

## 1. GENERALIDADES

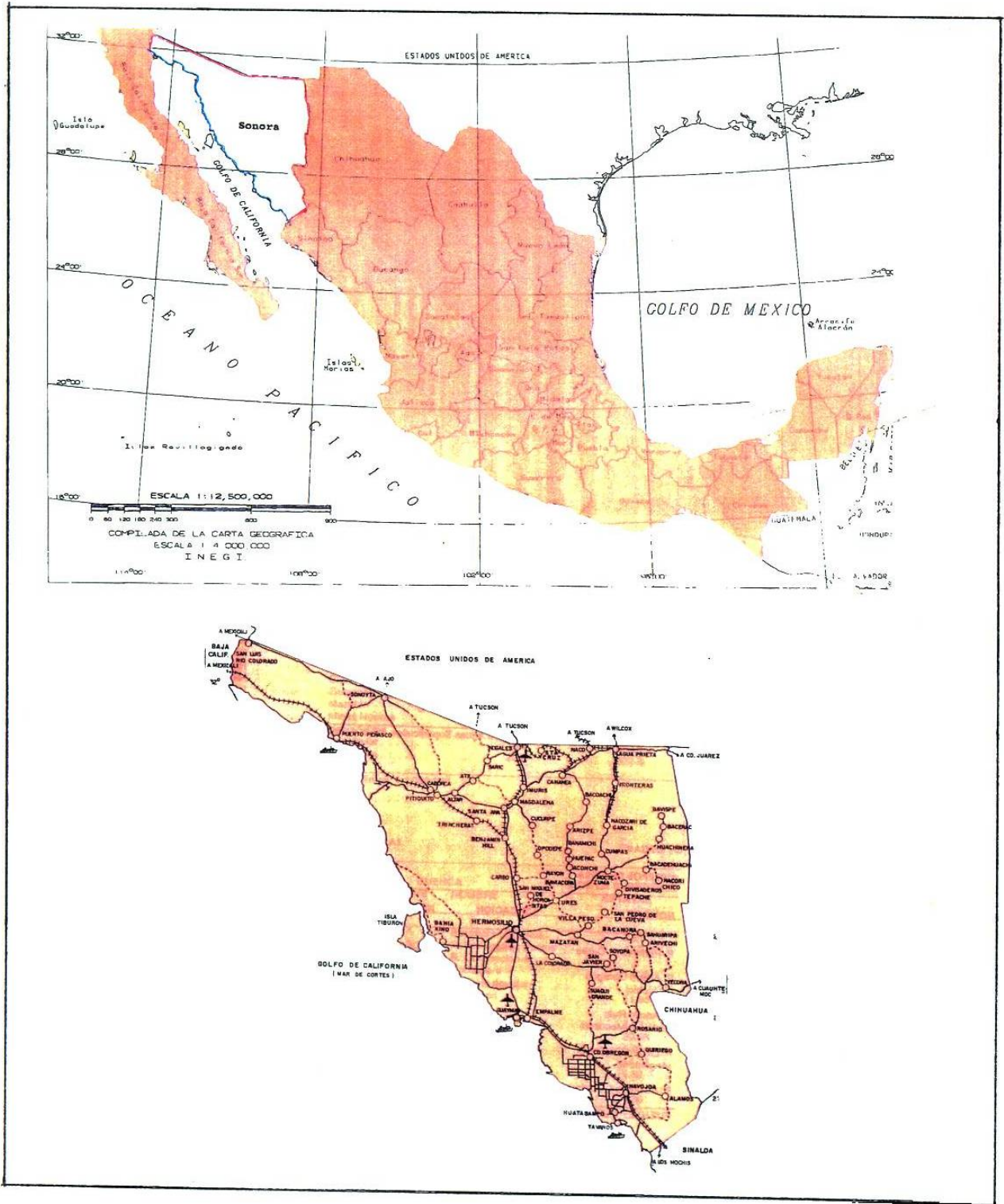
El Estado de Sonora, se localiza al Noroeste de la República Mexicana y queda dentro de las coordenadas 26° 14' - 32° 29' de Latitud Norte y en los 108° 27' - 115° 03' de Longitud Oeste. La entidad, se encuentra circundada por el Estado de Chihuahua (al Este), Sinaloa (al Sureste) y Baja California (al Noroeste), además de ser flanqueado por el Mar de Cortes (Oeste) a lo largo de 1207 Kms. Al Estado de Sonora, se le considera como la segunda entidad Federativa de mayor extensión con un área de 182,052 Km<sup>2</sup>, misma que representa el 9.3 % del Territorio Nacional, ver la fig. 1 de la página siguiente.

En la región, los poblados mas importantes estan intercomunicados por medio de caminos locales transitables todo el año, los cuales entroncan con la carretera No.2 Santa Ana-Tijuana, que practicamente atravieza la zona de estudio, uniendose ésta finalmente a la carretera No.15 México-Nogales en Santa Ana, Sonora, integrandose así a la Red Nacional de carreteras; cuenta también con el Ferrocarril Sonora-Baja California, el cual a su vez; se une al del Pacífico a la altura del poblado Benjamín Hill.

El clima que prevalece en la región de Caborca según Thornthwaite, se clasifica como EdB'a; provincia de humedad E árida, vegetación desierto (sahuaros, mezquites, biznagas, choyas, etc), humedad deficiente todas las estaciones del año, provincia de temperatura B' mesotérmica. El área de estudio, comprendida en la cuenca del Río Magdalena-Asunción; está enclavada en una región semidesértica, cuenta con escasos recursos hidráulicos debido a las condiciones climatológicas de la misma. Es una zona eminentemente agrícola, donde se tienen numerosos aprovechamientos de agua subterránea y algunos superficiales, lo cual constituye el Distrito de Riego No. 37 (que inició en 1964), mismo donde queda comprendido todo el Valle de Caborca.

Hasta el año de 1940, el aprovechamiento de los recursos hidráulicos subterráneos inicaba de manera incipiente, solo existían algunas captaciones que operaban con fines domésticos y para abastecimiento de agua potable de la Ciudad de Caborca, por lo que en ese entonces, el recurso AGUA que se disponía fue abundante. Sin embargo, el gran desarrollo agrícola de esa región, tuvo que basarse en la unica fuente permanentemente disponible en el Valle: EL AGUA SUBTERRANEA.

Al iniciarse en 1964 las operaciones del Distrito de Riego No. 37, la explotación de los recursos hidráulicos subterráneos se hizo mas intensiva, propiciándose una seria sobreexplotación del recurso (a partir de 1966) apenas dos años después de haberse iniciado su explotación intensiva, sobre todo en la franja costera y sus alrededores. Se dispuso en esa decada, de una amplia superficie de riego de aproximadamente 60,000 hectáreas, la cual se fue disminuyendo conforme pasaba el tiempo. En la tabla 1.1 de la página 4, se muestra como ha variado en los subsecuentes ciclos agrícolas esa superficie de riego.



**Fig. No.1 Localización geográfica y vías de comunicación mas importantes en el Estado de Sonora.**

**1.1.- Introducción.**

El área de Estudio contiene un total de 1430 km<sup>2</sup> y esta localizada en la Región Hidrológica No.8 denominada "Sonora Norte" de la República Mexicana, hacia el Noroeste del Estado de Sonora, según se aprecia en la Fig. 1.1. Sus principales poblaciones son las ciudades de Caborca y Pitiquito en el Municipio de Caborca con un total de 59,160 habitantes hasta el año 1990. La región depende primordialmente de actividades agrícolas y ganaderas, con productos agrícolas entre los que destacan trigo, cártamo y garbanzo en el ciclo otoño-invierno, y algodón, ajonjolí, alfalfa y vid para el de primavera-verano.

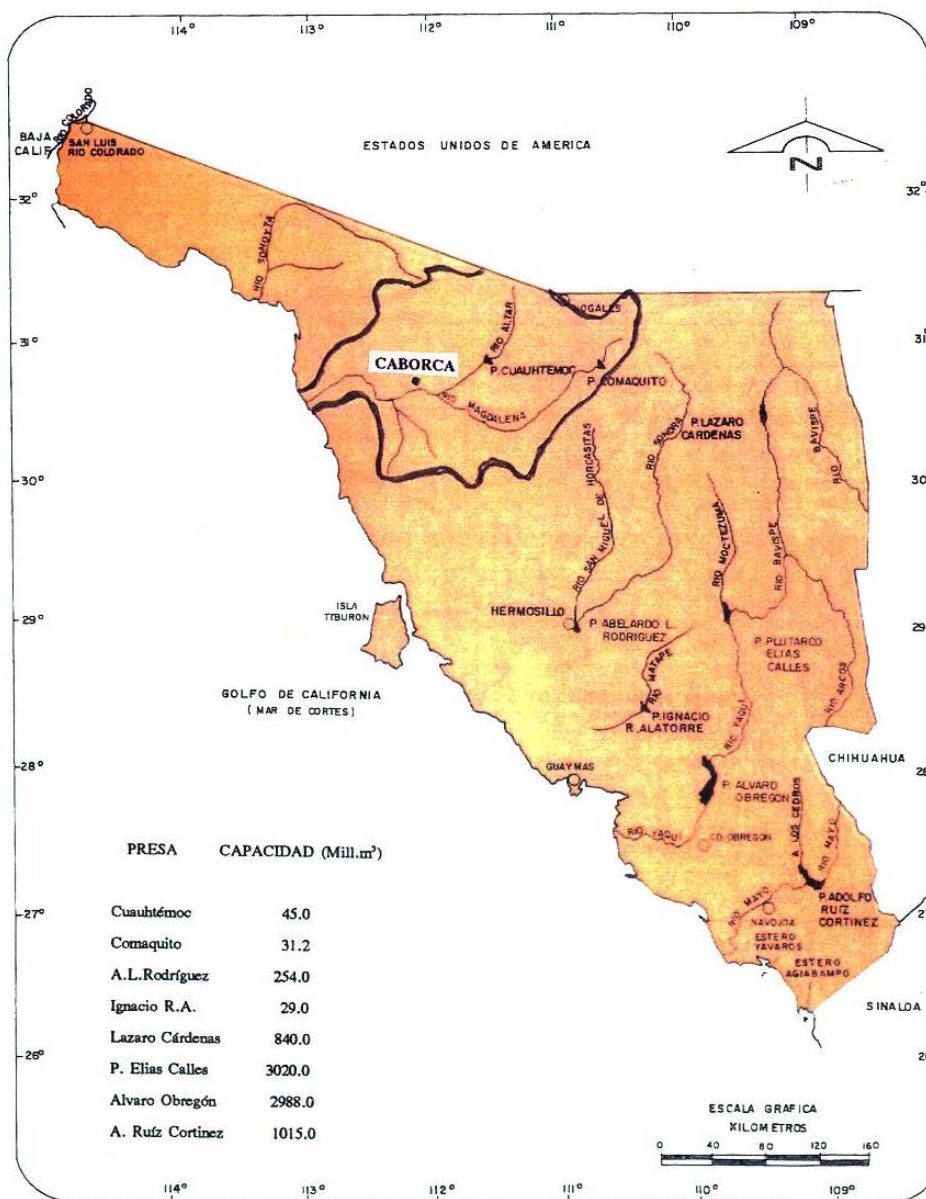


Fig.1.1 Localización de la zona de estudio en el Estado de Sonora.

En la tabla que sigue, se puede apreciar un condensado que muestra la superficie sembrada por año en el Valle de Caborca, Sonora (SARH 1990).

Tabla 1.1 Superficies sembradas en cada Ciclo Agrícola

CICLO	SUPERFICIE (Has)	CICLO	SUPERFICIE (Has)
75-76	52,580	83-84	52,413
76-77	48,647	84-85	53,234
77-78	52,978	85-86	54,350
78-79	54,466	86-87	54,769
79-80	56,950	87-88	48,062
80-81	59,685	88-89	42,740
81-82	62,608	89-90	39,774
82-83	59,113		

Como puede observarse, la superficie programada para siembra ha ido disminuyendo notablemente, al grado que para el ciclo 89-90 el área se redujo en un 36% con respecto al año de mayor siembra, que fué el de 81-82 con un total de 62,608 hectáreas.

Actualmente, los usuarios del Acuífero del Valle de Caborca atraviezan por una severa crisis económica, citándose como problemas principales la falta de avíos, los altos costos de producción, como son energía eléctrica y combustibles aunados a los bajos precios de garantía pactados por el Gobierno Federal. Hoy en día, se habla de que la deuda entre pequeños propietarios, ejidatarios y colonos asciende a cerca de 20 millones de nuevos pesos, (noticia de "El Imparcial", 1992).

#### OBJETIVO DEL ESTUDIO

Para cuantificar la magnitud del problema desde el punto de vista hidráulico, se configuró el presente trabajo de TESIS, el cual a través de una severa investigación, persigue como fin conocer el estado que guardan los niveles de agua subterránea, su evolución de acuerdo a las extracciones realizadas desde 1975 a 1989 utilizando un Modelo Geométrico, así como la dictaminación de las zonas mas sensibles a la recarga. Se hace un estudio de los volúmenes de escurrimiento superficial en las estaciones hidrométricas existentes y un análisis de la precipitación en la zona.

Asimismo, se realiza una asimilación del consumo de energía eléctrica para el uso del agua subterránea de dicha zona, esto es debido a que la energía consumida por un motor instalado en un pozo, depende directamente de la profundidad del nivel dinámico presente en la captación. Se sabe que, en aquellos acuíferos considerados como sobreexplotados, los niveles de agua van descendiendo poco a poco, hasta que se ven modificadas los parámetros iniciales del diseño de los equipos de bombeo instalados en los pozos. Así pues, se pretende con ello aportar un conocimiento mas preciso del grado de explotación que se tiene en el acuífero, y una aproximación futura de los niveles en los próximos 10 años.

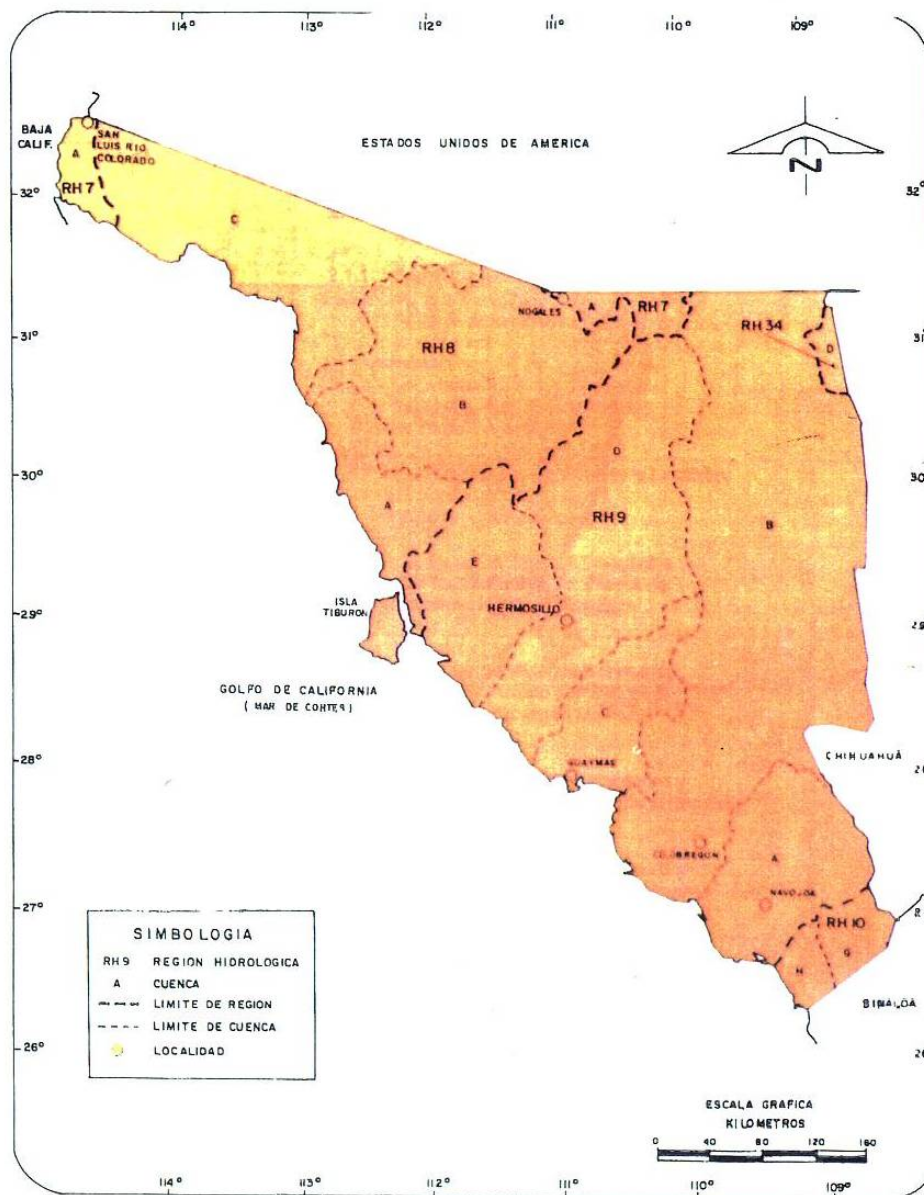


Fig. 1.2. Regiones Hidrológicas en el Estado de Sonora, en especial la Región No.8., de acuerdo a la división de la República Mexicana realizada en base a las cuencas naturales

Más recursos para  
agua potable / 2  
Huyen hacia Arizona  
los salarios / 4

EL IMPARCIAL  
Lunes 17  
Febrero de 1992  
Hermosillo, Sonora.

