

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



**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA
SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL
RÍO SONORA**

TESIS PROFESIONAL

**Que para obtener el título de:
GEÓLOGO**

**Presenta:
ANA ZOE NAVARRO APODACA**

Hermosillo, Sonora, México

Julio de 2009

17
8683

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



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



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



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

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

EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

Hermosillo, Sonora, Marzo 13, 2009

M.C. SAÚL HERRERA URBINA
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
P R E S E N T E .

Por este conducto y de la manera más atenta, estamos sometiendo a su consideración para su aprobación, el tema de tesis intitulado:

“Evaluación hidrológica superficial de la Cuenca del Río Sonora”

Con el fin de que la pasante de geólogo: *Ana Zoe Navarro Apodaca*, pueda presentar su examen profesional para la obtención del título de Licenciado en Geología de esta Universidad.

Sin otro asunto en particular, le reiteramos nuestra consideración más distinguida.

ATENTAMENTE
“EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA”


M.I. EVA LOURDES VEGA GRANILLO
Directora de tesis



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGÍA

c.c.p. Interesada
c.c.p. Archivo





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

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

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

26 de Marzo, 2009.

M.I. EVA LOURDES VEGA GRANILLO
DIRECTOR DE TESIS
Presente.-

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

**"EVALUACION HIDROLOGICA SUPERFICIAL DE LA
CUENCA DEL RIO SONORA"**

Esto es con el fin de que la alumna **ANA ZOE NAVARRO APODACA** pueda
presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura. Asimismo
le comunico que han sido asignados los siguientes Sinodales:

GEOL. MARIANO MORALES MONTAÑO
DR. JOSE CASTILLO GURROLA
M.I. EVA LOURDES VEGA GRANILLO

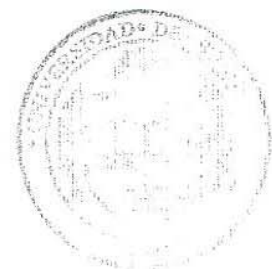
PRESIDENTE
SECRETARIO
VOCAL

Sin otro en particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"



M.C. SAUL HERRERA URBINA
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA**

C.c.p. Archivo.



NOMBRE DE LA TESIS:

**“EVALUACION HIDROLOGICA SUPERFICIAL DE LA
CUENCA DEL RIO SONORA”**

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES:

ANA ZOE NAVARRO APODACA

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

Mariano Morales Montaña
GEOL. MARIANO MORALES MONTAÑO

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

Jose Castillo Gurrola
DR. JOSE CASTILLO GURROLA

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

Eva Lourdes Vega Granillo
M.I. EVA LOURDES VEGA GRANILLO

ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

Saul Herrera Urbina

M.C. SAUL HERRERA URBINA
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA.



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA

SHU*ar

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a nuestra alma mater (UNISON) y en especial al Departamento de Geología y a todo su personal académico, por haberme dado la oportunidad de mi preparación profesional de la cual me siento muy orgullosa.

Deseo agradecer muy especialmente a la maestra M.I. Eva Lourdes Vega Granillo por su gran paciencia, entrega y aguante durante el tiempo que me dedicó para la culminación de este trabajo. De igual manera agradezco a los maestros Dr. José Castillo Gurrola y Geol. Mariano Morales Montaña por la revisión, sugerencias y buena disposición, brindando siempre su apoyo y sus valiosos comentarios.

Espero que con el resultado pueda corresponder a su trabajo y tiempo dedicado a esta actividad.

No puedo dejar de agradecer también a mi maestro Luigi Radelli Rocco por brindarme su apoyo moral y entusiasmo.

A mi hijo Arturo por comprender mis horas de ausencia.

A mis padres Taide y Delia, y a mi hermano Emiliano por estar a mi lado al pendiente de mí en todo momento e impulsarme a seguir adelante.

A mis amigos que de un modo o de otro estuvieron presentes durante este trabajo.

Y a ti que me enseñaste que el Mundo no es como yo creía.

¡A todos muchas gracias!

DEDICATORIA

Quiero agradecer el amor, apoyo, paciencia que mi familia me ha aportado durante toda mi vida. A mi madre y padre – Delia y Taide – por estar siempre conmigo en los momentos más importantes de mi vida, por apoyarme cuando pude haber caído y celebrar conmigo los triunfos logrados. A mi hermano Emiliano, que siempre ha estado ahí para los buenos y malos momentos, para las travesuras y los regaños.

A mi hijo - Arturo - el motor que me impulsa a vivir, por las horas de felicidad que me ha brindado desde su nacimiento.

A Arturo Carrera por haber caminado a mi lado durante este tiempo.

A mis amigos de toda la vida: Amanda Ramírez, David Muñoz, Eugenia y Oscar Dávila, Oscar Figueroa y Carolina Valenzuela por enseñarme que la amistad puede ser duradera; Cindy Fuentes por darme un gran ejemplo de vida y fortaleza; Jaqueline Medina por su amistad y sus enseñanzas; Paloma Castro por su amistad y apoyo en campo; Ivonne Olivares por saber escuchar y por su confianza; Lourdes Vega por todo, por ser mas que una maestra.

A todos aquéllos que de un modo o de otro estuvieron presentes durante este trabajo.

GRACIAS

INDICE

Introducción	1
I. Generalidades	2
1.1. Localización y extensión del área	2
1.2. Objetivos e importancia del estudio	4
1.3. Actividades económicas	5
1.3.1. Hermosillo	5
1.3.2. Cananea	8
1.4. Clima	10
1.4.1. Climas secos	10
1.4.2. Climas semisecos	10
1.4.3. Climas semicálidos	10
1.5. Fisiografía	11
1.6. Geomorfología	13
1.7. Geología	13
1.7.1. Parte alta de la cuenca	13
1.7.2. Parte baja de la cuenca	18
1.8. Geología del subsuelo	20
1.8.1. Parte alta de la cuenca	21
1.8.2. Parte baja de la cuenca	23
1.9. Almacenamientos superficiales	24
1.10. Problemática de la región	25
2. Materiales y métodos	27
2.1. Materiales	27
2.2. Métodos	27
3. Estudios previos	29
4. Caracterización fisiográfica de las subcuencas	39
4.1. Área de la cuenca	39
4.2. Pendiente de la cuenca	40
4.3. Orden de la cuenca	43
4.4. Densidad de drenaje	47
4.5. Densidad de corriente	48
5. Estaciones y análisis climatológico	50
5.1. Bacoachi	51
5.2. Cananea	53
5.3. Carbó	55
5.4. Cucurpe	57
5.5. El Carrizal	59
5.6. El Óregano	61
5.7. Estación Torres	63
5.8. Hermosillo	65
5.9. Huépac	67
5.10. Rayón	69
6. Hidrología superficial	71
6.1. Ciclo Hidrológico	71
6.2. Balance hidrológico superficial	72
6.2.1. Lluvia	73
6.2.2. Escurrimiento	74
6.2.3. Evapotranspiración	78

