDROESTRATIGRAFICAS

- Material no consolidado, posibilidades altas — UHQAI
- Material no consolidado, posibilidad media a baja — UHQpc
- Material consolidado, posibilidades bajas — UHToRtr
- UHKsA
- UHKsg
- UHKscl
- UHPc

* Clave de unidad modificada de INEGI

Figura 113. Zona factible para exploración hidrogeológica en la Subcuenca Río Moctezuma.

Zona potencial para exploración hidrogeológica en busca de acuíferos en la Subcuenca Río Papigochic



LEYENDA

- Zona potencial
- Estructuras y Lineamientos
- Sección A - A'
- Pozos propuestos 250

UNIDADES LITOESTATIGRAFICAS

- Conglomerado-Arenisca del Mioceno
- Asociación Riolita-Toba ácida del Oligoceno
- Andesita-basáltica del Oligoceno
- Toba andesítica del Cretácico Superior

UNIDADES LITOESTATIGRAFICAS

- Material consolidado, posibilidades bajas Tmca
- ToRta
- ToAB
- KsTa

* Clave de unidad modificada de INEGI

Figura 114. Zona factible para exploración hidrogeológica en la Subcuenca Río Papigochic.

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El clima de la región de estudio varía del seco, semiseco y subhúmedo, con sus variantes de tipo cálido, semicálido, templado, y en algunos casos semifrío, específicamente para el subhúmedo con humedad media y alta.

La precipitación media total anual calculada en función de los datos de las estaciones, es de 428.5 mm. La máxima se calculó en la Estación Nacozari con 540.6 mm y una mínima total de 331 mm en la Estación Naco.

La evapotranspiración real (ETR) fue calculada con el método de Turc, para cada una de las estaciones consideradas. La estación Naco presenta una evapotranspiración real media anual mínima de 324.4 mm. La media máxima anual se calculó en la Estación Nacozari con un total de 494.55 mm, y una media anual total de 409.19 mm. La evapotranspiración real obtenida representa el 95 % de la precipitación.

El escurrimiento medio anual en el período de 1959 a 2002 es de 2,873.5 millones de m³ anuales, con un gasto máximo observado de 4,566 m³/s en el mes de enero de 1960 y un gasto mínimo de 0.0 m³/s en diferentes fechas.

El análisis hidromorfotectónico como la correlación de la dirección de alineamientos estructurales resultantes del esquema tectónico de la región, contra las marcas de drenaje, son útiles para identificar las zonas de recarga y descarga. Los alineamientos principales de estructuras de ríos y arroyos tienen una tendencia NW SE esto es, perpendiculares a la dirección preferencial de las estructuras citadas, lo que se interpreta como un posible sistema resultante.

Con base en el censo de aprovechamientos UNISON, 2004), se puede establecer que dentro de la zona de estudio existen dos tipos de acuíferos:

(a) Un acuífero superior granular de tipo libre y; (b) Un acuífero inferior en roca que puede comportarse en ocasiones como libre o como semiconfinado. Esta disposición acuífera ha permitido explotar principalmente a los acuíferos en materiales detríticos que rellenan los valles intermontanos. Estos son angostos y de poco espesor, forman parte de los bancos aluviales que componen una estrecha franja discontinua a lo largo del Río Yaqui, por lo que sus rendimientos son bajos, de corto plazo y dependen hidráulicamente del subálveo del río. Su recarga procede de los escurrimientos producidos por la lluvia, por lo que sus niveles freáticos dependen estacionalmente de la temporada de lluvias. Esta condición impone un régimen de escasez cuando se prolonga la sequía, como se observó en el periodo previo de 9 años.

Con base en lo anterior y la geología, litoestratigrafía estructuras y lineamientos se determinaron zonas potenciales para exploración hidrogeológica. Estas zonas se recomiendan como áreas donde se pueden realizar exploración directa en busca de acuíferos en rocas fisuradas. Estas zonas muestran en el contexto general del estudio, posibles áreas acuíferas donde el flujo subterráneo se considera puede ser de carácter regional y semiregional capaz de sostener una extracción de largo plazo que sustituya o brinde mayor certidumbre a las poblaciones de la sierra alta, dentro de la cuenca del Río Yaqui.