## Siembran menos en Caborca

### Hasta 25% de trigo dejan de sembrar en Sonoyta

Por Alberto Aldrete V.

SONOYTA, Son., febrero 16 (PH).- La insolvencia económica de los agricultores, redujo hasta el 25% el área de trigo a sembrar en el actual ciclo, donde de dos mil hectáreas que se pensaban cultivar no se alcanzaron ni las quinientas.

Antonio Robles Contreras, dirigente de los pequeños propietarios del municipio (Gral. Plutarco Elías Calles, aseguró que a la siembra de algodón le espera similar o peor suerte.

Robles Contreras expuso que en el valle agrícola de Sonoyta se llegaron a sembrar hasta 7,500 hectáreas de algodón, cayendo el año pasado a 1,500 y se espera, dijo, que para este ciclo apenas se alcancen las 800.

Citó como problemas principales la falta de avisos, luego los altos costos de producción, como son energía eléctrica y combustibles, y si a esto le son agregados los precios de garantía bajos, el fracaso de la siembra de frutales, la vuelta en el algodónero, entre otros, resulta fácil deducir el porqué del fracaso del sector agrícola.

El líder parvifundista señaló que la deuda que los pequeños propietarios, ejidatarios y colonos tienen con Banrural, asciende a 20 mil millones de pesos, pero de esa cantidad, si acaso veis mil millones son de capital, el resto es de intereses acumulados.

Enfatizó que este año será más difícil que los anteriores. Por ejemplo, de 150 pozos que operan en el valle, hay 70 que tienen suspendido el suministro de energía eléctrica por falta de pago.

Banrural no quiere saber nada de Sonoyta, y en la banca local, Bancorim sólo opera con préstamos quinquenales a muy corto plazo, y muy selectivamente, mientras que Banamex sólo funciona como casa de cambio, y si no hay dinero fresco, muy pocos podrán sembrar este año, dijo.

La solución, indicó, es que se les reestructure la deuda a siete u ocho años, con trato consuntivo, y se les apoye con dinero fresco, pero a todos los sectores, no sólo más al ejidal, como parece que está sucediendo



Pozos Sin Fondo

Ciclo tras ciclo, la producción agrícola de Caborca se ha venido reduciendo, a consecuencia de la falta de agua lo que se ha agudizado en los últimos años con el cierre de pozos al no poderse pagar la energía eléctrica.

### En los últimos diez años se pasó de 60,000 a 38,000 hectáreas cultivadas, dice Faz Apodaca

Por Raul Ruiz C.

CABORCA, Son., febrero 16 (PH).- La superficie cultivable en Caborca se redujo dramáticamente en los últimos diez años pues de sesenta mil hectáreas que se sembraban en 1981 a la fecha se han reducido a 38 mil.

Salomón Faz Apodaca, coordinador del plan piloto para la rehabilitación de los pozos agrícolas de la zona, indicó que la situación se ha venido agudizando cada vez más y en los presentes ciclos de cultivo varios viñedos se dejaron de podar y plantaciones de trigo no fueron regadas.

"A ello", indicó, "se ha sumado la paralización de 170, de los mil pozos que, aproximadamente, operan en esta región agrícola, debido a los cortes de energía eléctrica realizados por la Comisión Federal de Electricidad."

Faz Apodaca sostuvo que el caso Caborca requiere un tratamiento especial para darle una solución tal y como lo comentó Alejandro Trueba, uno de los inversionistas que estuvieron esta semana en la región para comprobar la factibilidad de que la zona sea enclavada dentro de un plan "piloto".

Indicó que la intención es lograr el apoyo del Banco Mundial, en la vía de financiamiento con tasas de interés de entre 4 y 6% de créditos pagaderos a quince o veinte años.

"En abril estarán funcionarios de esa institución bancaria en la región para ver la factibilidad de un estudio sobre el cambio de riego presurizado a aspersión o semiaspersión y goteo con el fin de optimizar el uso de energía eléctrica y agua", explicó.

El promotor de ese plan "piloto" a nivel nacional destacó que en una visita inicial estuvieron en la región funcionarios bancarios y de diversas instancias gubernamentales de apoyo al campo para observar de cerca la factibilidad de Caborca para emprender ese plan.

En la región, dijo, se cuenta con un potencial directo de veinte mil hectáreas de plantaciones perennes y cuarenta mil de vid que podrían ser canalizadas a ese plan pero hay que reconocer que en el corto plazo solo dos mil tienen las condiciones ideales para ser empleadas.

## 2. CLIMATOLOGIA DE LA CUENCA DEL RIO ASUNCION-MAGDALENA

El Acuífero del Valle de Caborca que alimenta los cultivos del Distrito de Riego No. 37 del Estado de Sonora, se encuentra ubicado entre las longitudes  $111^{\circ} 50'$  y  $113^{\circ}$  Oeste, y los paralelos  $30^{\circ}30'$  y  $31^{\circ}$  Norte. La zona en estudio limita al Sur con las estribaciones montañosas de la Sierra "El Viejo", Sierra "El Alamo" y el Cerro "La Verruga"; al Este con las estribaciones montañosas del Cerro "Carnero", Cerro "Prieto" y Sierra "La Salada". Al Norte con las estribaciones de los Cerros "Paredones", "Sierra La Gloria" y "Sierra El Chanate"; hacia el Oeste la colindancia es con el Golfo de California. En la parte central se encuentran la Sierra "La Víbora", Cerro "Gamuza" y Sierra "El Rajón". En el Plano No.1 que se anexa puede apreciarse con mas detalle la región mencionada, mientras que en la Fig 2.1 de abajo se muestra un esquema general del área de drenaje en la cuenca del Río Asunción-Magdalena.

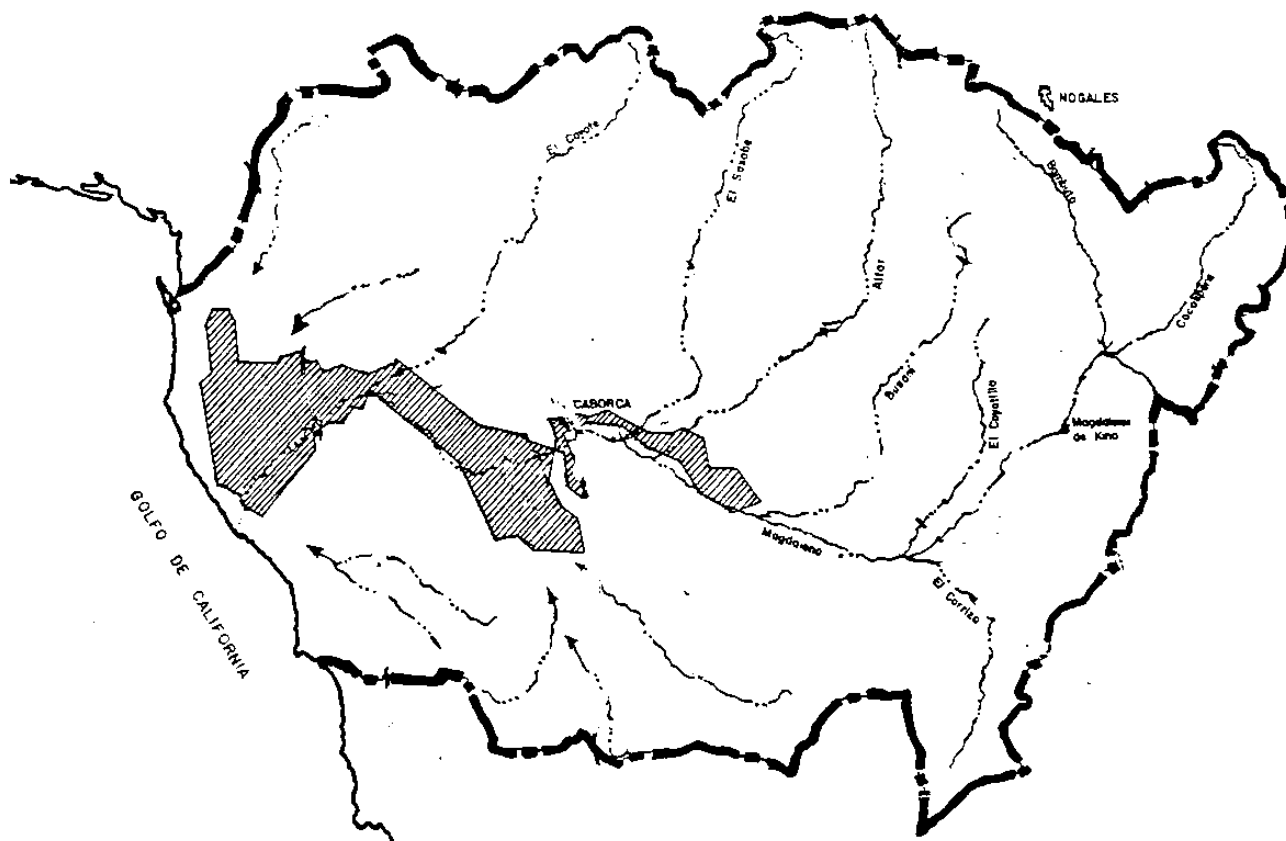


Fig 2.1. La región sombreada corresponde a los límites de la zona de estudio con una superficie de  $1,430 \text{ km}^2$ . El área de la cuenca es de  $30,140 \text{ Km}^2$ .

## 2.1.- Climatología de la Zona.

El área de interés para este estudio, es una zona extremadamente árida, de precipitaciones pluviales poco frecuentes, agobiantes temperaturas de verano, escasa humedad y elevada evaporación. La ubicación geográfica de la región, no se caracteriza por contar con mecanismos atmosféricos relacionados con lluvias constantes. El clima desértico que prevalece en la zona, se cree que se deba a las siguientes razones climatológicas:

a).- Caborca está en el límite Sureste del **Desierto de Altar**, se encuentra ubicado en el punto medio de la línea imaginaria que divide las trayectorias típicas por donde transitan los sistemas ciclónicos asociados al frente polar y a los sistemas de la zona de convergencia intertropical, como se aprecia en la Figura de abajo.

b).- Por tal motivo, las lluvias que generan importantes escurrimientos superficiales y recargas al manto subterráneo en cuestión, están asociadas a tormentas producidas por ciertas conformaciones climatológicas muy particulares y que se presentan en ciertas épocas del año.

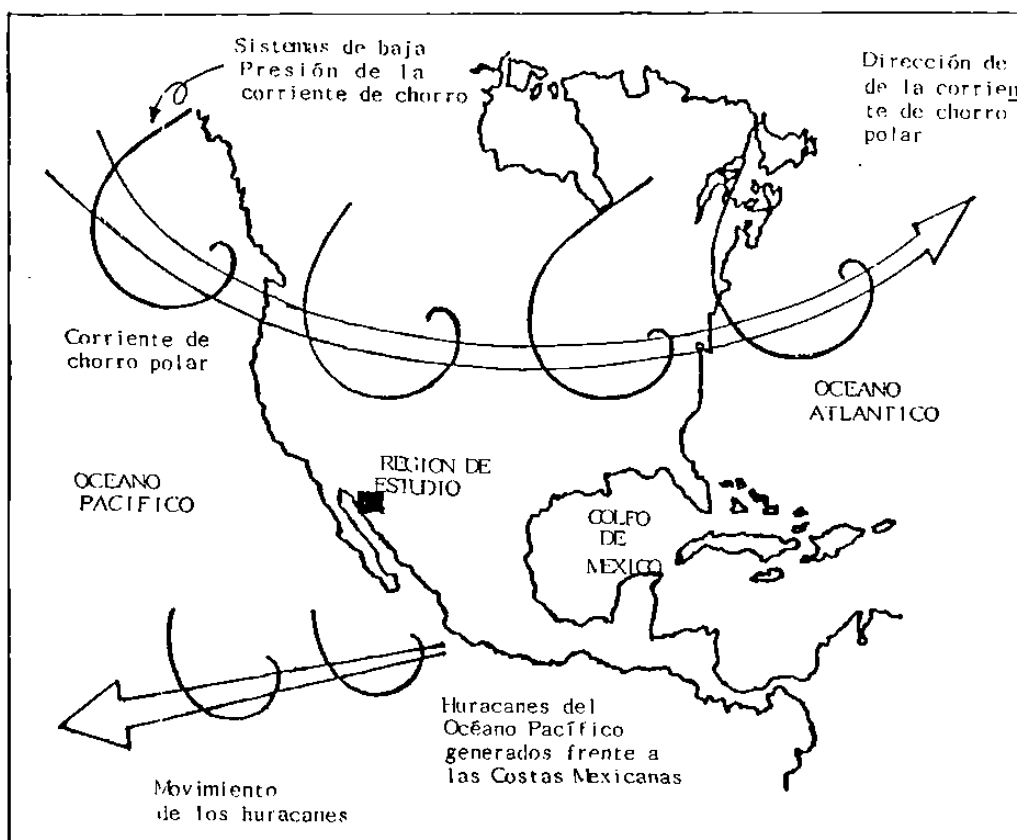


Fig 2.2. Movimiento teórico de la atmósfera en el Hemisferio Norte. Las curvas indican centros de baja presión con gran contenido de humedad.



## 2.2.- Dinámica Atmosférica

En forma muy general, podemos clasificar los regímenes climáticos con probabilidades de abastecimiento de humedad para el Valle de Caborca en tres estados: Estado I, Estado II y Estado III.

**ESTADO I:** Se engloban aquí, aproximadamente 3 meses de verano (Julio, Agosto y Septiembre). La dirección predominante de los vientos que transportan humedad es de Este a Oeste, con vapor de agua proveniente del Golfo de México. En la Fig 2.3, se muestra una representación gráfica del arreglo atmosférico predominante en esa época del año, haciendo la aclaración de que está sujeto a una gran variedad de modificaciones según el resto de las variables atmosféricas vecinas. Aún así, el esquema mostrado ilustra un mecanismo de abastecimiento de humedad para el acuífero de Caborca; típico para los meses de verano.