6.2.4. Infiltración	79
7. Resultados	82
7.1. Precipitación	82
7.2. Escurrimiento	84
7.3. Evapotranspiración	89
7.3.1. Método de Turc	90
7.3.2. Método de Coutagne	92
7.4. Cambios de almacenamiento	93
7.5. Infiltración	94
7.6. Resumen y comparación de resultados	95
8. Conclusiones y recomendaciones	96
8.1. Conclusiones	96
8.2. Recomendaciones	98
9. Bibliografía consultada	100
Anexos I	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Cuenca y subcuencas del Río Sonora	2
Figura 1.2. Municipios abarcados dentro del área de estudio	3
Figura 1.3. Partes de la cuenca del Río Sonora	4
Figura 1.4. Climas en el estado de Sonora	11
Figura 1.5. Regiones fisiográficas del estado de Sonora	12
Figura 1.6. Geología parte alta de la cuenca	14
Figura 1.7. Geología parte baja de la cuenca	19
Figura 1.8. Presas contenidas en la cuenca del Río Sonora	25
Figura 4.1. Mapa de curvas de nivel cada 200 m de la Subcuenca del Río Zanjón	41
Figura 4.2. Mapa de curvas de nivel cada 200 m de la Subcuenca del Río San Miguel	41
Figura 4.3. Mapa de curvas de nivel cada 200 m de la Subcuenca del Río Sonora	42
Figura 4.4. Mapa de curvas de nivel cada 200 m de la Subcuenca de la Costa de Hermosillo-Zona Centro	42
Figura 4.5. Mapa de curvas de nivel cada 200 m de la Subcuenca Costa de Hermosillo-Zona Sur	43
Figura 4.6. Orden de la Subcuenca del Río Zanjón	45
Figura 4.7. Orden de la Subcuenca del Río San Miguel	45
Figura 4.8. Orden de la Subcuenca del Río Sonora	46
Figura 4.9. Orden de la Subcuenca de la Costa de Hermosillo - Zona Centro	46
Figura 4.10. Orden de la Subcuenca de la Costa de Hermosillo-Zona Sur	47
Figura 5.1. Ubicación de las estaciones	50
Figura 5.2. Climatología de la Estación Bacoachi	51
Figura 5.3. Precipitación total media en la Estación Bacoachi	52
Figura 5.4. Evaporación total media en la Estación Bacoachi	52
Figura 5.5. Temperatura media en la Estación Bacoachi	52
Figura 5.6. Climatología de la Estación Cananea	53
Figura 5.7. Precipitación total media en la Estación Cananea	54
Figura 5.8. Evaporación total media en la Estación Cananea	54
Figura 5.9. Temperatura media en la Estación Cananea	54
Figura 5.10. Climatología de la Estación Carbó	55
Figura 5.11. Precipitación total media en la Estación Carbó	56
Figura 5.12. Evaporación total media en la Estación Carbó	56
Figura 5.13. Temperatura media en la Estación Carbó	56
Figura 5.14. Climatología de la Estación Cucurpe	57
Figura 5.15. Precipitación total media en la Estación Cucurpe	58
Figura 5.16. Evaporación total media en la Estación Cucurpe	58
Figura 5.17. Temperatura media en la Estación Cucurpe	58
Figura 5.18. Climatología de la Estación El Carrizal	59
Figura 5.19. Precipitación total media en la Estación El Carrizal.	60
Figura 5.20. Evaporación total media en la Estación El Carrizal	60
Figura 5.21. Temperatura media en la Estación El Carrizal	60
Figura 5.22. Climatología de la Estación El Orégano	61
Figura 5.23. Precipitación total media en la Estación El Orégano	62
Figura 5.24. Evaporación total media en la Estación El Orégano	62
Figura 5.25. Temperatura media en la Estación El Orégano	62
Figura 5.26. Climatología de la Estación Torres	63
Figura 5.27. Precipitación total media en la Estación Torres	64

Figura 5.28. Evaporación total media en la Estación Torres	64
Figura 5.29. Temperatura media en la Estación Torres	64
Figura 5.30. Climatología de la Estación Hermosillo	65
Figura 5.31. Precipitación total media en la Estación Hermosillo	66
Figura 5.32. Evaporación total media en la Estación Hermosillo	66
Figura 5.33. Temperatura media en la Estación Hermosillo	66
Figura 5.34. Climatología de la Estación Huépac	67
Figura 5.35. Precipitación total media en la Estación Huépac	68
Figura 5.36. Evaporación total media en la Estación Huépac	68
Figura 5.37. Temperatura media en la Estación Huépac	68
Figura 5.38. Climatología de la Estación Rayón	69
Figura 5.39. Precipitación total media en la Estación Rayón	70
Figura 5.40. Evaporación total media en la Estación Rayón	70
Figura 5.41. Temperatura media en la Estación Rayón	70
Figura 6.1. Ciclo del agua	72
Figura 6.2. Trazado de los polígonos de Thiessen	74
Figura 6.3. Partes de un hidrograma	75
Figura 6.4. Molinete digital ("flowmeter")	76
Figura 7.1. Polígonos de Thiessen del área de estudio	83
Figura 7.2. Unidades hidrológicas en la cuenca del Río Sonora	86
Figura 7.3. Uso de suelo en la cuenca	87

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tipo y superficie agrícola de la Costa de Hermosillo	6
Tabla 1.2. Actividad ganadera en la Costa de Hermosillo	7
Tabla 1.3. Agricultura en el Municipio de Cananea	9
Tabla 1.4. Actividad ganadera en el Municipio de Cananea	10
Tabla 1.5. Presas contenidas en la cuenca del Río Sonora	24
Tabla 4.1. Área de las subcuencas	39
Tabla 4.2. Pendiente de las subcuencas	40
Tabla 4.3. Orden de las Subcuenca del Río Sonora	44
Tabla 4.4. Densidad de drenaje de las subcuencas	48
Tabla 4.5. Densidad de corriente de las subcuencas	49
Tabla 6.1. Valores de K en función del tipo y uso del suelo	76
Tabla 6.2. Obtención de coeficiente de escurrimiento	77
Tabla 6.3. Algunos métodos para calcular la Evapotranspiración	78
Tabla 7.1. Precipitación promedio anual por estaciones	82
Tabla 7.2. Precipitación media anual por subcuencas	83
Tabla 7.3. Cálculos realizados para obtener el coeficiente y el volumen de escurrimiento	88
Tabla 7.4. Datos de temperatura de la zona de estudio	90
Tabla 7.5. Obtención de la evapotranspiración real por subcuencas	91
Tabla 7.6. Evapotranspiración real anual por el método de Coutagne	92
Tabla 7.7. Comparación de resultados de evapotranspiración	93
Tabla 7.8. Almacenamiento de la presa Abelardo L. Rodríguez	93
Tabla 7.9. Infiltración de las subcuencas del Río Sonora	94
Tabla 7.10. Balance Hidrológico de las subcuencas del Río Sonora	95

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis se realizó tomando en cuenta que existen trabajos previos de la zona pero que no se encuentran disponibles para el público en general, por lo que no es conocida a ciencia cierta la problemática de la región.