En la subcuenca Aguaprieta el patrón de alineamientos presenta un buzamiento general hacia el SE, concentrando hacia la que resulta ser una de las zonas con mejores posibilidades hidrogeológicas para alumbrar agua subterránea, ya que parte del flujo subterráneo que fluye a través de estructuras y de los planos de pseudo estratificación rumbo a la presa.

En la Subcuenca Río Batepito la zona de exploración se localiza en la porción suroeste del área, aflora una asociación de lutitas y areniscas del mesozoico, basaltos del Cenozoico, conglomerado del Cenozoico y aluviones del Cuaternario. Se clasificaron tres unidades hidroestratigráficas, Material no consolidado con posibilidades altas para el aluvión, Material no consolidado con posibilidades media para el conglomerado y Material consolidado con posibilidades bajas para la toba ácida, asociación de areniscas con tobas ácidas y Calizas del Paleozoico

En la Subcuenca Bavispe Bajo la zona recomendada se encuentra localizada en la porción noroeste, dentro de esta aflora en gran parte Riolitas y Tobas riolíticas, así como basaltos en la porción norte central de la zona.

En la Subcuenca Río Bavispe- Presa La Angostura se recomienda la porción noroeste de esta subcuenca, donde afloran Andesitas, Toba Riolítica-Ignimbrita, asociación Conglomerado-Arenisca y Basaltos.

En la Subcuenca Río Moctezuma, el área recomendada se localiza en la porción Noreste de la Subcuenca, en la zona de exploración afloran principalmente andesitas y una asociación de Riolitas y Tobas riolíticas.

En la Subcuenca Río Papigóchic, el área de exploración se localiza en la porción noroeste. Dentro de esta zona afloran Tobas andesíticas y una asociación de Riolita y Toba ácida.

8.- REFERENCIAS CITADAS

- BELTRÁN RAMÍREZ, J.D. (1994) Modelo geológico estratigráfico del delta del Río Yaqui, Municipio de Cájeme, Sonora, México. Tesis, Div. Cienc. Exact. Nat.; Maestría en Ciencias—Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Son., 87 pp.
- CÁRDENAS VARGAS, J., CENDEJAS CRUZ, F., RIVAS AYALA, M., CARRASCO CENTENO, M.L., et al. (1992, eds.) Monografía geológico—minera del Estado de Sonora. Consejo de Recursos Minerales, Publ. M-8e, 220 pp., 3 pls.
- CÁRDENAS VARGAS, J., DURÁN MIRAMONTES, H., LÓPEZ ÁVILA, J., RIVAS AYALA, M., et al. (1994, eds.) Monografía geológico—minera del Estado de Chihuahua. Consejo de Recursos Minerales, Publ. M-14e, 298 pp., 3 pls.
- Castillo G.J., M.A. Ríos R.A. Gutiérrez, 1999. La sobreexplotación de los acuíferos en Sonora. Memorias del III Seminario sobre Acuíferos Costeros de Sonora. Hermosillo, Sonora, México.
- CLARK, K.F. (1976) Geologic section across Sierra Madre Occidental, Chihuahua to Topolobampo. New Mex. Geol. Soc. Spec. Publ. 6, 26-38/9.
- COBRE DEL MAYO, S.A. DE C.V. (Dic. 8, 1994) Informe preventivo de protección al ambiente en materia de impacto ambiental. Fuente desconocida, 17 pp.
- Comisión Nacional del Agua. 1995. Programa Estatal Hidráulico. Gerencia Estatal en Sonora.. Hermosillo, Sonora. México.
- Comisión Nacional del Agua, 1998. Muestreo de Aguas Subterráneas, con énfasis en el Análisis de compuestos Orgánicos Volátiles y Metales Traza. México, D.F.
- Comisión Nacional del Agua, 1999. Guía de Muestreo de Aguas Subterráneas y el Manual de Equipamiento de Pozos de Monitoreo. México, D.F.
- CONSEJO DE RECURSOS MINERALES, ed. (2000) Monografía Geológico—Minera del Estado de Sonora. Consejo de Recursos Minerales, Secret. Energ. Min. Indust. Paraest., Subsecret. Min. Indust. Básica, Pachuca, México, 159 pp. +
- Chavez G. R.. 1986. Geohidrología. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Davies, R. De Wiest, 1971. Hidrogeología, Ediciones Ariel, Barcelona.
- DOSER, D.I., & J. RODRIGUEZ (1992) The seismicity of Chihuahua, Mexico and surrounding regions. El Paso Geol. Soc. Guidebook, 1992 Field Conf., p. 99-105.
- Fernández-Aguirre M.A., Monreal R., y Grijalva-Haro A.S., 1993. Carta Geológica Sonora, 1:500, 000: Dirección General de Fomento Minero y Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora (Mapa).
- GANS, P.B. (1997) Large—magnitude Oligo—Miocene extension in southern Sonora: Implications for the tectonic evolution of northwest Mexico. *Tectonics*, 16 (3), 388-408.
- I.N.E.G.I (1980, 1987) Carta topográfica 1:250,000 Ciudad Obregón G12-3, Sonora, Chihuahua y Sinaloa. Inst. nal. Estadíst. Geogr. Informat., Dir. Gral. Geograf. Ter. Nal., México, D.F.
- I.N.E.G.I (1984) Carta geológica 1:250,000 Ciudad Obregón G12-3. Sec. Prog. Pres., Inst. Nal. Estadíst. Geogr. Informat., Dir. Gral. Geograf., México, D.F.
- INTRASEARCH (?) Landsat interpretation of an area in Chihuahua, Durango, Sinaloa and Sonora, northwest Mexico. Denver, Colorado (U.S.A.).
- ISLAS LÓPEZ, J.E. (1996) Informe de la visita de reconocimiento geológico minero realizada al lote minero “Cinco de Mayo”, Municipio de El Quiriego, Sonora. Consejo de Recursos