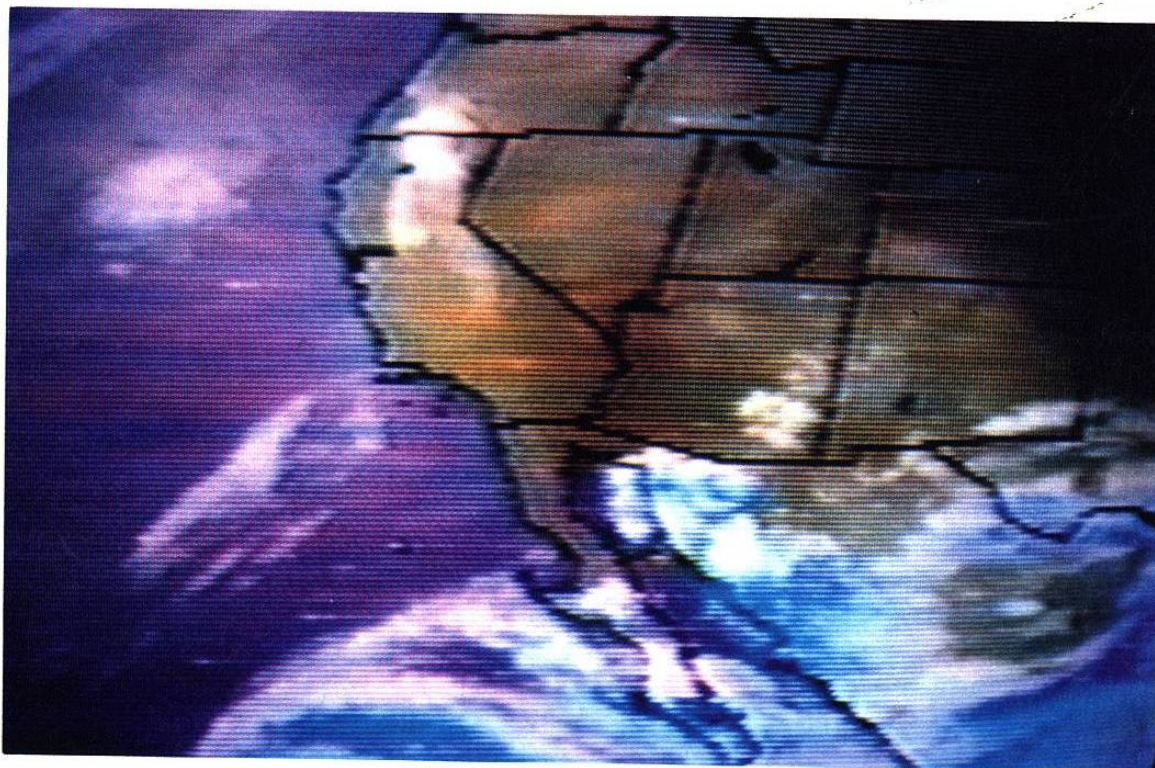


Fig 2.3(A). Fotografía muestra la introducción de una masa de aire húmedo del Golfo de México al Valle de Caborca, Son.

El comportamiento que se describe en la fotografía anterior, es provocado quizás por un corredor ocasionado por el Centro de alta presión (H) localizado en el Estado de Arizona (USA) y el Centro de baja presión (L) ubicado en los límites de la región de Texas y México, hacia el Este, tal como se muestra en el esquema de la siguiente hoja.

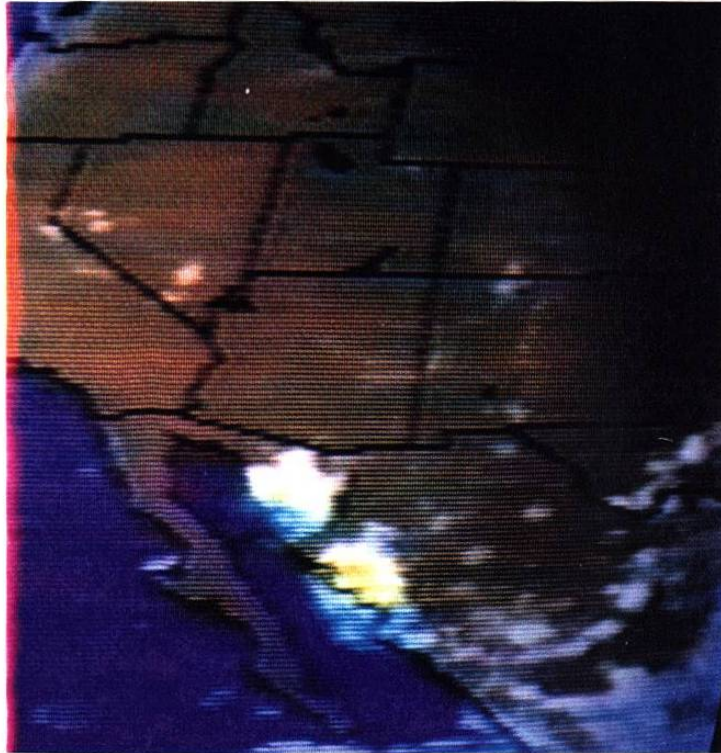
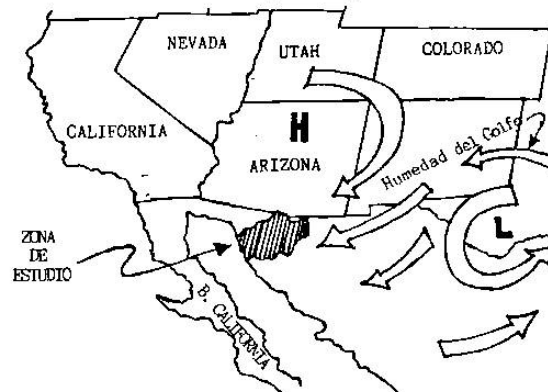


Fig 2.3(B). Arreglo atmosférico predominante del verano en la región vecina a la zona de estudio.

Esta segunda fotografía, corresponde a unas horas mas tarde con respecto a la anterior, en ella se aprecian dos celdas de precipitación al Norte y al Sur de Sonora. El color amarillo indica una precipitación mas abundante.



En este esquema, se ilustra la entrada de la masa de aire húmedo proveniente del Golfo de México, con dirección hacia la Zona de Estudio. Se muestra también, la localización de los Centros de alta (H) y baja (L) presión.

Para el **ESTADO I** que se describe, se destaca en esa época del año, la variación de la presión atmosférica tanto a lo largo del día como con la altura en el punto que nos ocupa. Partiendo del hecho, de que Caborca se encuentra en la parte

anticiclónica de las corrientes de chorro del hemisferio Norte; teóricamente deberíamos detectar **alta presión (H)** siempre en el punto. Sin embargo, desde el momento en que aparece la irradiación solar del día a nivel de superficie, se experimenta la expansión y ascenso de las masas de aire progresivamente mas calentadas, originándose con ello una **baja presión (L)** seca, como se observa en la Fig 2.4. Sin embargo, en las altas capas de la atmósfera, se detecta la influencia de la corriente de chorro y a esas altitudes se tiene alta presión, la cual finalmente llega a superficie al anochecer, después de que la irradiación solar ha terminado. Las lluvias debidas a las masas de aire húmedo provenientes del Golfo de México, benefician mas que nada el lado de ascenso de dichas masas (Este); en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, recibiendo el Valle de Caborca, a esas masas de aire, con poca cantidad de humedad; provocando así, precipitaciones copiosas y de corta duración.



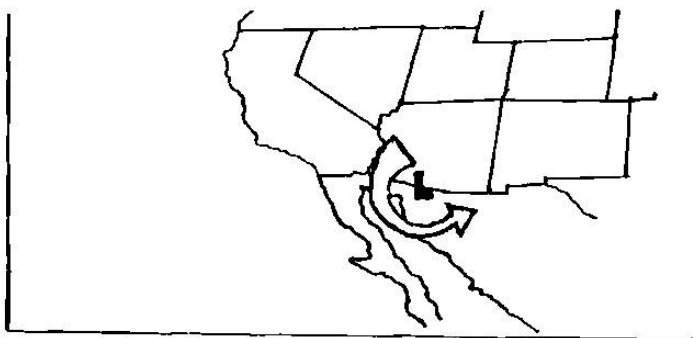
Fig 2.4(A). Se muestra como una masa de humedad está siendo frenada por el centro de **baja presión (L)**.

Después de haber observado las imágenes de Satelite que muestran la Climatología de Sonora y principalmente de la zona de estudio, se ha notado que el centro de **baja presión (L)**, normalmente se localiza en las inmediaciones del Valle de Caborca durante la temporada del verano, evitando por lo regular la entrada de humedad a la región de Sonora. Se ha notado también, que este fenómeno generalmente sucede en el día, cuando las masas de aire caliente en ascenso forman una espiral ascendente en sentido contrario a las manecillas del reloj. Por la noche, el centro de baja presión desaparece ó tiende a disminuir su intensidad, dando oportunidad de entrada de humedad en dirección Noreste-Suroeste, tal como se explicó en la fig. 2.3. En la siguiente fotografía se ilustra con otro ejemplo clásico el mismo principio.



Fig 2.4 (B). Esta foto también muestra como una masa de humedad está siendo frenada por el centro de baja presión.

Obsérvese en ésta foto, que casi todo el territorio nacional está invadido por una gran masa de humedad, producto de otro centro de baja presión localizado temporalmente casi en el centro de la República Mexicana. Sin embargo, notése que la región Noroeste (Sonora), permanece con cielo despejado, debido también al permanente centro de baja presión (L) cercano a la zona de estudio, durante el verano.



En este esquema, se muestra la posición del centro de baja presión (L), ubicado proximo a la zona de estudio.

**ESTADO II:** Durante el invierno, en general, todo el Estado de Sonora está suceptible de ser invadido por masas de humedad provenientes del cinturón cálido de convergencia del Océano Pacífico, que resultan de la transportación hecha por

los vientos dominantes del Suroeste. Una de estas acumulaciones masivas se muestran en la Fig 2.5, caminando pesadamente en dirección Suroeste-Noreste a lo largo de la entidad e interactuando con un frente frío del polo que en invierno sí pueden llegar hasta las latitudes de Caborca. No obstante lo anterior, se tiene la experiencia de que durante el invierno la zona de estudio tampoco es favorecida con abundantes lluvias.

**ESTADO III:** Debido a la extensión territorial de Sonora, existe cierto grado de probabilidad de que algún lugar (generalmente el Sur) de la Entidad, resulte afectado por la presencia de eventos ciclónicos de mediana magnitud en los meses de verano hasta principios de Octubre. Sin embargo, no es muy frecuente que una depresión tropical transite por el Valle a la hora de su máxima intensidad debido a que la costa de Caborca, se encuentra en la cabecera continental oriente del Golfo de California; debido a la disposición geográfica muy inaccesible para que los sistemas de baja presión ciclónicos del Océano Pacífico, ávidos del mar extenso y cálido, se desarrollen a plenitud en la región de estudio.

Por ejemplo, en la Fig 2.6, se aprecia el avance de un remanente del ciclón "Diana" que alcanzó prácticamente todo el Estado de Sonora en el año 1990, mismo que entró por el Golfo de México y dada la combinación de los centros de presión, fue posible que hubiera remanentes, los cuales lograron llegar hasta el Golfo de California para posteriormente azotar en la mayor parte de la región de Sonora. A pesar de ello, se tuvieron pocas lluvias en la Zona de Estudio y en su periferia, mas sin embargo, en el Valle de Guaymas y en la cuenca del Río Sonora fue donde se recibieron la mayor parte de esas precipitaciones, provocando con ello problemas de inundación y causando serios daños a las Obras Civiles del centro y sur del Estado de Sonora.

En los meses de verano también, la corriente de chorro ejecuta su recorrido alrededor de la Tierra, en latitudes muy altas, debido a la presión que ejercen los húmedos frentes cálidos del Golfo de México en el verano sobre los frentes fríos que bajan del polo norte, dándose el choque de masas productoras de abundantes lluvias muchos grados al norte de la latitud de Caborca.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se ha podido constatar que la Zona de Estudio se encuentra localizada casi en las inmediaciones del **DESIERTO DE ALTAR**, lo cual hace que se encuentre en una posición completamente desfavorable y con pocas probabilidades de lluvias en verano y mucho menos contar con la presencia de algún Huracán. Por lo anterior, el acuífero en cuestión carece de precipitaciones constantes que requiere todo depósito natural subterráneo, necesarias para su recuperación.

Los usuarios del acuífero del Valle de Caborca deben conscientizarse de su desventajosa localización geográfica, y aprovechar el recurso de este acuífero de un modo optimizado y sobre todo dándole un giro a la actividad agrícola, la cual desde hace varias décadas es la que sustenta a la población de Caborca y sus alrededores.

Con la finalidad de tener una idea general de la magnitud de las lluvias producidas en la región, se ha preparado la Fig 2.7 con los datos de la Estación Climatológica "Pitiquito".

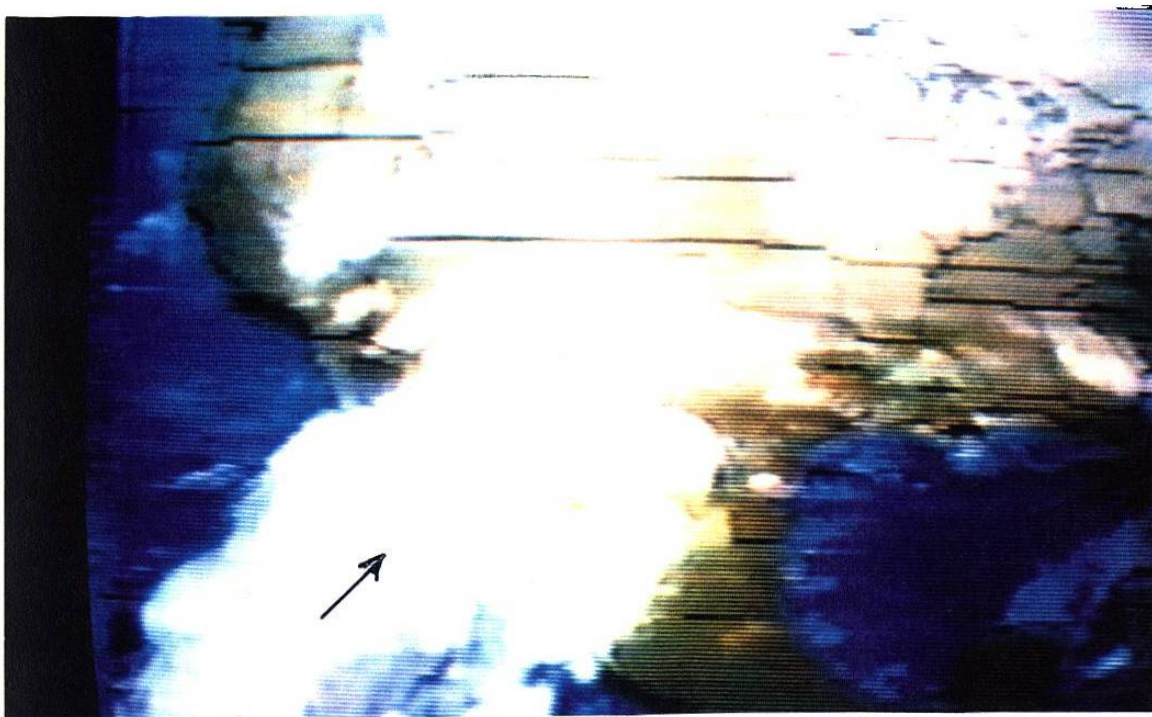


Fig. 2.5 Fotografía que muestra el avance de humedad desde el Océano Pacífico hacia el Noroeste de México. Esta estructura es casi común en la temporada de invierno.