La tesis describe generalidades de las Subcuencas del Río Sonora (actividades económicas, geología, geomorfología, etc), explica los materiales utilizados y la metodología seguida para su realización, calcula las características fisiográficas de las subcuencas, pero sobretodo contiene la evaluación de la hidrología superficial, que incluye el balance hidrológico de cada una de las subcuencas, para lo cual se calcularon las entradas y salidas de agua del sistema. Al final de la tesis se pueden encontrar los resultados, conclusiones y recomendaciones, así como la lista de bibliografía consultada.

Las Subcuencas del Río Sonora están situadas en los municipios de: Hermosillo, La Colorada, Mazatán, Ures, Cananea, Bacoachi, Imuris, Cucurpe, Carbó, Baviácora, Aconchi, San Felipe de Jesús, Huépac, Banámichi, Bacanora, Tubutama, Rayón y San Miguel de Horcasitas en el Estado de Sonora, México.

Los cálculos realizados toman como base los datos (climatología, hidrología superficial, geohidrología, etc) generados por y para la Comisión Nacional del Agua (CNA). Se revisó y completó toda la información recopilada. Asimismo, se consultaron otras fuentes bibliográficas (estudios, tesis, internet, etc).

El objetivo general de este trabajo es hacer una evaluación hidrológica superficial de las Subcuencas del Río Sonora, mostrar paso a paso la metodología seguida, así como todos los datos originales para que otros interesados en el área, puedan hacer sus propias interpretaciones.

Se considera importante realizar tesis sobre balances hidrológicos integrales o parciales con una periodicidad de al menos un año, con los cuales los pasantes de geólogo aprenderemos una metodología de trabajo, se actualizarán los datos hidrológicos y se determinará la disponibilidad de agua de las diferentes cuencas del Estado de Sonora, en apoyo a los diversos usuarios del vital líquido.