Minerales, Gerencia de Asistencia a la Minería, Residencia Sonora, Hermosillo, Son., Reporte interno, Clave OH-733.

- KING, R.E. (1939) A geological reconnaissance in the northern Sierra Madre Occidental of Mexico. Bull. Geol. Soc. Am, 50, 1,625-1,722. +

- LÓPEZ RÁMOS, E. (1974) Carta geológica del Estado de Sonora (2ª edic.). Inst. Geol., U.N.A.M., 2 pls.

- MULLAN, H.S. (1978) Evolution of part of the Nevadan orogen in northwestern Mexico. Geol. Soc. Am. Bull., 89 (8), 1,175-1,188.

- ORTEGA-GUTIERREZ, F., R.L. SEDLOCK, & R.C. SPEED. (1994) Phanerozoic tectonic evolution of Mexico. DNAG Continent-Ocean Transect Volume, Geol. Soc. América, Boulder, Colo., 265-306.

- SALAS, G.P. (1976 a) Tectónica del Estado de Chihuahua. Interpretación sobre imágenes del ERST I. Consejo de Recursos Minerales.

- SALAS, G.P. (1976 b) Tectónica del Estado de Sonora. Interpretación sobre imágenes de ERST I. Consejo de Recursos Minerales.

- STEWART, J.H., & J.ROLDÁN-QUINTANA (1994) Map showing late Cenozoic extensional tilt patterns and associated structures in Sonora and adjacent areas, Mexico. U.S. Geol. Surv., Miscel. Field Studies, Map MF-2238.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (2004). Carta de aguas superficiales Agua Prieta, ESC: 1: 250000.

- INEGI (1993). Estudio hidrológico del Estado de Sonora. Gobierno del Estado de Sonora.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (1981). Ed. 1993. Estudio Hidrológico del Estado de Sonora. pp.185.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (2004). Modelo Digital de Elevación Carta Agua Prieta, ESC: 1: 250000.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (2004). Modelo Digital de Elevación Carta Cananea, ESC: 1: 250000.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (2004). Modelo Digital de Elevación Carta Nacozari, ESC: 1: 250000.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (2004). Modelo Digital de Elevación Carta Madera, ESC: 1: 250000.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (2004). Modelo Digital de Elevación Carta Sierra Libre, ESC: 1: 250000.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (2004). Modelo Digital de Elevación Carta Agua Prieta, ESC: 1: 250000.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (2004). Carta de aguas subterráneas Agua Prieta, ESC: 1: 250000.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (2004). Carta de aguas subterráneas Cananea, ESC: 1: 250000.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (2004). Carta de aguas subterráneas Nacozari, ESC: 1: 250000.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (2004). Carta de aguas subterráneas Madera, ESC: 1: 250000.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática INEGI (2004). Carta de aguas subterráneas Sierra Libre, ESC: 1: 250000.