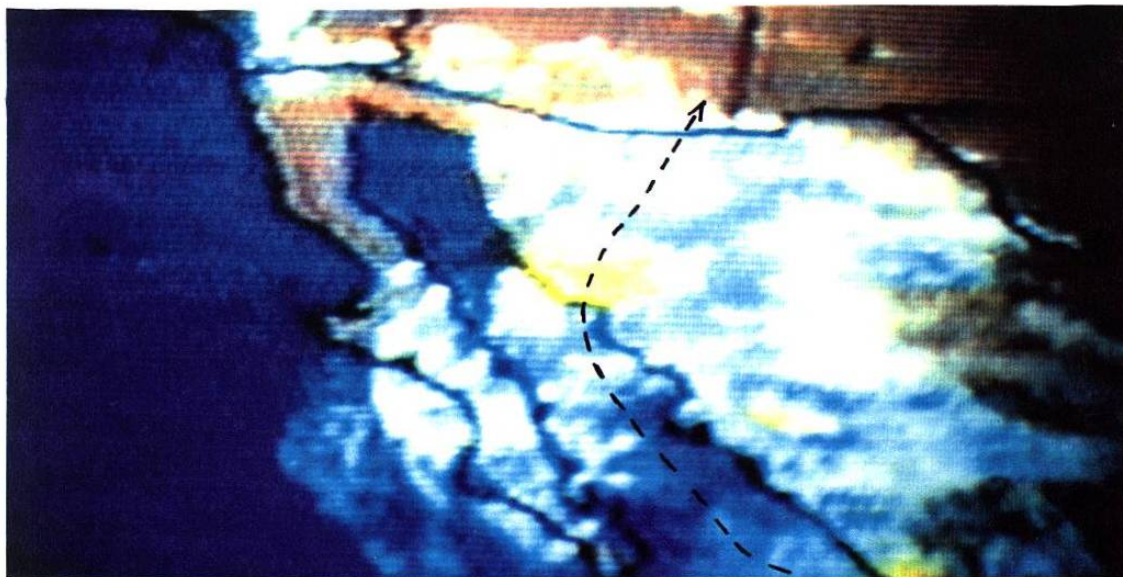


Fig. 2.6 Fotografía que ilustra la trayectoria de los Remanentes del Huracán DIANA que azotó en la República Mexicana en Agosto de 1990, mismo que logró entrar al Pacífico, donde finalmente cubrió a Sonora.

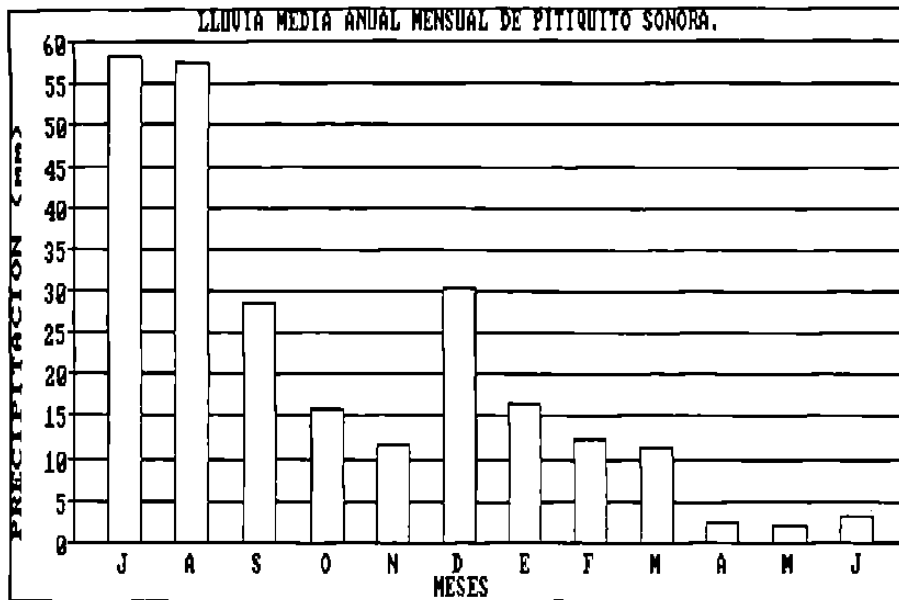


Fig. 2.7 (A): Evolución de la precipitación media mensual en los 31 años de información analizados en la Estación Climatológica "Pitiquito".

En la figura anterior, se puede observar que existen dos períodos de lluvias bien definidos entre los meses de Julio hasta Noviembre y los de Diciembre hasta Junio; sin embargo, es mas notable la precipitación del período JULIO-AGOSTO.

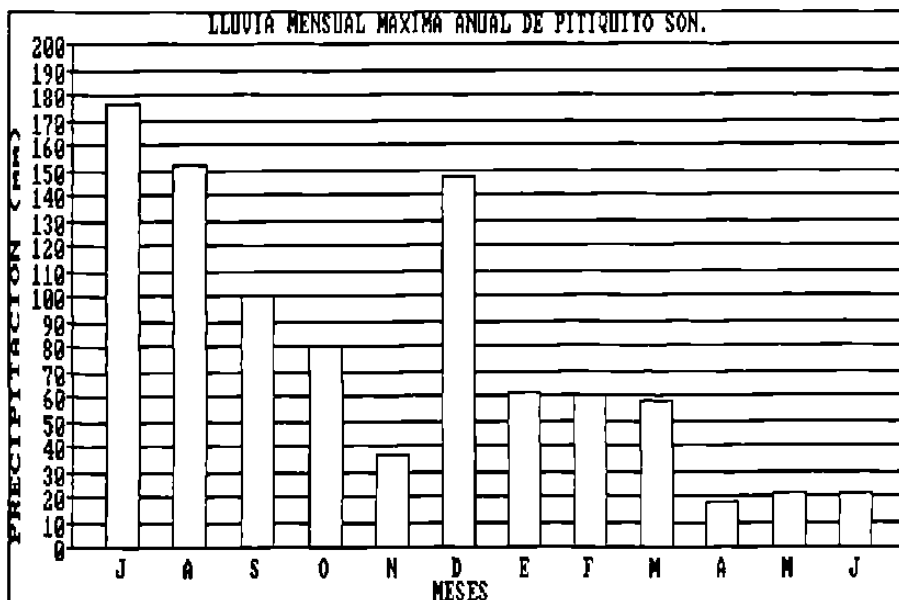


Fig. 2.7 (B): Se muestran las cantidades máximas de precipitación mensual observadas en "Pitiquito" durante el mismo período.

En la figura 2.7 (B) anterior, puede ser detectado que prácticamente los meses de Abril, Mayo y Junio son secos, mientras que en los meses de Julio, Agosto y Diciembre se aprecian mas posibilidades de tener precipitaciones abundantes. Asimismo, según la información analizada, en la tabla (2.1) se anotan las probabilidades de tener una precipitación mayor al dato que aparece en la cabecera de cada columna, para lluvias mayores de 1, 25, 50 y 100 mm. Como puede observarse, existe una probabilidad mayor del 80% de que al menos ocurra una precipitación de 25 mm durante el mes de Julio, así como el de Agosto. Para el resto, existe una probabilidad menor del 40% de que esto mismo suceda, siendo nula la posibilidad para los meses de Abril, Mayo y Junio.

Así entonces, para una precipitación de 50 mm o mayor, se tiene una probabilidad del 54% de que se presenten lluvias en el mes de Julio, siendo menores del 42% para el resto, llegando a estar por debajo del 10% para los meses de Octubre, Enero, Febrero, y Marzo, y con valores nulos para el mes de Noviembre, Abril, Mayo y Junio.

Tabla 2.1. Porcentaje de Probabilidad de que exista un rango de lluvia en un determinado mes de un año.

PRECIPITACION (mm)	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
	% de p r o b a b i l i d a d (m e n s u a l)											
P>1	96	100	90	64	74	87	74	70	80	35	25	38
P>25	90	83	38	29	12	38	32	16	12	0	0	0
P>50	54	41	25	9	0	19	9	6	6	0	0	0
P>100	12	16	3	0	0	6	0	0	0	0	0	0

Mientras que, para una precipitación igual o mayor de 100 mm, tenemos una probabilidad máxima en el mes de Agosto con un 16%, siguiendo a Julio con un 12%, Diciembre con 6% y Septiembre con 3%; el resto es totalmente nulo.

De la misma tabla, puede también deducirse que para los meses de Julio y Agosto, los valores de precipitación total oscilan entre 25 y 100 mm en su mayor parte, siendo menores de 25 mm para el resto de los meses. Esto hace ver, sin lugar a dudas, que la responsabilidad mayor de agua sobre la cuenca con fines de recarga natural pesa sobre los meses de Julio y Agosto; sin embargo, si se considera que la precipitación del mes de Julio sirve para humedecer apenas el terreno después del prolongado período de sequía de los meses anteriores, toca al mes de Agosto la mayor importancia de agua con fines de escurrimiento superficial y posibles recargas al acuífero.

Por otra parte, con respecto a los valores mínimos observados en los totales mensuales de los 31 años de observación de los registros proporcionados por la CNA, se notó que los mínimos para los meses de Julio y Agosto fueron de 0.2 y 4.5 mm respectivamente, con valores nulos para el resto del año. Esto hace pensar que, aún los meses de Julio y Agosto no escapan a la sequía del área.



**2.3.- Precipitación Media Anual**

Para conocer el comportamiento de la lluvia media anual en la Cuenca de Río Asunción-Magdalena, fué consultada la Carta de Precipitación Total Anual "Tijuana", elaborada por el INEGI, la cual se representa para la Cuenca de Estudio en la Fig 2.8; misma que incluye las curvas de isoyetas medias anuales. En base a estas curvas y al planimetrar el área entre éstas, se configuró la tabla 2.2, en donde finalmente al aplicar el método de las isoyetas resulta para la cuenca una precipitación total media anual de 274.5 mm,. El área total de la Cuenca hasta su desembocadura con el Golfo de California es de 30,140 km<sup>2</sup>.

Tabla 2.2. Porcentajes del Area Total de la Cuenca y su Precipitación.

INTERVALO (MM)	<100	100-200	200-300	300-400	400-500	>500
PORCENTAJE (%)	8.4	17.0	34.4	27.2	11.2	1.8

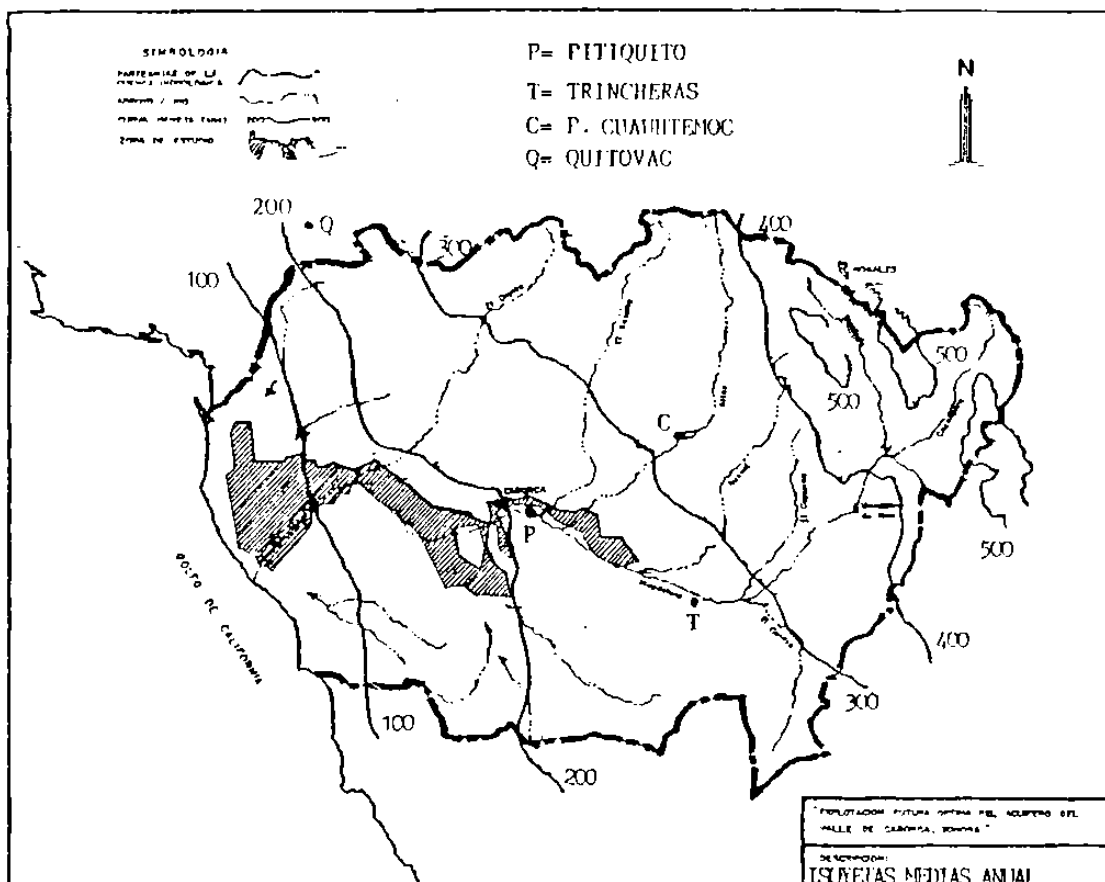


Fig 2.8. Isoyetas Medias Anuales en la Cuenca del Río Asunción-Magdalena.

Ahora bien, con la finalidad de confrontar lo anterior, se consultaron los datos pluviométricos de Estaciones Climatológicas ubicadas dentro de la cuenca en estudio, siendo las correspondientes a Pitiquito, Trincheras, Presa Cuauhtémoc y Quitovac. De éstas, se eligieron como base las dos primeras por contener registros con datos desde 1966 a 1989 ininterrumpidamente, además de que ambas están localizadas muy cerca del centroide de la cuenca. En la Fig. 2.9 y 2.10 se muestra una representación gráfica de los datos analizados.

Tabla 2.3 Resumen de datos de lluvia obtenidos en las estaciones base.

P R E C I P I T A C I O N (MM)	EST. PITIQUITO	EST. TRINCHERAS
Precipitación Media Anual	248.4	278.6
Prec. Máxima observada	494.1 (1983)	545.0 (1983)
Prec. Mínima observada	124.8 (1980)	155.0 (1986)

Se observa en la tabla anterior, que las precipitaciones medias anuales obtenidas casi coinciden con las isoyetas de la Fig. 2.8 de la página anterior; aunque para Pitiquito se aprecia una precipitación menor en un 20% aproximadamente. Se observa también en dicha tabla, que el valor máximo de precipitación se presentó en el año de 1983 en ambas estaciones, con un valor que duplica al medio normal en cada sitio. Esto marca un precedente máximo extremo para la región, puesto que no es común la presencia de precipitaciones de tal magnitud.

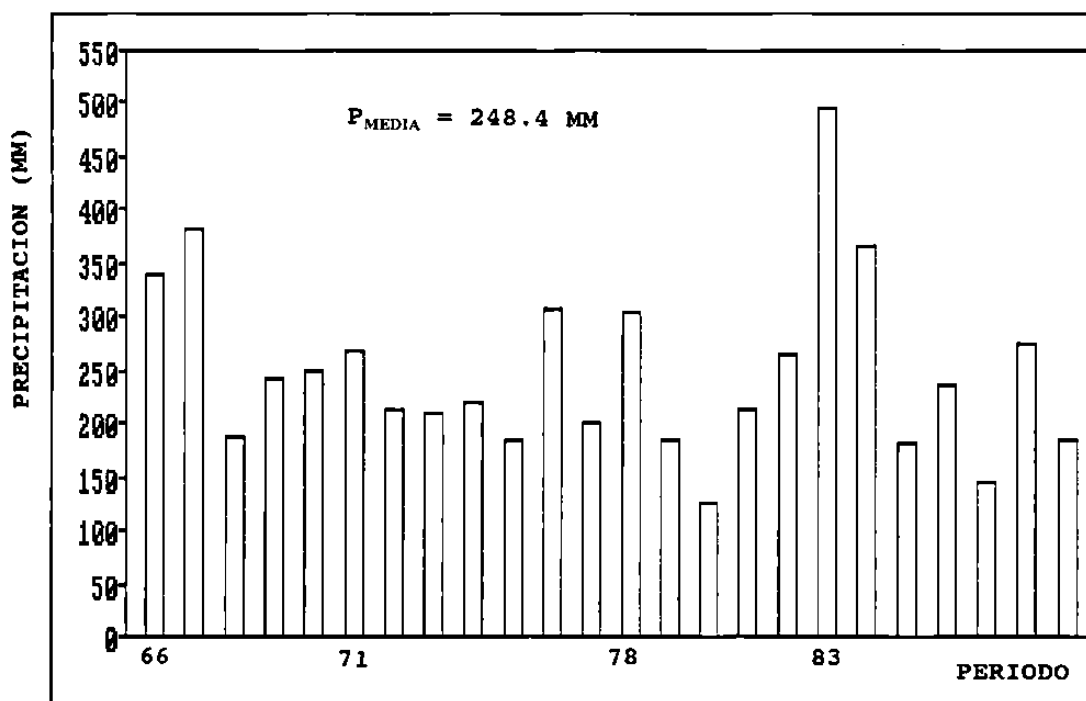


Fig 2.9 Representación grafica de la precipitación total anual para la Estación "Pitiquito". La media anual obtenida del registro de datos fué de 248.4 mm.