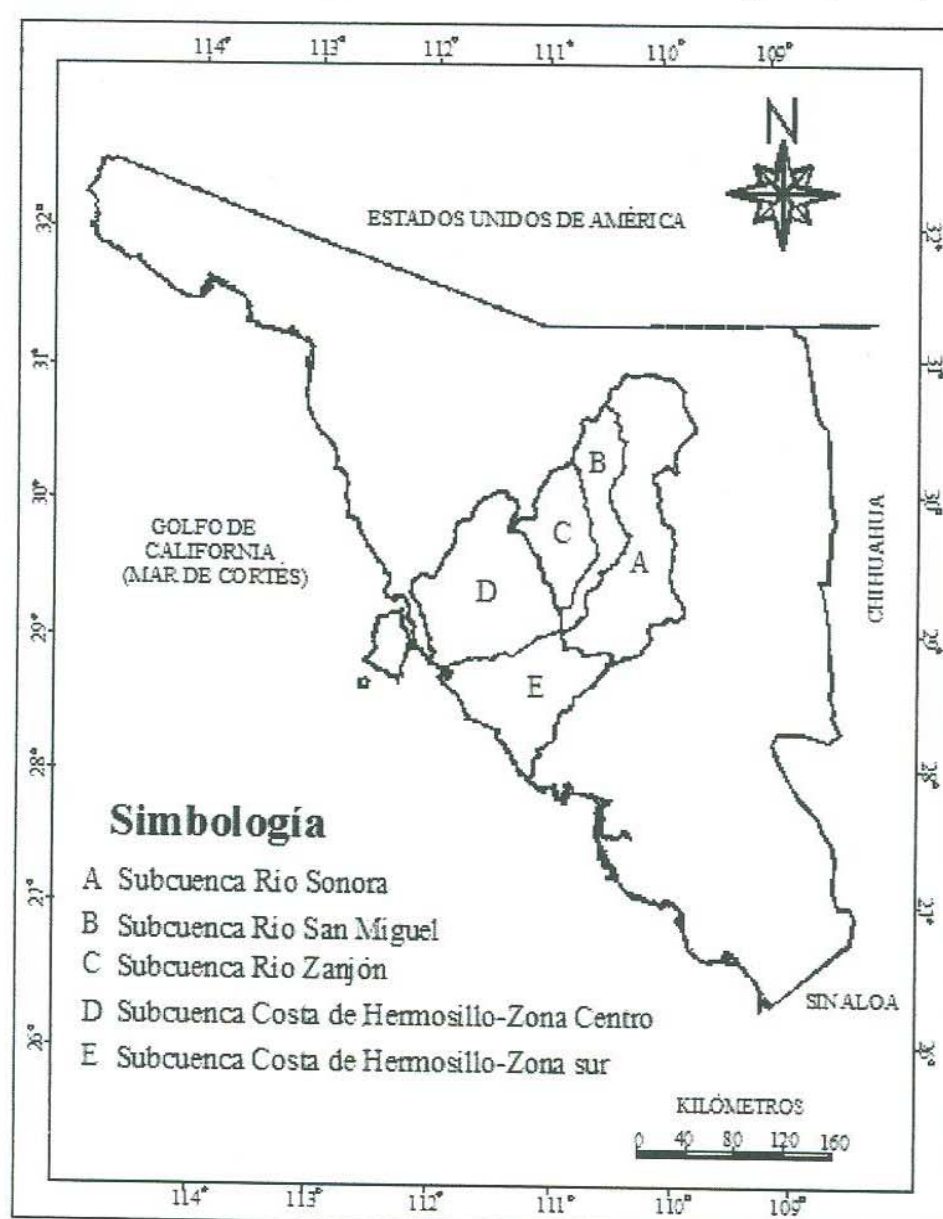
I. GENERALIDADES

1.1. Localización y extensión del área

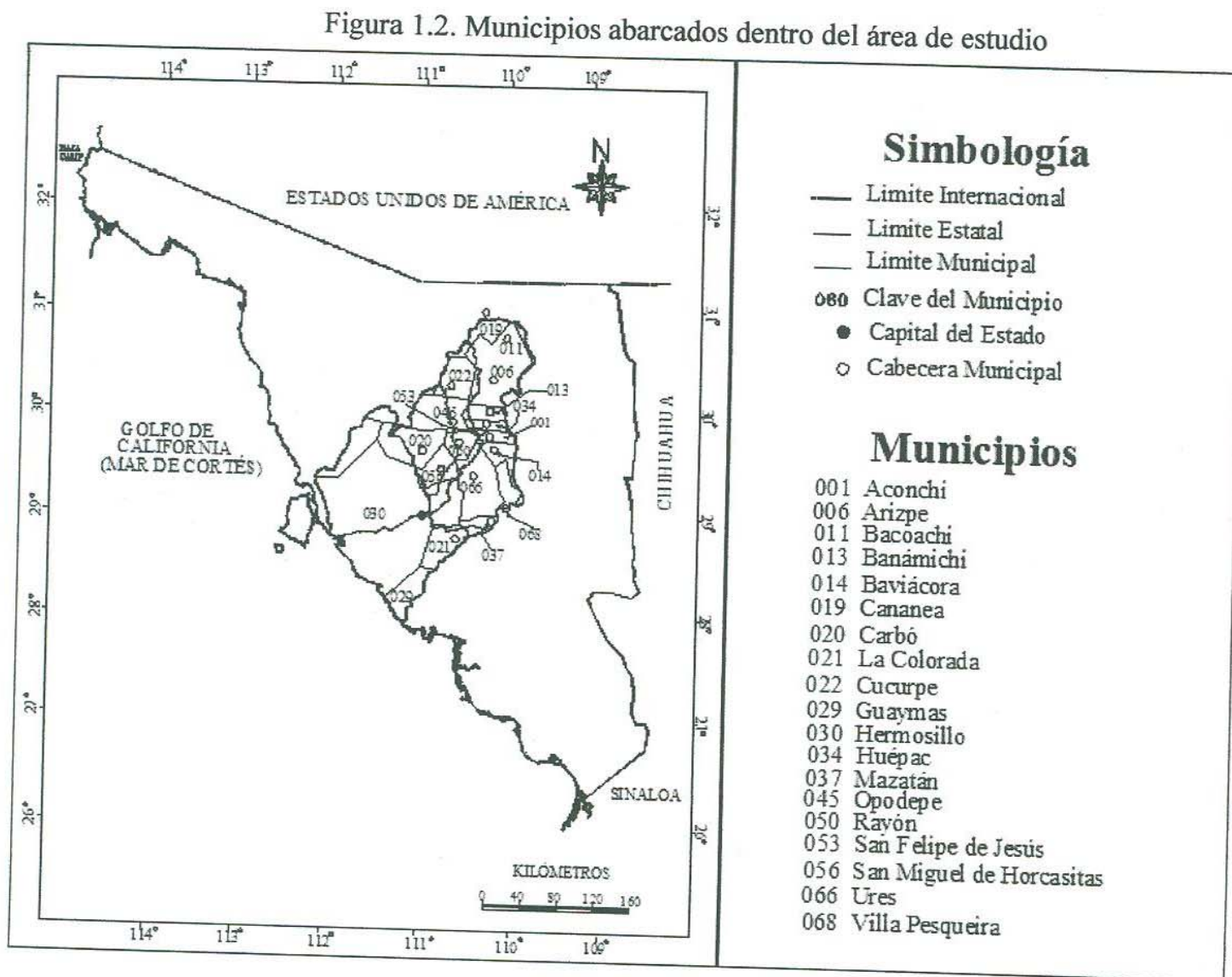
El presente trabajo de tesis se llevó a cabo en la Cuenca del Río Sonora, la cual contiene a las subcuencas hidrológicas denominadas: Río Sonora, Río San Miguel, Río Zanjón y Costa de Hermosillo, la cual se subdivide en Zona Centro y Zona Sur (Figura 1.1).

El área de estudio se encuentra ubicada entre los paralelos 27° y 31° de Latitud Norte y los meridianos 109° y 113° de Longitud Oeste. En su totalidad comprende una extensión de 38,834.29 km².

Figura 1.1. Cuenca y subcuencas del Río Sonora (CNA, 2007)



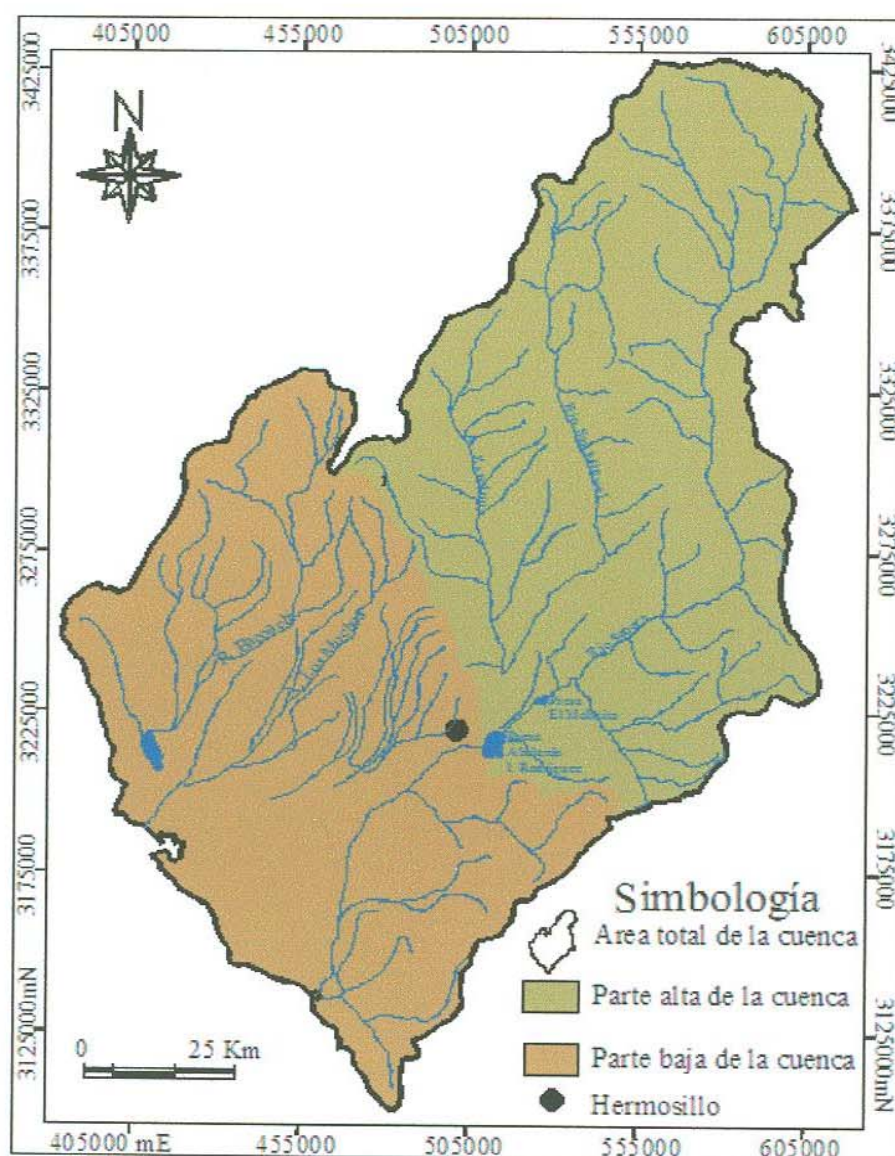
La Cuenca del Río Sonora abarca en parte y en algunos casos en su totalidad, a los municipios de: Hermosillo, La Colorada, Mazatán, Ures, Cananea, Bacoachi, Imuris, Cucurpe, Carbó, Baviácora, Aconchi, San Felipe de Jesús, Huépac, Banámichi, Bacanora, Tubutama, Rayón y San Miguel de Horcasitas (Figura 1.2).



De acuerdo a la Clasificación Hidrológica Regional Noroeste de la CNA (2007), el área estudiada es parte de la Región Hidrológica 9 Sonora Sur y comprende las subcuencas de los ríos Zanjón, San Miguel, Sonora y Costa de Hermosillo (Zona Centro y Zona Sur).