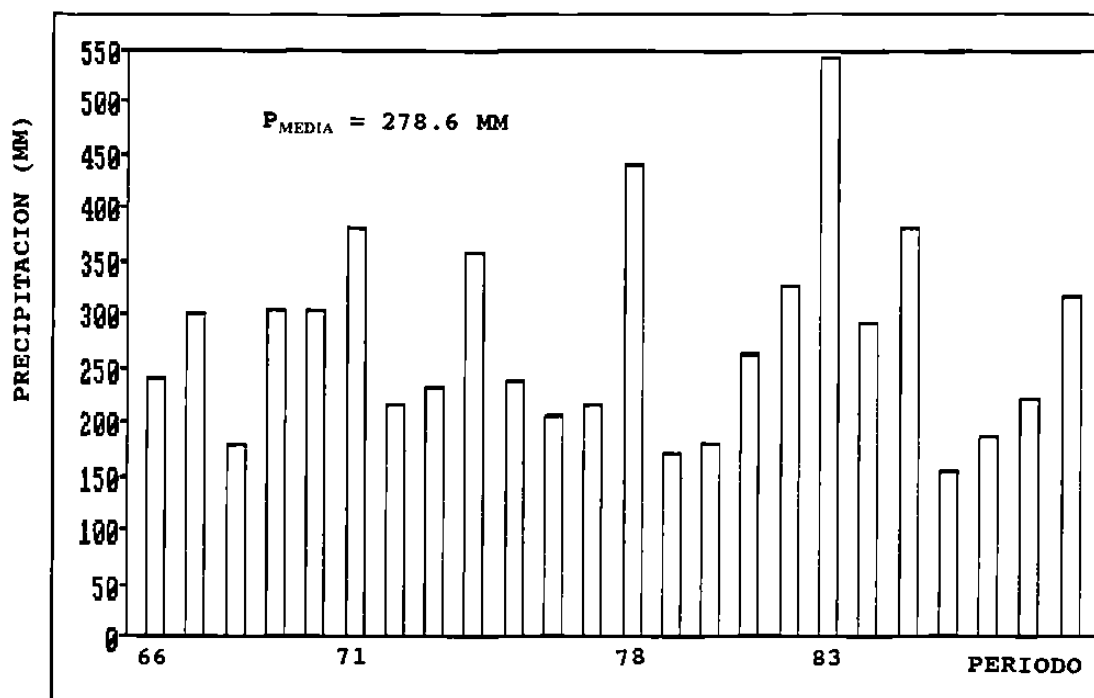


Fig 2.10 Representación grafica de la Precipitación total anual observada en la Estación "Tincheras". El valor medio anual es de 278.6 mm. Nótese que al igual que en la anterior Estación, el máximo se presentó en el año de 1983.

En las dos graficas anteriores, se ha visto que en el año de 1983 se tiene el pico de la precipitación, Se cree que ese período, fué de importancia para la región, pues se llegó a notar cierta recuperación en los niveles de agua de los pozos localizados cercanos al cauce del Río Asunción (zona oriental).

Por otra parte, durante el estudio de la cuenca en cuestión, fue necesario investigar un total de 17 cartas topográficas editadas por el INEGI, de escala 1:50,000; formandose un mosaico representado por el cuadro que sigue:

CUADRO No. 1, Claves de las cartas topográficas utilizadas en el estudio

H12A53	H12A54	H12A55	H12A56	H12A57	H12A58
El Remolino	Coahuila	El Diamante	El Sahuaro	Los Olivos	Atil
H12A63	H12A64	H12A65	H12A66	H12A67	H12A68
Desemboque	El Chamizal	J. García	Caborca	Altar	La Sangre
	H12A74	H12A75	H12A76	H12A77	H12A78
	Pto. Lobos	S. Monica	Gavilondo	El Prieto	Trincheras

### 3. HIDROLOGIA SUPERFICIAL

#### 3.1.- Localización del Area.

La cuenca de estudio se localiza en la porción Noroccidental del Estado de Sonora, tiene una superficie total de 30,140 Km<sup>2</sup> y pertenece a la región hidrológica No.8 Sonora Norte abarcando gran parte del Desierto de Altar. Sus principales corrientes son los Ríos Asunción- Magdalena (ver fig. 3.1).

Esta cuenca, está siendo aforada en las Estaciones Hidrométricas "Pitiquito II", "Santa Rosa II" y en la Estación "Imuris", siendo las dos primeras las que se encuentran mas cercanas a la zona de estudio y las que se eligieron como base para el análisis de los registros de aforos y su interpretación. De la superficie total de la cuenca, el 55% corresponde al área drenada de la estación "Pitiquito II", el resto del área es la parte final que desemboca en el Golfo de California.

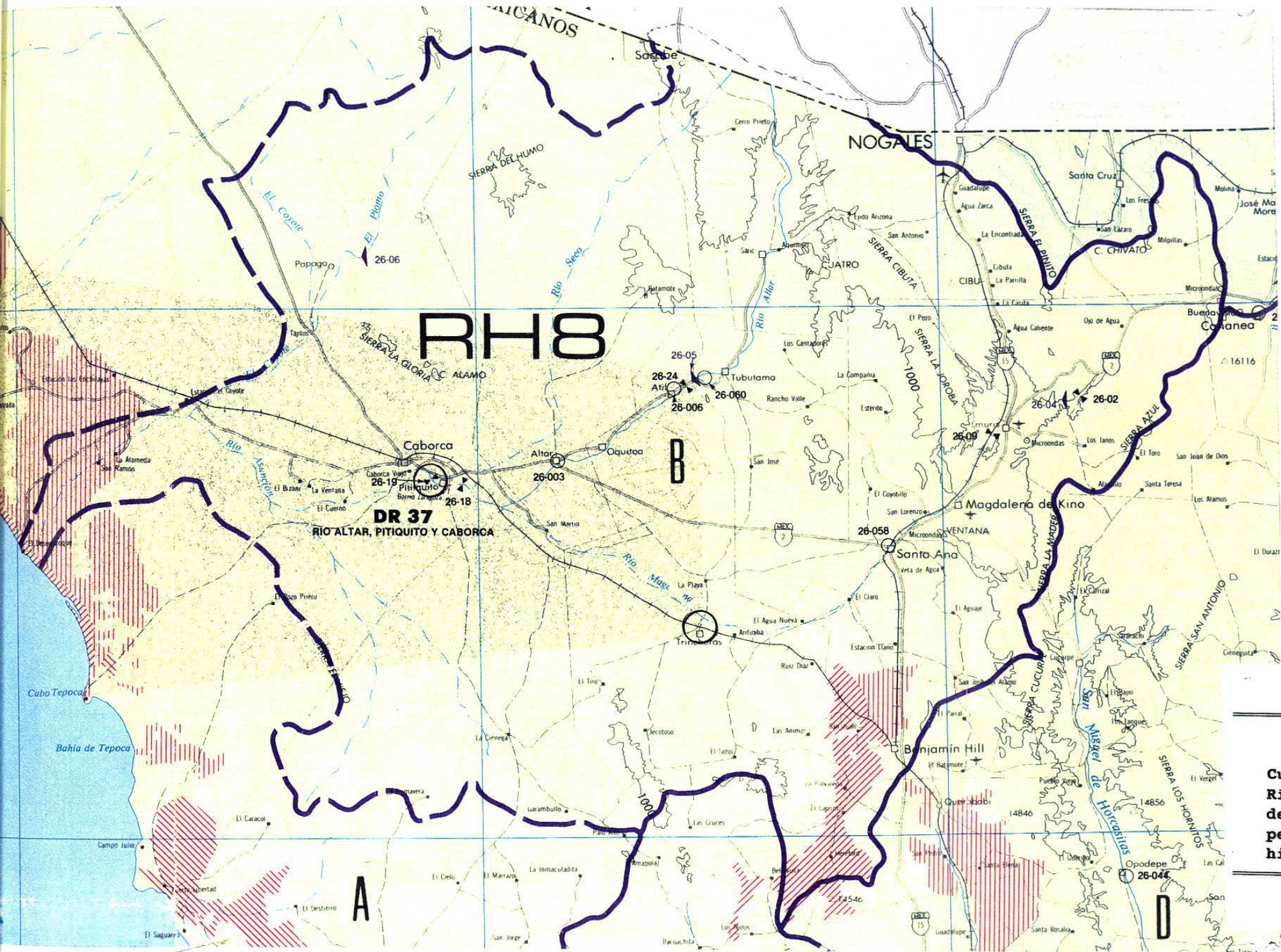
#### 3.2.- Corrientes Principales.

Las corrientes principales que drenan el área, son el Río Asunción ó Magdalena.

El Río Asunción es el nombre que toma el Río Magdalena al entrar a la zona de estudio del Valle de Caborca. Este Río, es la corriente mas importante de la Región Hidrológica No.8 por su área drenada, de la cual 310 Km<sup>2</sup> corresponden a territorio de Estados Unidos de Norteamérica. Sus limites son por el Oriente la cuenca del Río Sonora; al Sur la cuenca del Río Bacoachi; al Norte la del Río Sonoyta y la de los Ríos San Pedro y Santa Cruz que escurren hacia el territorio de Estados Unidos de Norteamérica.

El Río Magdalena, nace con el nombre de Arroyo La Piedra en la Sierra el Chivato, a pocos kilómetros al Sureste del Poblado Santa Cruz, Son., el cauce sigue un rumbo Suroeste, recibe por su margen derecha al Arroyo San Antonio y cambia su nombre al de Arroyo Cocospera. Inmediatamente aguas abajo de Imuris, Sonora, El Arroyo Cocospera, recibe por su márgen derecha las aportaciones del afluente el Arroyo Los Alisos y poco después por la misma margen el Arroyo Punta de agua; y toma el nombre de Río Los Alisos hasta las inmediaciones de Magdalena, Sonora, de donde parte con el nombre de ésta Población. De aquí, continua su curso hacia el Suroeste pasando por Santa Ana, Sonora. A la altura del Ejido Bellavista recibe por la margen izquierda el Arroyo El Carriso, poco después a la altura del ejido La Tinaja, recibe por su márgen derecha el Arroyo El Coyotillo; a partir de esta confluencia hasta Caborca, sigue un curso Noroeste entrando a la zona que nos ocupa y toma el nombre de Río Asunción.

El Río Asunción, recibe por su márgen derecha a la altura de Altar, Sonora, los Ríos Altar y el Sásabe pasando por Pitiquito, Sonora y posteriormente Caborca. Luego de pasar Caborca, un afluente importante del Río Asunción que se conecta a la altura del ejido El NORteño, es el Arroyo El Coyote, de aquí que toma la dirección Oeste atravesando la planicie costera hasta su desembocadura en el Golfo de California. Ver en el Plano No.1 anexo, la Cuenca Hidrológica.



Escala Grafica



Fig. 3.1  
Cuenca Hidrológica del  
Río Asunción-Magdalena  
de área 30,140 Km<sup>2</sup> que  
pertenece a la región-  
hidrológica No.8.

Esc. 1:1,000,000

### 3.3.- Hidrometría del Río Asunción.

Actualmente, los escurrimientos superficiales del Valle de Caborca, Sonora, están siendo aforados en las estaciones hidrométricas que se conocen como "Pitiquito II" y "Santa Rosa II".

#### 3.3.1.- Estación Pitiquito II.

La hidrométrica "Pitiquito II", localizada a unos pocos kilómetros aguas abajo del poblado de Pitiquito Sonora, representa un lugar de medición de escurrimiento superficial muy útil para los fines que se persiguen en el presente estudio, debido a que se ubica prácticamente en la entrada a la región acuífera en estudio. Dicha Estación, se instaló en Agosto de 1960 en sustitución de "Pitiquito I", 6 kilómetros aguas arriba, la cual estuvo registrando los escurrimientos del Río Asunción en el intervalo de 1950 a 1959. Durante este período, el promedio de volumen escurrido medio anual en el lugar se estima en 58.2 millones de metros cúbicos (según estudio realizado por TMI, 1975).

En Pitiquito II, se observan 49.2 millones de metros cúbicos de volumen escurrido medio anual (S.A.R.H., 1980). Durante la década de 1981-1991 de operación, el año de mayor volumen escurrido que se ha presentado en este sitio ha sido el de 1983 con un total de 209.2 millones de metros cúbicos observándose que en el mes de Octubre de ese año, la aportación ascendió a un total de 112.5 millones de m<sup>3</sup>, destacando una importante avenida a principios de ese mes, la cual se ilustra en la Fig 3.2 siguiente:

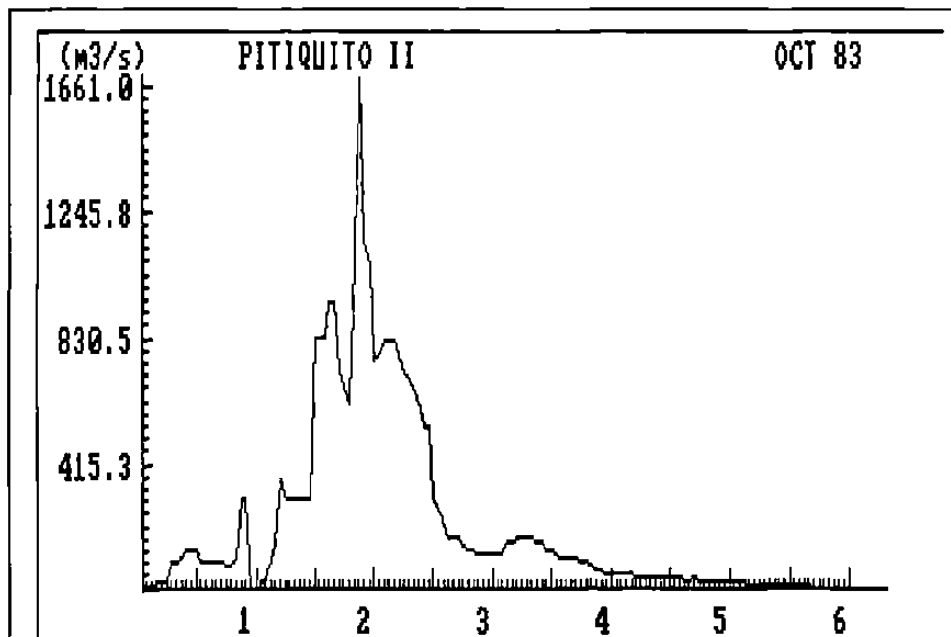


Fig. 3.2 Avenida del 1 al 4 de Oct. de 1983 en Pitiquito II.

En la figura anterior, se puede observar que los altos escurrimientos fueron ocasionados por las considerables precipitaciones señaladas en el capítulo anterior, y sumadas durante todo el año, representan los extremos máximos de precipitación total anual en los 24 años de observación, tanto en la Estación ubicada en Pitiquito como en la de Trincheras.

Se determinó que, la Estación Pitiquito II drena una superficie de 16,616 kilómetros cuadrados, contando con escala, molinete, limnígrafo y medición de sedimentos. Recibe las aportaciones del Río Magdalena y los Arroyos Los Alisos, Punta de Agua, El Carriso y El Coyotillo; así como el Río Altar y el Sásabe. En la fig. 3.3, se presenta el comportamiento de los volúmenes escurridos en la década 1981-1990 en la estación Pitiquito II, mientras que sus valores numéricos correspondientes se dan en la Tabla 3.1. Estos escurrimientos, fueron determinados a partir de los datos de los registros Tiempo-Escala y Escala-Gasto de la Estación de aforo respectiva.

Tabla 3.1. Escurrimiento total en los meses del año (miles de m<sup>3</sup>). Los meses donde no hay datos es porque su escurrimiento es casi nulo.

MES	AÑOS DE ESTUDIO										1x10 <sup>3</sup> M <sup>3</sup> TALES
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	
ENE	1393	----	4984	1759	12125	----	----	----	----	----	20261
FEB	----	----	32399	----	16342	----	----	----	----	----	48741
MAR	----	598	37908	----	----	----	----	----	----	----	38506
ABR	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
MAY	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
JUN	----	----	----	281	----	----	----	----	----	----	281
JUL	7412	3170	2904	5378	733	----	----	5734	797	8980	35108
AGO	2571	6966	2813	----	394	1314	1874	334	3550	1320	21136
SEP	4313	756	15695	970	----	275	108	----	----	1478	23595
OCT	499	----	112482	984	----	----	----	----	25465	----	139430
NOV	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
DIC	----	9682	----	21673	----	----	----	----	----	----	31355
TOTAL:	16188	21172	209185	31045	29594	1589	1982	6068	29812	11778	358413

De acuerdo a los datos de la tabla anterior, se puede deducir que el Escurrimiento Medio Anual para el período de 1981-1990 es de 35.8 millones de metros cúbicos. Se observa también que, el año de mayor volumen escurrido fue en 1983, con un total de 209.2 millones de metros cúbicos.

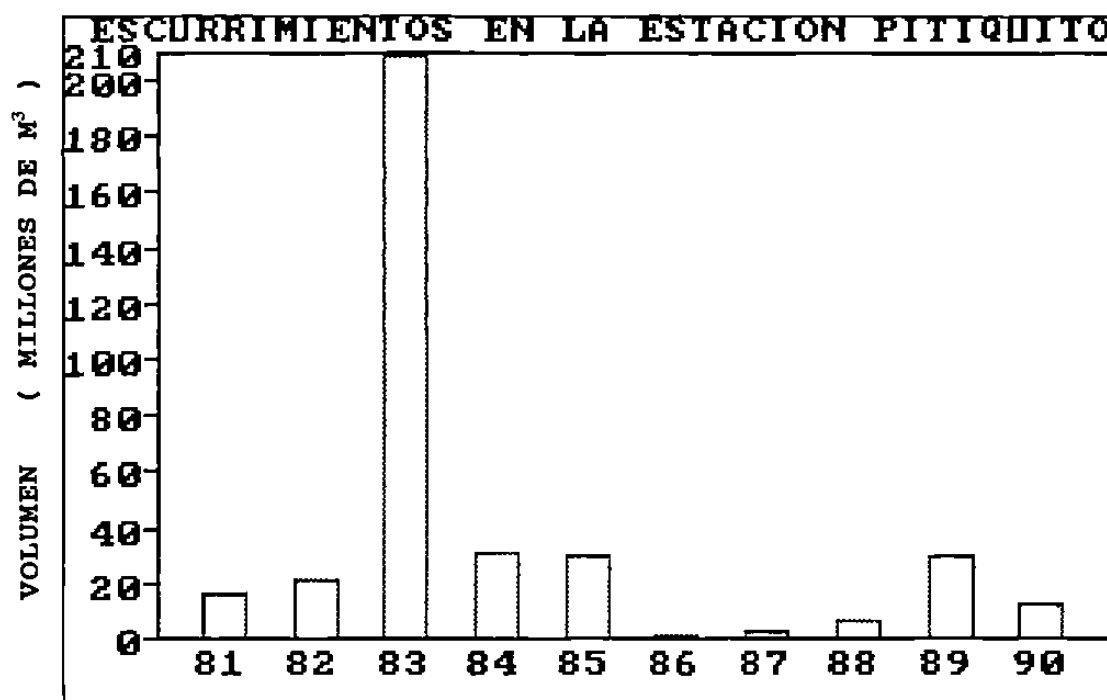


Fig 3.3. Volumen Escurrido Anual en la Hidrométrica Pitiquito II.

### 3.3.2.- Estación Santa Rosa II.

La estación se localiza a la altura del poblado Trincheras (a 537 msnm), a una distancia de 75 km. aguas arriba de la estación Pitiquito II, drenando un total de 7,060 km<sup>2</sup> de cuenca. En la Tabla que sigue, se muestran los datos hidrométricos correspondientes al período de observación.

Tabla 3.2 . Escurrimientos en la Estación Santa Rosa II, sobre el cauce del Río Asunción.

MES	AÑOS DE ESTUDIO										1x10 <sup>3</sup> M <sup>3</sup> TOTALES
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	
ENE	----	----	8756	27451	56211	----	----	----	----	----	92418
FEB	----	----	81069	----	52573	----	----	----	----	----	133642
MAR	----	----	64028	----	20039	----	----	----	----	----	84067
ABR	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
MAY	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
JUN	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
JUL	35107	9620	14749	37523	8225	5755	385	14479	2456	21243	149550
AGO	4888	----	11406	85231	2472	14533	8504	6902	6874	14947	155757
SEP	5458	4031	28407	16975	----	2607	----	----	554	2176	60208
OCT	2088	----	75426	3928	----	----	----	----	23244	----	104686
NOV	----	----	----	----	1254	----	----	----	----	----	1254
DIC	----	22724	----	52778	----	----	----	----	----	----	75502
TOTAL:	47541	36383	283841	223866	140774	22895	8889	21381	33128	38366	857084



Ahora bién, para la Hidrométrica Santa Rosa II, en el período de estudio de los datos de la tabla 3.2, resulta un Esgurrimiento Medio Anual de 85.7 Millones de M<sup>3</sup> de (mas de una vez y media que el observado en Pitiquito II), resultando también en el año 1983 un mayor esgurrimiento, con un total de 283.8 Millones de M<sup>3</sup>. En la figura que sigue, se presenta el comportamiento de los volúmenes esgurridos en la última década en la estación hidrométrica Santa Rosa II.

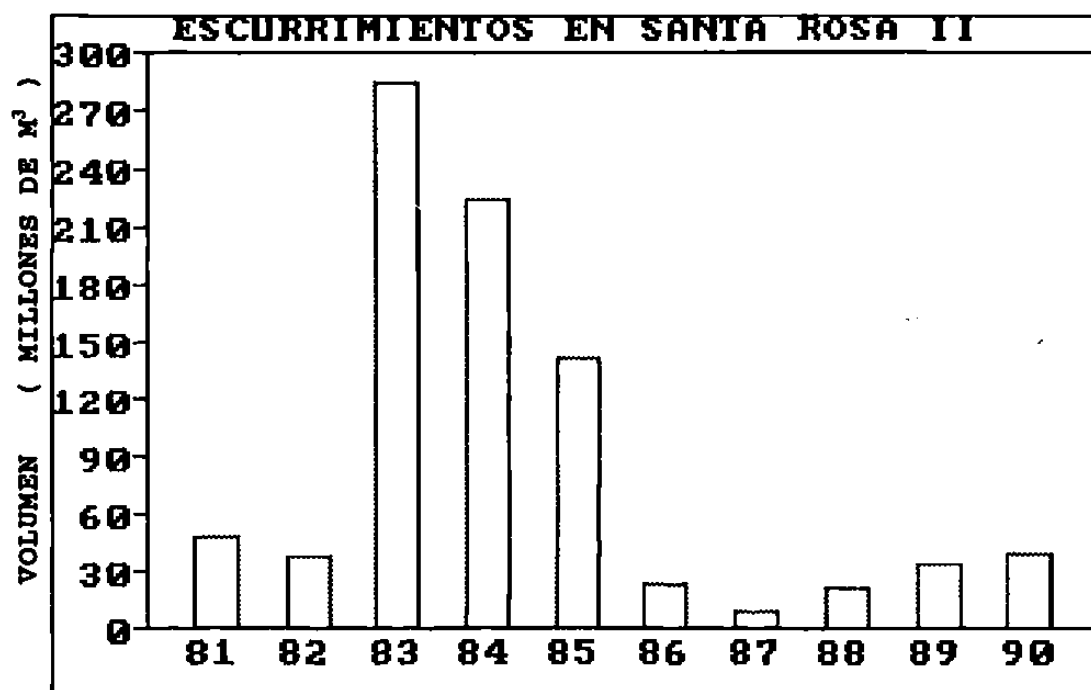


Fig. 3.4 Volúmen Esgurrido Anual en la Estación Santa Rosa II.

#### Comparación de los Volúmenes Esgurridos en las Estaciones Pitiquito II y Santa Rosa II:

La diferencia del Esgurrimiento entre las hidrométricas Santa Rosa II y Pitiquito II, se cree que es una magnitud aproximada al volúmen de las infiltraciones presentes en la conducción natural del tramo de cauce que las separa (de 75 Km). Dichas infiltraciones presentes en el tramo del cauce, deben corresponder a gran parte de la recarga natural producto del esgurrimiento superficial a la entrada de la zona de explotación del acuífero. Estas aseveraciones, son dignas de mencionar puesto que se sabe que los pozos localizados cerca de las márgenes del Río Asunción manifiestan recuperación de sus niveles de agua en épocas de avenidas.

Al cotejar los volúmenes de Esgurrimiento Medio Anual en la década 1981-1990, obtenidos de las tablas 3.1 y 3.2, se encuentra que, existe una diferencia del 58% entre los esgurrimientos de ambas estaciones. En esa comparación de

escurrimientos, se asume con cierto grado de certeza que la creciente de Pitiquito II corresponde a la de Santa Rosa II, alterada solo por las filtraciones durante su recorrido. La siguiente figura agrupa resultados de algunas avenidas analizadas y que fueron seleccionadas para ilustrar la relación que hay entre ambas estaciones hidrométricas.

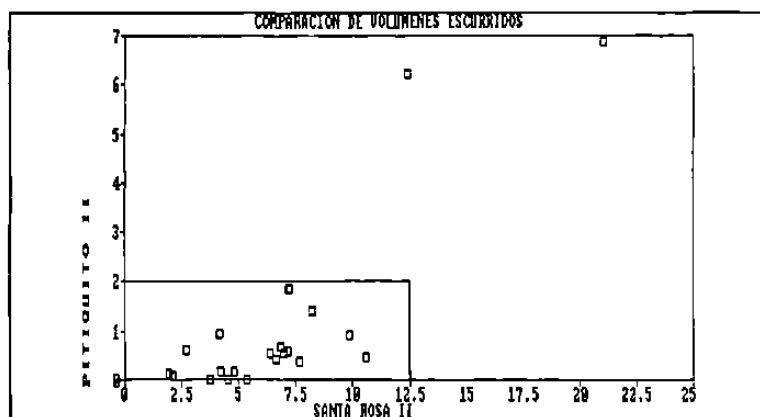


Fig. 3.5. Avenidas seleccionadas para estudiar las filtraciones por conducción en el tramo de 75 Km de río que separa a las dos estaciones.

En la grafica anterior, se avala la hipótesis que supone los altos valores de filtraciones en el lecho del río en el tramo que nos ocupa. Se observa que prácticamente en cualquier avenida en Santa Rosa II menor a 12.5 millones de m<sup>3</sup>, llegará a Pitiquito II con menos de 2 millones de metros cúbicos, de lo cual se puede decir que se tienen pérdidas de más del 84%. Ahora bien, para avenidas de mayor magnitud, el factor de diferencias osciló entre el 30% y el 50%, lo cual se debe lógicamente por la presencia de las altas velocidad del agua en el tramo del cauce y en consecuencia por el menor tiempo de llegada a Pitiquito. Las figuras 3.6 y 3.7 de la página siguiente muestran ejemplos típicos de las avenidas que se analizaron para efectuar la comparación de escurrimientos.

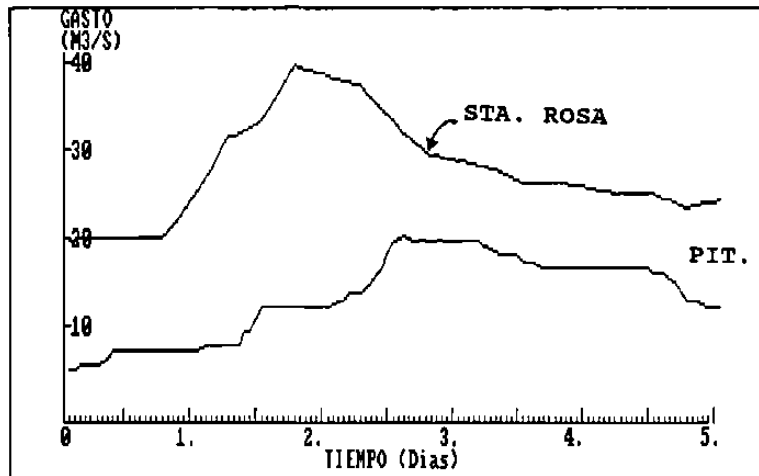


Fig. 3.6 Hidrograma para las Estaciones Santa Rosa II y Pitiquito II en una Avenida generada del 1 al 5 de Feb.de 1985.

Las estimaciones anteriores, indican que la zona oriental del acuífero resulta muy beneficiada con las filtraciones provenientes de los escurrimientos del Río Magdalena y que se miden en la Estación Santa Rosa II. Se deduce de ésto, que el resto de la zona de explotación (zonas central y poniente), no obtienen el mismo aprovechamiento por estar mas alejadas repercutiendo esto notablemente en sus abatimientos.

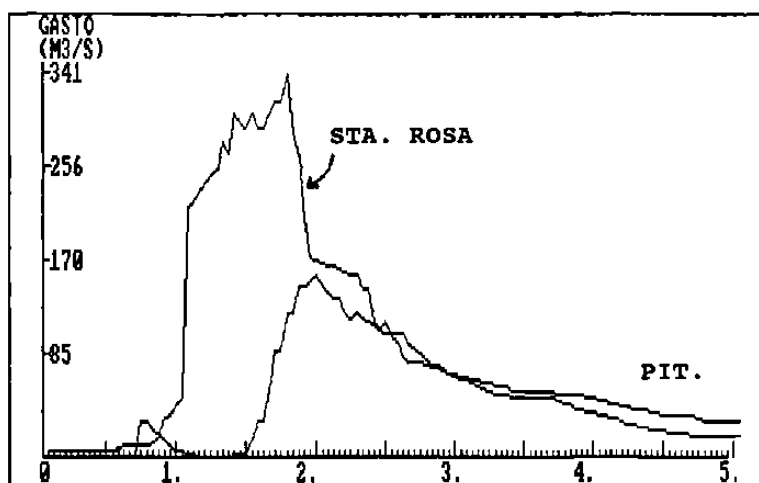


Fig. 3.7 Hidrogramas en Santa Rosa II y Pitiquito II para la Avenida presentada del 27 al 31 de Diciembre de 1984.

En los hidrogramas mostrados, se nota que estos tienen la misma forma en las primeras horas, sin embargo, en la rama descendente en su mayor parte son iguales; esto significa que las pérdidas por infiltración son casi nulas debido a una completa saturación en los primeros metros de profundidad para el tramo de cauce en cuestión.

### 3.4.- Coeficiente de Escurrimiento.

La confrontación de los volúmenes escurridos anuales contra los volúmenes de lluvia, genera los porcentajes que se conocen en la terminología hidrológica como "Coeficiente de Escurrimiento Anual" (C), y representan la parte de lluvia que logra escurrir por la cuenca y en consecuencia por la Estación de aforo.

Con la finalidad de evaluar los volúmenes escurridos a la zona de explotación, se calcularon los Coeficientes de Escurrimiento Anual para el Río Magdalena en cada año del período 1981-1989, considerando como punto de confluencia la subcuenca de la estación Pitiquito II. Estos valores, se aplicaron después a las subcuencas cuyas áreas de drenaje descargan al mismo punto de confluencia en la región de explotación, pretendiendo así estimar los escurrimientos a la entrada de la región de estudio en dicho período. Para realizar ésto, se utilizó el método de los Polígonos de Thiessen asignando a cada estación climatológica, el área drenada de influencia correspondiente de la cuenca del Río Magdalena -Asunción, según se puede observar en la discretización de la Fig 3.8.