Para describir mejor las áreas de estudio, se consideraron dos partes de la cuenca de acuerdo a su elevación topográfica y nacimiento de las corrientes superficiales: parte alta y parte baja. La parte alta comprende desde Cananea hasta Hermosillo y la baja de Hermosillo hasta la zona agrícola Costa de Hermosillo, colindante con el Mar de Cortés (Figura 1.3).

Figura 1.3. Partes de la Cuenca del Río Sonora



Fuente: Propia

1.2. Objetivos e importancia del estudio

Esta tesis tiene como finalidad alcanzar los siguientes objetivos:

1. Hacer una recopilación y análisis de los estudios previos del área (geología, hidrogeología, balances, etc).
2. Caracterizar fisiográficamente las subcuencas y elaborar un análisis climatológico.
3. Establecer una ecuación de balance hidrológico superficial y calcular cada uno de sus términos (precipitación, escurrimiento, evaporación, infiltración y cambio de almacenamiento) por subcuencas.
4. Realizar una evaluación de los recursos hídricos superficiales de la Cuenca del Río Sonora por subcuencas.
5. Mostrar la metodología y las consideraciones tomadas para calcular cada uno de los parámetros de la ecuación de balance.

6. Con los resultados obtenidos, elaborar conclusiones y recomendaciones del estudio.

La importancia mayor del presente trabajo es poner a disposición de todos los usuarios del agua, la información existente y la que aquí se genere.

A diferencia de otros estudios realizados, en éste se presentan paso a paso y con claridad las consideraciones tomadas, los métodos empleados y todos los cálculos que se hicieron para conocer los parámetros del balance hidrológico superficial.

Como Hermosillo es una ciudad con gran crecimiento y por ende, con gran necesidad de agua, los resultados de esta tesis podrían ayudar a conocer los volúmenes con que cuentan las subcuencas hidrológicas adyacentes para su aprovechamiento racional.

1.3. Actividades económicas

Las poblaciones de mayor importancia en cuanto a su población y actividad económica en el área de estudio son: Hermosillo y Cananea (Figura 1.2). A continuación se hace una descripción breve de sus actividades.

1.3.1. Hermosillo

Hermosillo, llamada antiguamente, Santísima Trinidad del Pitic, significa *Pueblo verdadero* en seri, es la ciudad capital del estado mexicano de Sonora, y se encuentra ubicada en el centro del estado, a 270 km de la frontera con Estados Unidos. Se localiza en el paralelo 29°05' de Latitud Norte y en el meridiano 110°57' de Longitud Oeste de Greenwich, a una altura de 282 metros sobre el nivel del mar.

De acuerdo con los resultados del Censo de Población y Vivienda 2005 del INEGI (referenciado al 17 de Julio del 2007), la ciudad contaba con 707,890 habitantes y el municipio con 734,506 habitantes. Datos extraoficiales suponen una población mayor que ésta, sin embargo los mencionados anteriormente son los únicos oficiales (<http://es.wikipedia.org/wiki/Hermosillo>).

A Hermosillo se llega por varios accesos: desde la Ciudad de México (Capital del país) en el sur, por la carretera federal México 15; desde el Estado de Chihuahua al este, por las carreteras estatales Sonora 16 o Sonora 2; desde Arizona, E.U.A. al norte, por la carretera federal México 15; desde California, E.U.A. en el noroeste, por la carretera estatal Sonora 16 y federal México 15.

En cuanto a infraestructura general posee aeropuerto internacional y todos los servicios públicos, vías y medios de comunicación comunes en una ciudad moderna.

Las principales actividades económicas en la zona de estudio son: la industria, agricultura, ganadería, pesca y comercio.

Agricultura

Esta actividad se desarrolla principalmente en la Costa de Hermosillo, mediante el uso de riego por bombeo, sistema que actualmente enfrenta limitantes para los cultivos que demandan un mayor volumen de agua, particularmente el trigo, que ha sido el cultivo predominante.

Los cultivos son de riego y temporal (Tabla 1.1). Como cultivos de riego se tienen: viñedos, sandía, y naranja, entre otros. Cabe señalar que cultivos de temporal, como el cártamo, sólo se siembran en los años donde hay grandes precipitaciones.

Tabla 1.1. Tipo y superficie agrícola de la Costa de Hermosillo

Actividad	Superficie (Ha)	
	Riego	Temporal
Agricultura	212,527	37,792

Fuente: Plan Municipal de Desarrollo (1997-2000)

La tendencia actual en esta actividad va encaminada hacia la sustitución de los cultivos tradicionales por cultivos vinculados al mercado exterior y que ofrezcan mayor rentabilidad, como vid y hortalizas, buscando además un uso más racional del agua.

Los principales cultivos practicados en el municipio son el trigo, cártamo, garbanzo, y maíz, entre otros. Entre los principales cultivos perennes se hallan la vid, cítricos, alfalfa y nogal, además de las hortalizas.

La Costa de Hermosillo ocupa el tercer lugar en volumen de producción en el Estado, después de los valles del Yaqui y del Mayo.

Ganadería

Este municipio cuenta con una población animal de 108,215 cabezas de ganado bovino, 41,275 porcinos, 1,857 ovinos, 565 caprinos y 3,265 equinos. Además produce 15'066,000 litros de leche anualmente en 14 establos. Cuenta con una superficie de 1'082,418 hectáreas (Ha) dedicadas a la ganadería, de las cuales 906,000 son agostadero natural (Tabla 1.2).

Tabla 1.2. Actividad ganadera en la Costa de Hermosillo

Actividad	Superficie (Ha)
	Agostadero
Ganadería	1'082,418

Fuente: Plan Municipal de Desarrollo (1997-2000)

Industria

Esta actividad ha tenido un desarrollo importante, a partir de la década de los ochenta principalmente, por las inversiones en la industria automotriz, aunada al desarrollo experimentado por la industria maquiladora, siendo éstas las ramas que absorben el mayor número de personas. Dentro de las actividades que abarca la industria sobresalen la automotriz, alimenticia, eléctrica, textil y cementera.

En Hermosillo se localizan 12 parques industriales que dan asiento a 111 empresas manufactureras, que ocupan a más de 23,000 trabajadores. Se localizan también aquí 27 de las 50 principales empresas del Estado de acuerdo al número de empleados registrados.

Comercio y servicios

Existen en el municipio 6,813 establecimientos de carácter comercial y de servicios; de los cuales 2,394 corresponden a giros comerciales y el resto 4,419 a servicios. Entre los giros comerciales se encuentran abarrotes, zapaterías, mueblerías, papelerías, farmacias, expendios de cerveza, etc.

En los últimos años se han instalado importantes centros comerciales de origen nacional y extranjero que permiten ofrecer mayores opciones a los consumidores.

Referente a los servicios con que cuenta el municipio, existe un importante número de restaurantes, hoteles, prestadores de servicios profesionales y técnicos, educativos, investigación, de asistencia social, esparcimiento, culturales, recreativos y deportivos; así como los relacionados con las actividades agrícola, ganadera, de la construcción, transporte y sector financieros, entre otros.