Para la estación climatológica Presa Cuauhtémoc, resultó una área de influencia de 7,500 km<sup>2</sup> de subcuenca que descarga en la estación Pitiquito II. De la misma manera, para las estaciones Trincheras y la misma Pitiquito, se midieron áreas drenadas de 5,670 km<sup>2</sup> y 1,280 km<sup>2</sup> de subcuenca respectivamente; las cuales al sumarlas resulta un total de área drenada hasta la Estación "Pitiquito II" de 14,450 km<sup>2</sup>.

Tabla 3.3 Area que drena cada Estación de acuerdo a Thiessen.

ZONA DE ESTACION CLIMATOLOGICA	AREA (KM2)	% DEL AREA TOTAL DRENADA
Cuauhtémoc	7,500	52
Trincheras	5,670	39
Pitiquito	1,280	9
Area Total hasta Pitiquito II:	14,450	100

De acuerdo a la ubicación de las estaciones climatológicas, se llegó a elaborar la discretización antes descrita para el área de interés dentro de la cuenca de estudio, en cuya zona, se determinó la Precipitación Media Anual aplicando también el criterio de Thiessen (ecuación 3.1) desde la parte que corresponde al área drenada de la subcuenca, hasta la Estación Pitiquito.

Lo anterior, se realizó usando los valores de la Precipitación Total Anual, de cada Estación Climatológica para el período 81-89, cuyos valores se anotan en la tabla 3.4.

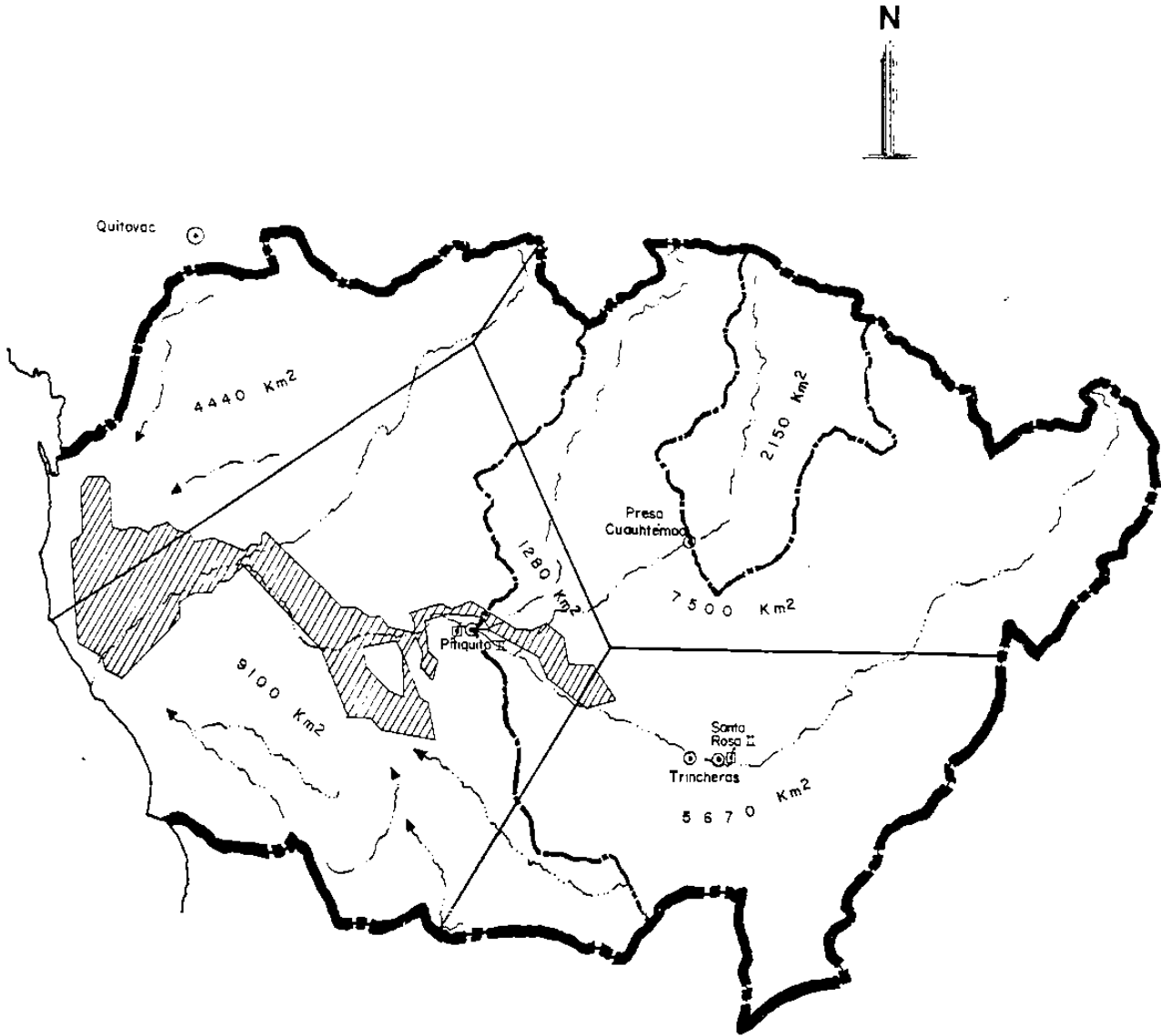


Fig. 3.8. Discretización para el cálculo de la Precipitación Media Anual y de los Volúmenes Escurridos en la Zona de Estudio, según el criterio de Thiessen.

Los valores de la Precipitación Total Anual que se anotan en la tabla 3.4 provienen directamente de los archivos de la información proporcionada por la CNA, mientras que los de la Precipitación Media Anual, han sido determinados a partir del criterio de Thiessen, como sigue:

$$P_m = \frac{P_c (A_c) + P_i (A_i) + P_p (A_p)}{A_c + A_i + A_p} \quad (3.1)$$

Siendo:

$P_m$  = Precipitación Media Anual, mm.

$P_c, P_i, P_p$  = Precipitación Total Anual en las Estaciones Cuauhtémoc, Trincheras y Pitiquito, mm.

$A_c, A_i, A_p$  = Area de cada Estacion comprendida hasta Pitiquito II, Km<sup>2</sup>.

Así por ejemplo, el valor de la Precipitación Media Anual para el año de 1981, resulta ser de:

$$P_m = \frac{349.2 (7500) + 266.5(5670) + 213.6(1280)}{14450}$$

Efectuando operaciones, se tiene que la Precipitación Media Anual, es de:

$$P_m = 304.7 \text{ mm}$$

El resto de los cálculos de la Precipitación Media Anual se dan en la tabla siguiente:

TABLA 3.4 Precipitación total anual y media anual (mm) en el período 81-89.

ESTACION	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Quitovac	131.0	207.0	529.2	348.0	263.0	193.6	222.3	281.8	152.4
P. Cuauhtémoc	349.2	361.4	682.4	590.7	250.3	438.8	226.1	366.7	296.7
Trincheras	266.5	331.5	545.0	294.4	348.8	155.0	188.6	224.5	320.0
Pitiquito	213.6	264.4	494.1	364.2	180.2	236.7	147.0	274.1	185.5
Precip. Media Anual (Pítiq):	304.7	341.0	612.0	454.7	282.4	309.6	204.4	302.7	296.0

Con los resultados de la precipitación media anual señaladas en la tabla anterior y los valores de escurrimiento total anual correspondientes a la Estación Hidrométrica Pitiquito II (de tabla 3.1), se calcularon los coeficientes de escurrimiento (C) para cada año, mismos que se aprecian en la tabla 3.5.

es decir,

$$V = (A) (P_m) \quad (3.2)$$

Siendo:

V = Volumen llovido hasta la estación Hidrométrica Pitiquito II

A = Area total drenada hasta la misma estación.

P<sub>m</sub> = Precipitación Media Anual en Pitiquito.

Así por ejemplo, para el año de 1981 se tiene:

$$V = (14450) (0.3047)$$

$$V = 4,403 \text{ Millones de metros cúbicos}$$

Por lo que, el Coeficiente de Escurrimiento (C) para éste año resulta ser:

$$C = \frac{16.2}{4403} = 0.004$$

A continuación, se presentan los valores del coeficiente de escurrimiento anual para cada año investigado, según el procedimiento descrito.

Tabla 3.5 Coeficiente de Escurrimiento del Río Magdalena hasta la estación Pitiquito II durante el Período de Estudio.

AÑO	P. MEDIA ANUAL (mm)	VOL. LLOVIDO (Mill. m3)	VOL. ESC. (Mill. m3)	COEFICIENTE DE ESCURR.
81	304.7	4403.0	16.2	0.0040
82	341.0	4927.5	21.2	0.0040
83	612.0	8843.4	209.6	0.0240
84	454.7	6570.4	31.1	0.0050
85	282.4	4080.7	29.6	0.0070
86	309.6	4473.7	1.6	0.0004
87	204.4	2953.6	2.0	0.0007
88	302.9	4376.9	6.1	0.0020
89	296.0	4277.2	29.8	0.0070

Como podemos ver, estas cuantificaciones arrojan cifras de escurrimiento superficial verdaderamente pobres como para recargar un depósito natural de las dimensiones de la zona de estudio, lo cual certifica que los volúmenes de lluvia son extremadamente pequeños. En lo que se refiere al volumen de escurrimiento, solo el año de 1983 resultó extraordinariamente benéfico, con un escurrimiento mayor de 15 veces la media.

Ahora bien, comparando el resto de los valores con los correspondientes a los volúmenes de agua bombeados, resultan muy escasos, baste decir que tan solo en el ciclo 1988-1989, el volumen estimado de bombeo reconocido oficialmente por la

Comisión Nacional del Agua (CNA), fué de 440 Millones de metros cúbicos. Si eliminamos el escurrimiento de 1983, el promedio resulta ser de 20.15 Millones de metros cúbicos en cuanto a volumen de agua escurrida se refiere.

### 3.5.- Fisiografía y Geomorfología.

El Río Magdalena inicia el drenado de su cuenca al Noroeste de la Ciudad de Cananea, a una altura de casi 2,000 metros sobre el nivel del mar, por una corriente que desde este punto hasta el Poblado de Magdalena; lleva el nombre de Río de los Alisos. De Magdalena a Caborca, la corriente toma el nombre de Río Magdalena y de este lugar hasta su desembocadura en el Golfo de California recibe el nombre de Asunción.

Los patrones de drenaje presentes en la zona son: dendríticos en la mayor parte de la Sierras, con excepción de la Sierra El Alamo y El Cerro Jojoba; puesto que ambas se constituyen como estructuras semicirculares, en ellas el patrón de drenaje es radial.

La zona de estudio, se encuentra representada por montañas complejas constituidas por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, dichas montañas se encuentran separadas por extensos valles que están rellenos de materiales clásticos no consolidados de naturaleza permeable.

Las rocas ígneas, tanto intrusivas como extrusivas que predominan en el área son: granito, granodiorita, tonalita, diorita, riolita, dacita, toba ácida, andesita y basalto. En menor proporción se encuentran las sedimentarias y metamórficas, las primeras son caliza, arenisca, lutita, limolita y conglomerado así como, distintas asociaciones de éstas; las segundas generalmente son gneis, esquisto y andesita ligeramente metamorfizadas.

Los suelos aluviales están ampliamente distribuidos en el área y los forman depósitos no consolidados de gravas, arenas y arcillas, los cuales varían en composición y granulometría.

El relieve es muy variado ya que se presentan pequeñas Sierras, lomeríos, valles y una extensa planicie costera. Las Sierras mas importantes son El Alamo, La Gloria, La Vibora, El Viejo, Aguirre, Picu y Julio; teniendo la máxima elevación en el cerro El Alamo, cercano a la Sierra La Gloria con 1,300 msnm. Los lomeríos se forman al pié de dichas Sierras ó con el conjunto de pequeños cerros, existen valles entre estos accidentes, siendo el principal el de Caborca que se extiende hasta la planicie costera.

La disponibilidad de agua superficial es muy reducida y se limita al escurrimiento del Río Asunción. El único embalse importante localizado en el área de los pozos es la Presa Cuauhtémoc, ubicada sobre el Río Altar, aguas arriba de la confluencia de éste con el Río Asunción al Noreste de Caborca. Es de hacer notar el papel importante que tiene este recurso superficial; en la participación de la recarga del acuífero del Valle de Caborca en aquellos casos que las condiciones pluviométricas lo han permitido.



### 3.6.- Geología.

Desde la parte superior del Terciario hasta el Reciente, el área ha estado sujeta a un período de intensa erosión que propició el relleno de las depresiones y el modelado actual de la cuenca. Las depresiones ocupadas por los materiales aluviales, tienen su representación actual en el área de Pitiquito, Caborca, Bisani y del Desemboque.

Las grandes Sierras que circundan el área, están formadas por rocas ígneas intrusivas y sedimentarias de naturaleza impermeable; al pié de ellas, existen depósitos de talud, formados por clásticos gruesos que favorecen la infiltración del agua de lluvia hacia la planicie aluvial. Entre estos depósitos de pié de monte, destacan los provenientes de rocas intrusivas compuestas por arenas cuarzosas que tienen gran capacidad de infiltración.

Los materiales aluviales de las porciones Norte y Sur de la cuenca, tienen un espesor muy reducido en comparación con el encontrado en el centro; además, los materiales que lo forman contienen un gran porcentaje de arcillas derivados de sedimentos tobáceos, que trae como consecuencia una disminución de la permeabilidad.

En estos materiales cuaternarios, se alojan los acuíferos en explotación, los cuales tienen sus fronteras en las rocas impermeables que forman las Sierras circundantes e intermedias. Los depósitos aluviales cuaternarios constituyen el acuífero de medios granulares que regionalmente funciona como acuífero libre. Lateralmente, esta unidad aluvial está limitada por fronteras impermeables representadas por rocas ígneas intrusivas, extrusivas y metamórficas. Las características hidráulicas promedio que se han obtenido en estudios anteriores (TMI, 1975), de los coeficientes de Transmisibilidad (T) y de Almacenamiento (S) en la zona poniente del acuífero son: 713.5 m<sup>2</sup>/día y 0.00378 respectivamente, así como para la zona central: 1011.5 m<sup>2</sup>/día y .0023 respectivamente.

#### 3.6.1.- Estratigrafía.

La secuencia estratigráfica de las rocas que afloran en el área, forman una columna geológica cuya edad comprende desde el Precámbrico Inferior hasta el Reciente. A continuación se describen estas unidades desde la más antigua a la más joven.

##### a). Precámbrico y Paleozoico.

En esta unidad se encuentran: calizas con pedernal, areniscas, dolomitas, conglomerados y rocas intrusivas y metamórficas. La superficie de afloramientos se encuentra restringida a la porción Sur de la cuenca, donde forman las Sierras del Chanate al Noreste de Caborca, la del Alamo al Sur del Valle Bisani y la porción Norte de la Sierra de Los Arrojitos. Otros afloramientos de estas rocas de mayores dimensiones, forman los cerros de Chino, Rajon, San Clemente, Gamuza, Berruga, Calavera y Aquintuni en la porción Sureste.

Las rocas agrupadas en esta unidad forman el basamento regional del área.

**b). Mesozoico.**

Las rocas correspondientes a la Era Mesozoico, tienen dentro del área de estudio una extensa distribución horizontal. A través de las edades del Triásico, Jurásico y Cretácico, se tiene una secuencia de rocas intrusivas, metamórficas y sedimentarias que corresponden a granodioritas, granitos, dioritas, monzonitas, volcánicas metamórfizadas y unidades de rocas mesozoicas.

**b.1). Rocas Intrusivas.**

De estas rocas, las correspondientes a la monzonita y la diorita, afloran principalmente en el extremo Sur de la cuenca, al Suroeste de la Sierra de El Alamo, en afloramientos de reducida superficie.

Dentro del grupo de rocas intrusivas, en el Norte de la cuenca existe una serie de afloramientos de granito. En esta porción Norte, forman entre otros, los Cerros de la Nacha y San Diego.

**b.2). Conglomerados, Areniscas y Brechas.**

Dentro del área, las rocas sedimentarias están representadas por los materiales clásticos de la primera parte del mesozoico.