Pesca

La pesca es practicada en 270 km de litoral donde la especie más cotizada es el camarón. Esta actividad se desarrolla principalmente en las comunidades de Bahía de Kino, El Cardonal, y Tastiota, existiendo una cooperativa y 3 permisionarios con un total de 170 lanchas.

Turismo

Esta actividad ofrece atractivos turísticos naturales como son: Bahía de Kino y Punta Chueca como lugares de playa, así como infraestructura hotelera, restaurantes, centros nocturnos, agencias de viajes, arrendadoras de autos entre otros, ubicados en la ciudad capital. En total, operan en Hermosillo 43 establecimientos de hospedaje que ofrecen más de 2,900 habitaciones, incluyendo más de 1,500 con categoría de 4 y 5 estrellas y gran turismo.

Entre los principales atractivos turísticos, se encuentran en Hermosillo: el Museo de Sonora, Casa de la Cultura, Centro Ecológico y Centro de Gobierno, y el Museo de los Seris en Bahía de Kino entre otros.

1.3.2. Cananea

El nombre de Cananea proviene del pima y significa: *Carne de caballo*. Es un municipio y ciudad minera localizada al noreste del Estado de Sonora, México. Constituye el centro minero más importante del país, con desarrollo reciente de la industria maquiladora.

El Municipio de Cananea se encuentra localizado en una zona totalmente montañosa, en la región septentrional del estado. La Ciudad de Cananea se ubica en las coordenadas: 30°59'35" de Latitud Norte y 110°18'02" de Longitud Oeste, tiene una altura de 2,482 metros sobre el nivel del mar. La principal vía de comunicación terrestre es la carretera federal México No. 2 que comunica a esta ciudad hacia el este con las poblaciones de Naco, Agua Prieta y Chihuahua, así como con los Estados Unidos de América; y al oeste con el Municipio de Imuris donde se une con la carretera federal No.15.

Colinda al norte con los Estados Unidos de América, al noroeste con el Municipio de Naco, al sur con Arizpe, al suroeste con Bacoachi, y al oeste con Imuris y Santa Cruz. Posee una superficie de 4,141.173 km²; de acuerdo a los resultados preliminares del censo del INEGI realizado en el año 2004, el Municipio de Cananea cuenta con 40,000 habitantes.

En cuanto a infraestructura general posee un pequeño aeropuerto, ferrocarril, telégrafo, teléfono, Internet, televisión, transporte de carga y pasajeros, correo, gas natural y agua.

Las principales actividades económicas son la minería, la industria maquiladora, la ganadería y la agricultura.

Minería

Está claro que la principal actividad económica es la industria minera; Cananea constituye el centro minero más importante del país con compañías mineras tales como Mexicana de Cananea, S. A. de C. V., Minera María, S. A. de C. V. y Milpillan. En la actualidad la industria minera es pilar de la economía local, puesto que dicha empresa genera alrededor de 3,100 empleos directos, además de los empleos indirectos que se derivan de esta actividad.

Industria maquiladora

Las empresas en concepto de maquilas son: Microsistemas, S. A., Stewart Connector Systems de México, S. A., Ken Can, S. A., R. K. Electrónica, S. A., Fundidora de Cananea, S. A., Muebles Marc y Road Machinery Company de México S. A., las cuales en su conjunto generan 1,100 empleos y se dedican a diversas actividades, que van desde el ensamble de cables y fabricación de ropa, hasta la fundición de piezas de acero.

Agricultura

Los principales cultivos son: maíz, papa, frijol, sorgo, alfalfa, cebada y manzana; la producción que se obtiene con estos cultivos generalmente se utiliza para autoconsumo y para la alimentación del ganado. La infraestructura hidráulica se compone de 30 pozos perforados, equipados con sistema de combustión eléctrica, y canales revestidos en una longitud de 10 km que se utilizan mayormente para riego por gravedad en cultivos y forrajes (Tabla 1.3).

Tabla 1.3. Agricultura en el Municipio de Cananea

Actividad	Superficie (Ha)	Infraestructura	
	Riego	Temporal	Pozos
Agricultura	640	9	30

Fuente: Plan Municipal de Desarrollo (1997-2000)

Ganadería

La población ganadera del municipio corresponde a 16,742 cabezas, que se enfocan en las razas: *Charolais*, *Hereford*, *Angus*, *Brangus* y *Criollo corriente*. Cuenta para su desarrollo con infraestructura consistente en represas, pozos de abrevadero y corrales de manejo, que están ubicados en los más de 200 potreros (Tabla 1.4). En términos generales, esta infraestructura es insuficiente.

Según cifras del Plan Estatal de Desarrollo 1998 - 2003, el coeficiente de agostadero recomendado para este municipio es de 19.3 hectáreas por unidad animal, sin embargo el índice de agostadero actual es mayor, siendo de 28.4 hectáreas por unidad animal.

Tabla 1.4. Actividad ganadera en el Municipio de Cananea

Actividad	Superficie (Ha)	Infraestructura	
	Agostadero	Pozos	Represos
Ganadería	22,401	120	257

Fuente: Plan Municipal de Desarrollo (1997-2000)

1.4. Clima

La región se caracteriza por su aridez; las variables regionales del clima están determinadas, en gran medida por la influencia de los vientos alisios provenientes del noreste, mismos que hacen un recorrido continental; razón por la cual las nubes van perdiendo humedad al ir chocando contra los elementos orográficos existentes en su trayecto, siendo el último de ellos la Sierra Madre Occidental. Lo anterior provoca que su arribo a las llanuras sonorenses sea carente de humedad; por otro lado el mar no proporciona humedad suficiente debido a las bajas temperaturas del agua durante el año, por lo que no se considera una evaporación considerable, como consecuencia de lo anterior, los climas predominantes en la cuenca son de carácter seco y semiseco, en cuanto a los húmedos y templados, están restringidos a las partes altas de las sierras (Figura 1.4).

1.4.1. Climas secos

Estos climas abarcan cerca del 20% de la entidad. Con respecto a su temperatura media anual, se dividen en cálidos (con valores de 22°C en adelante), semicálidos (entre 18 y 22°C) y templados (entre 12 y 18°C).

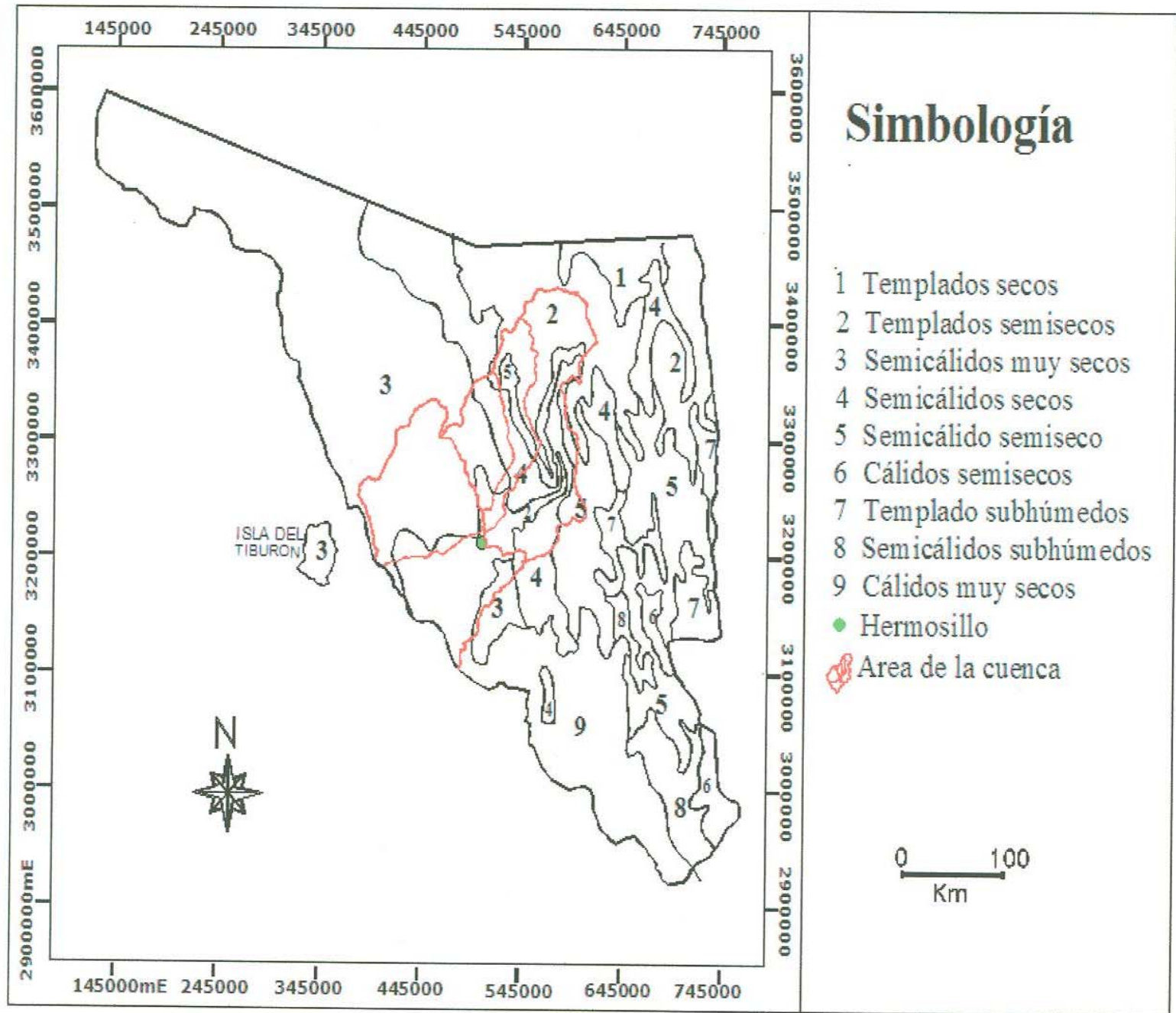
1.4.2. Climas semisecos

Aproximadamente el 28% de la entidad tiene este tipo de clima. Sus temperaturas medias anuales van de 12 a más de 22°C, y su precipitación total anual es del orden de 400-700 mm. Son considerados climas de transición entre los secos y los templados, y en función de su temperatura media anual se dividen en: cálidos, semicálidos y templados.

1.4.3. Climas semicálidos

Estos climas abarcan 1.5% del estado, tienen un régimen de lluvias en verano, su temperatura media anual es mayor de 18°C. La temperatura media del mes más frío varía entre -3 y 18°C, y la precipitación total del mes más seco es menor a los 40 mm.

Figura 1.4. Climas en el Estado de Sonora



Fuente: SGM (1994)

1.5. Fisiografía

En el Estado de Sonora se distinguen cuatro provincias fisiográficas (INEGI, 1993): Llanura Sonorense, Sierra Madre Occidental, Llanura Costera del Pacífico y Sierras y Llanuras del Norte; el área de estudio se encuentra localizada en las provincias Llanura Sonorense y Sierra Madre Occidental (Figura 1.5).

1.6. Geomorfología

Según la carta de Unidades Geomorfológicas de México (Lugo-Hubp, 1990), el área de estudio se ubica dentro de la Provincia de Sonora, en cuyo relieve predomina una planicie aluvial y de piedemonte, sobre la cual se asientan montañas. La Cuenca del Río Sonora comprende las subprovincias: a) Planicie aluvial y de piedemonte, con elevaciones menores; y b) Cadenas montañosas de bloque, transicionales a la Sierra Madre Occidental. Esta última comprende tanto valles intermontanos como elevaciones montañosas residuales y de bloque.

1.7. Geología

1.7.1. Parte alta de la cuenca

A continuación se describe brevemente la geología del área estudiada (Figura 1.6), de acuerdo al trabajo elaborado por la UNISON (2005). Todas las fichas bibliográficas de los autores aquí citados, pueden consultarse en dicho estudio.