Existen en superficies muy reducidas afloramientos de esta unidad, ya que debido a la edad de su depósito, por una parte la erosión y por otra parte las rocas más jóvenes que la han cubierto. Estas escasas áreas de afloramiento se encuentran en la parte Norte de la Sierra de El Alamo, en forma de conglomerados, areniscas y brechas.

**b.3). Rocas Metamórfizadas.**

En el Noreste de la cuenca, se continúan los afloramientos de Edad Mesozoica compuestos por rocas metamórfizadas de origen probablemente sedimentario. Forman en esta parte los Cerros de San Perfecto y Las Norias, sobre la margen derecha del Arroyo El Coyote. Hacia el Noroccidente en el extremo de la cuenca, los sedimentos mesozoicos metamórficos, forman por el Cerro de San Antonio a la altura de los Poblados del rancho de Guadalupe y Quitovac.

En la porción Centro-Occidental de la cuenca, aproximadamente a 10 kilómetros al Norte de la Ciudad de Caborca, los afloramientos mesozoicos compuestos por rocas metamórficas, forman las Sierras de La Gloria y de El Alamo.

**c). Terciario.****c.1). Rocas Igneas Extrusivas, Ácidas y Básicas.**

Las rocas comprendidas dentro de la cuenca, se encuentran ubicadas desde el Paleoceno hasta la parte superior del Terciario. Las rocas expuestas corresponden a rocas volcánicas y sedimentarias. Entre las volcánicas, se tienen las andesitas y derrames de lavas de roca ácidas y básicas.

Generalmente las rocas volcánicas del Terciario se encuentran distribuidas en la parte Noreste de la zona de estudio y formadas en su mayoría por riolitas, andesitas y tobas.

#### **d). Cuaternario.**

##### **d.1). Derrames Basálticos.**

Aquí se encuentran las rocas que ocupan la mayor superficie dentro del área estudiada. Estas rocas, están divididas en volcánicas y sedimentarias. Dentro de las volcánicas se tiene las emisiones basálticas las cuales se encuentran distribuidas en la porción Noreste de la cuenca.

##### **d.2). Depósitos Aluviales, Fluviales y Suelos Residuales.**

Las rocas sedimentarias por su distribución y por su naturaleza, representan para el caso del estudio del acuífero, la unidad geológica de mayor importancia.

Formadas por arenas, gravas y limos, se encuentran distribuidas en dos grandes grupos: depósitos aluviales y depósitos fluviales. Los primeros ocupan las áreas del valle, mientras que los fluviales ocupan las terrazas excavadas por las corrientes superficiales que descienden hacia la planicie aluvial.

Aunque la distribución horizontal de los sedimentos clásticos ocupa la mayor superficie de la cuenca, solamente en la mitad Sur se acumularon en espesores apreciables debido a la formación de depresiones estructurales que fueron rellenadas por estos sedimentos clásticos no consolidados de naturaleza permeable.

#### **3.6.2.- Geología Historica.**

La cuenca estudiada ocupa una parte de una antigua y extensa cuenca marina, cuya edad abarca desde el Precámbrico, todo el Paleozoico, el Triásico y primera parte del Jurásico. Durante este intervalo geológico tuvieron lugar depósitos marinos de entre los que destacan lutitas y calizas. Ya durante el Precámbrico existen rocas intrusivas que dan origen a una primera metamorfización de las rocas plutónicas. En el período Cretácico, tienen lugar las intrusiones de rocas plutónicas. En el Terciario tiene lugar una fuerte emisión de rocas volcánicas que cubren parcialmente y en las partes bajas, a las rocas tanto intrusivas como a las rocas metamórficas plegadas del Paleozoico.

El tectonismo produjo fosas ó depresiones tectónicas que fueron ocupadas en parte por las rocas intrusivas y en parte por las rocs volcánicas. el paisaje así modificado y rejuvenecido fué sujeto a una intensa erosión desde principios del Terciario hasta el Reciente. La erosión de las partes altas acarreó hacia las partes bajas, considerables volúmenes de sedimentos clásticos que rellenaron las fosas tectónicas.

### 3.6.3.- Geología del subsuelo.

De acuerdo a los estudios Geológicos que se han realizado en la zona de estudio (TMI, 1975), sobresalen las siguientes unidades:

- Depósitos Aluviales
- Caliza, Dolomita y Conglomerados Cálcareos
- Sedimentos Arcillosos

#### Depósitos Aluviales:

Esta unidad corresponde a los depósitos aluviales del Cuaternario y constituyen los rellenos del Valle. Consisten de boleas, gravas, arenas, lentes de arcilla y limos.

La distribución de estos sedimentos en el subsuelo, presentan variaciones laterales de facies, existiendo depósitos limo-arcillosos con poco contenido de gravas que lateralmente cambian a arenas, gravas y boleas exentos de estos materiales limosos.

Existe cierto predominio de los sedimentos limosos sobre los sedimentos de gravas y arenas, el cual se pronuncia en la región del Coyote y Desemboque.

En el área de Pitiquito, el espesor aluvial se sabe por inferencias de varios pozos que su espesor no excede los 200 metros. Por lo que respecta al área principal del Valle de Caborca, se ha definido que el espesor de estos materiales aluviales es de unos 250 metros aproximadamente.

En el Valle del Bisani, el espesor promedio es de 180 metros aproximadamente, el cual disminuye progresivamente hasta los 60 metros, en las proximidades del estrechamiento que separa a este Valle de la región del Coyote.

En la región del Coyote, se ha inferido que los depósitos aluviales, están compuestos exclusivamente de materiales limosos, formando un espesor de aproximadamente 250 metros en promedio, estos materiales descansan sobre arcillas arenosas de naturaleza impermeable. En la porción Occidental de la región del Coyote, ya sobre la margen derecha del mismo Arroyo; los depósitos limosos cambian a facies de gravas y arenas cubriendo un espesor de 150 metros.

Dentro de la misma región del Coyote y en su extremo Occidental, los depósitos granulares vuelven a estar constituidos por un predominio de materiales limosos, estos materiales se extienden desde ese punto hasta toda la parte del área Coyote-Desemboque, donde forman espesores que van de 140 a 200 metros para reducirse después considerablemente ya en la región del propia del Desemboque a un espesor promedio de 80 metros.

#### Caliza, Dolomita y Conglomerados Cálcareos:

Esta unidad corresponde a las rocas mas antiguas de la región estudiada, pues su edad se le asigna al Paleozoico.

Constituye en general, una serie de rocas calizas con pedernal, calizas y areniscas, dolomitas, rocas intrusivas y metamorfozadas con sedimentos de conglomerado cálcareo. Esta unidad forma probablemente el basamento regional del Valle de Caborca en general.

#### **Sedimentos Arcillosos:**

Estos sedimentos, se encuentran constituidos por tres cuerpos de arcillas, con diferentes características físicas que las difieren entre sí. Estas arcillas son: un cuerpo de arcilla amarilla compacta y plástica, que generalmente se encuentra exenta de materiales plásticos mayores, como arenas y gravas; una arcilla arenosa de color marrón con poca grava, compacta y plástica y, por último, una arcilla arenosa color gris azul con intercalaciones de gravilla y grava (TMI, 1975).

Estos sedimentos arcillosos en conjunto, se encuentran por debajo de los materiales aluviales; y se encuentran descansando sobre el lecho rocoso formado por rocas intrusivas o metamórficas.

#### **3.6.4.- Funcionamiento Hidráulico de las Rocas.**

Desde el punto de vista hidrogeológico, la descripción de las rocas anotadas anteriormente, se identifican como :

- Depósitos Aluviales Cuaternarios
- Depósitos Fluviales Cuaternarios
- Sedimentos Terciarios y Cuaternarios
- Rocas Igneas, Intrusivas, Extrusivas y Metamórficas

#### **Depósitos Aluviales Cuaternarios:**

Estos materiales, debido a su composición heterogénea de arenas, gravas, boleas y limos, constituyen un depósito de alta permeabilidad donde se aloja el acuífero en explotación en el Valle de Caborca, comprendido dentro de la Cuenca del Río Asunción.

Este acuífero de medios granulares, es alimentado principalmente por medio de infiltración de los escurrimientos superficiales de los Arroyos y Ríos que corren sobre la superficie de los Valles ahí existentes, así como la infiltración de agua que estas mismas corrientes superficiales producen en el contacto de la Sierra circundante con el Valle.

Dentro de estas corrientes superficiales, las correspondientes al Río Asunción y Arroyo el Coyote, son las que generan la mayor recarga a estos depósitos aluviales Cuaternarios; esta recarga es inducida preferentemente, en aquellas áreas de los Valles donde los suelos tienen mayor cobertura de depósitos

arcillosos, como en el caso del Valle del Bísani donde los suelos están formados por arenas gruesas, así como en la confluencia del Arroyo El Coyote con el Río Asunción, área en la que los suelos están formados por arena gruesa y gravas.

Estas condiciones, favorecen notablemente la infiltración del agua desde la superficie hasta los niveles de saturación. Los espesores de los materiales granulares que constituyen el acuífero, varían en cada uno de los Valles, así como su permeabilidad debido principalmente a la intercalación de facies de grava y arenas con limos arenosos; sin embargo, puede considerarse que en conjunto estos materiales aluviales saturados, forman un acuífero de alta permeabilidad, según lo demuestran los altos volúmenes de explotación que se han extraído año con año del almacenamiento subterráneo.

#### **Depósitos Fluviales Cuaternarios:**

Estos depósitos están formados por materiales de gruesa granulometría y forman estructuras de terrazas fluviales. Entre estos, destaca por su importancia los materiales fluviales que se encuentran descansando sobre laderas de las Sierras El Viejo, del Cerro Pozo Prieto, del Cerro Colorado y del Cerro El Alamo, en la margen izquierda del Río Asunción. No obstante, la alta permeabilidad de estos materiales, no constituyen acuíferos, debido a que el agua infiltrada en ellos se drena rápidamente hacia la ribera del Río Asunción y pasa a infiltrarse posteriormente en el Valle de Bísani y en la región del Coyote.

#### **Sedimentos Terciarios y Cuaternarios:**

Esta unidad, está formada por gravas, arenas, arcillas y materiales tóbaceos que forman una delgada cubierta sobre el lecho rocoso de las Sierras circundantes. En el área de estudio, forman por una parte, las empinadas laderas que descienden desde las Sierras hacia las partes planas; y por otra parte, extensas planicies en la porción Noroccidental de la cuenca formada esencialmente por depósitos arenosos que constituyen médanos y dunas.

En la primer expresión morfológica mencionada, las arcillas y depósitos tóbaceos superficiales de naturaleza impermeable impiden la infiltración del agua de los escurrimientos superficiales, formándose una extensa red de drenaje por medio del cual el agua precipitada en esta zona es conducida hacia las partes planas donde tiene lugar la infiltración. Por lo que respecta a las planicies arenosas, son de poca importancia para la recarga del acuífero, debido a la escasez de escurrimientos superficiales por la misma árides.

#### **Rocas Igneas Intrusivas, Extrusivas y Metamórficas:**

Estas rocas se han agrupado, dadas sus características físicas similares, dentro de un solo grupo, cuyo rasgo común es la casi nula propiedad para transmitir ó almacenar agua.

Son ígneas intrusivas, tales como granito, granodiorita, diorita y tonalita;

extrusivas ácidas y básicas (riolita, toba, dacita, andecita); rocas metamórficas, rocas plutónicas, conglomerados, areniscas y brechas, calizas con areniscas y dolomitas.

Su extensa área de afloramiento funciona como zona de captación del agua de precipitación pluvial, la cual es colectada por el extenso sistema de drenaje natural que en ella se desarrolla, para escurrir hacia las áreas de contacto con el material aluvial de los Valles existentes, donde se presentan los escurrimientos. Localmente, estas rocas pueden presentar permeabilidad por fracturamiento, la cual puede considerarse despreciable dado el régimen de recarga en la zona.

Escala Grafica



PERMEABILIDADES:

- ALTA EN MATERIALES CONSOLIDADOS.....
- MEDIA EN MATERIALES CONSOLIDADOS.....
- BAJA EN MATERIALES CONSOLIDADOS.....
- ALTA EN MATERIALES NO CONSOLIDADOS.....
- MEDIA EN MATERIALES NO CONSOLIDADOS.....
- SOBREEXPLOTADO.....

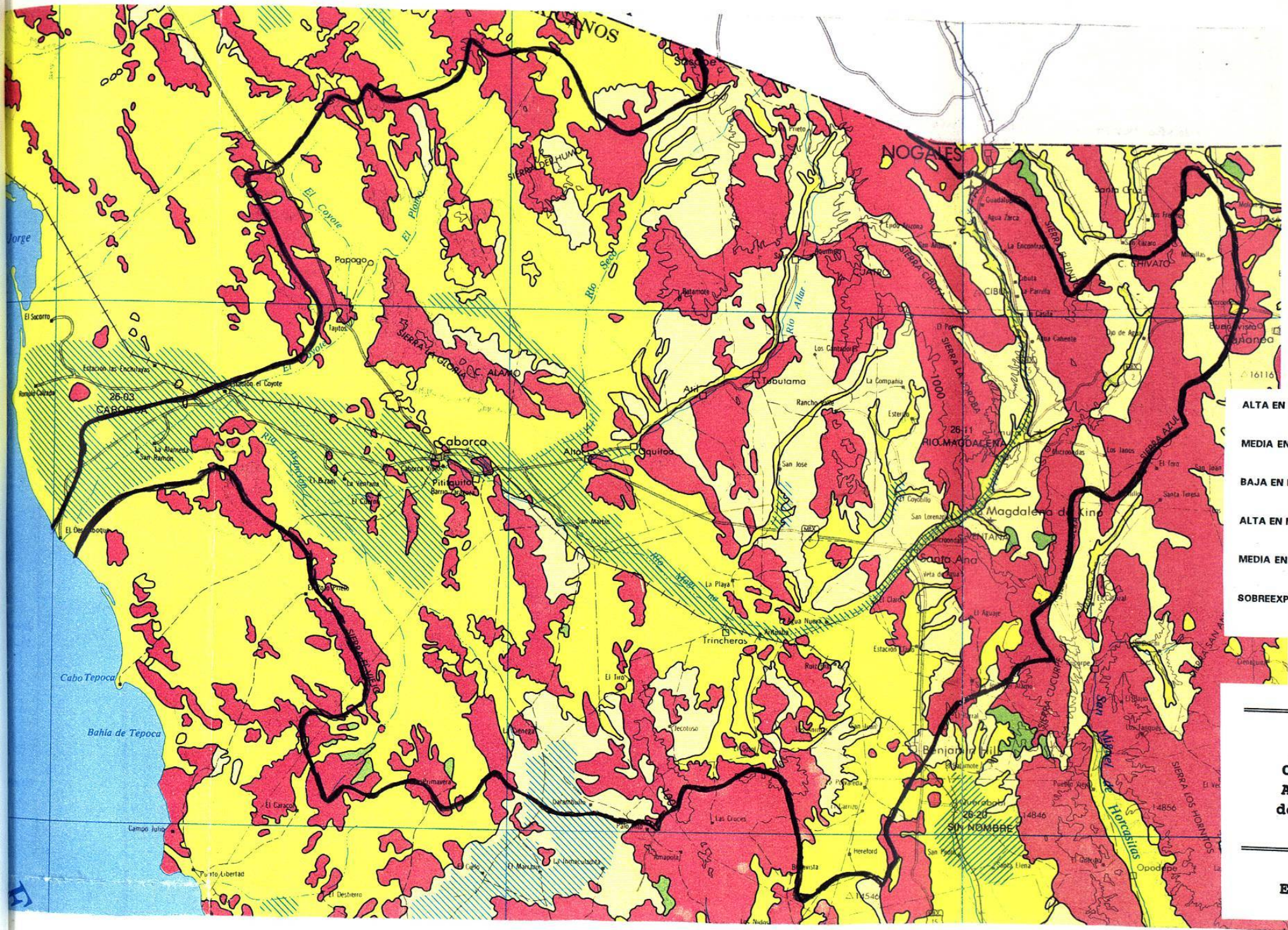


Fig. 3.9

Cuenca Hidrológica de Aguas Subterráneas - del Valle de Caborca.

Esc. 1:1,000,000