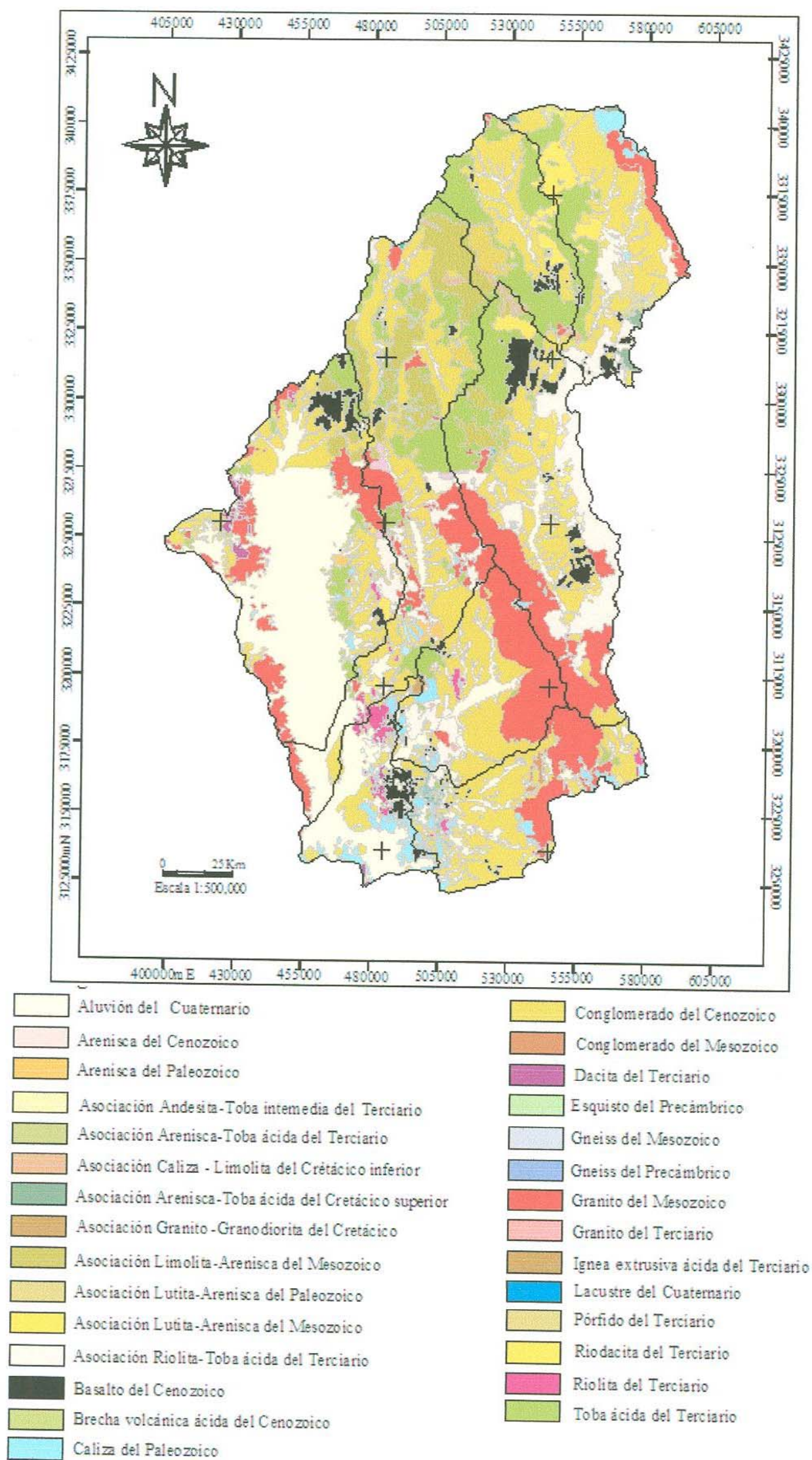
Precámbrico

En la parte alta de la cuenca afloran rocas precámbricas metamórficas constituidas principalmente por esquistos micáceos, filitas, anfibolitas, cuarcitas, mármoles y gneises. Esta secuencia es intrusionada por una granodiorita, también del Precámbrico. Esta secuencia metamórfica se encuentra discordantemente cubierta por la Cuarcita Bolsa del Cámbrico. El Precámbrico medio está representado por un complejo ígneo metamórfico (granito porfídico, gneis milonítico, auge-gneis milonítico). El Precámbrico superior está representado por dolomías, areniscas y cuarcitas.

Paleozoico

En el área, el Paleozoico se encuentra representado por una secuencia detrítico-carbonatada que fue depositada en un ambiente de plataforma somera, cuyas edades varían del Cámbrico al Pérmico. Tanto el contacto superior como el inferior de las secuencias paleozoicas se consideran discordantes con las rocas mesozoicas y precámbricas respectivamente.

Figura 1.6. Geología parte alta de la cuenca (Fuente: UNISON, 2005)



En los límites de la ciudad de Hermosillo (cerros Tecoripa, La Campana, La Cementera, El Molinito, Santa Gertrudis, Lomas El Rayón y Sierra de Leyva), Rodríguez (1981) describe secuencias constituidas principalmente de calizas y brechas, de color gris verdoso a gris oscuro con estratificación mediana a gruesa, que localmente presenta un aspecto masivo debido al metamorfismo de contacto que las afecta.

En la Calera Willard, Rangin (1979) reporta rocas paleozoicas con fusulínidos del Wolfcampiano – Leonardiano.

En la Sierra Los Ajos, Cendejas (1972) encuentra una secuencia compuesta por calizas arcillosas y dolomitizadas con lentes arenosos y pedernal del Cámbrico medio-Carbonífero.

Hacia el NE y SE del poblado de Tuape y SE de Sinoquipe, Rodríguez (1988, 1994) define la Ortocuarcita Los Changos del Cámbrico inferior.

Dentro del área de estudio también se tiene una secuencia compuesta por calizas, areniscas y lutitas del Cámbrico al Pérmico inferior, cuyos afloramientos se localizan al E y SW del poblado de Banachari; así mismo se reporta una secuencia compuesta por calizas y areniscas del Paleozoico inferior, la cual aflora al SE de San José de Baviácora, W de Ures, NW de San Miguel de Horcasitas, E de Carbó, SW y SE de La Junta, SE de Rancho Viejo y SE del Molino de Camou.

Mesozoico

El Mesozoico de Sonora se representa por una secuencia marina, con depósitos zonados, calcáreos, arcillo-calcáreos y arcillo-arenosos y otra continental arenoconglomerática. Afloran también rocas ígneas intrusivas y extrusivas de composición ácida a intermedia.

El Triásico está representado por areniscas, calizas, limonitas y microconglomerados que afloran al SE de Hermosillo (Sierra La Flojera). Rodríguez (1981) encontró pelecípodos a los que se les determinó una edad del Triásico medio – superior.

Respecto al Jurásico, Flores (1929) indica que en la Sierra Caracahui existe una secuencia formada por areniscas, calizas y lutitas de edad Jurásico inferior, denominada Formación Caracahui. Gilmont (1978) reporta una secuencia compuesta por riolitas y riodacitas de edad Jurásico inferior (?), la cual aflora al SE del poblado de Sinoquipe.

Salas (1968) define una secuencia metamórfica compuesta por esquistos, filitas, metacaliza, cuarcita y gneis de edad Jurásico medio, nombrada como Complejo Metamórfico Santa Ana, dicha secuencia aflora al SE y NW del poblado de Cucurpe. Araujo y Estavillo (1987), definieron una secuencia compuesta por areniscas, limonitas, lutitas y calizas del Jurásico superior. Ransome (1904) describe un conglomerado como Formación Conglomerado Glance de edad Jurásico superior – Cretácico inferior; estos pequeños afloramientos se observan al W y SW del poblado de Bacanuchi. Rodríguez (1981) define la Formación La Colgada, compuesta por lutitas, calizas, areniscas y rocas volcánicas (JsLu-Ar) de edad Jurásico superior.

El Cretácico inferior en el área de estudio está representado por un conglomerado de matriz arenosa, con fragmentos de cuarcitas, dolomías y limonitas. Este aflora en la parte occidental de Bacanuchi, NE de Tuape, W de Sinoquipe y SW de Rayón. Del Cretácico superior, Rodríguez (1981) define a la Formación El Tuli compuesta por conglomerado, tobas ignimbríticas y calizas. También se presentan dos secuencias, una compuesta por andesitas, riolitas y tobas que aflora al W del poblado de Tres Álamos, SW de La Noria de Aguilar, S de San Miguel de Horcasitas; y otra compuesta por areniscas, limonitas, lutitas y conglomerados de edad Campaniano Maestrichtiano (Taliaferro, 1933), la cual aflora al sur del poblado de Bacoachi.

Cenozoico

Del Cretácico superior al Terciario inferior, esta región fue el escenario de una profunda actividad magmática, actualmente representada por una serie de rocas ígneas de composición granítica; en el área de estudio se separaron dos grandes cuerpos: uno compuesto por granito con textura hipidiomórfica, holocristalina con cuarzo, microclina y ortoclasa de edad Eoceno (CRM, 2002), aflorando al W de Aconchi; y el otro cuerpo, es de composición granítica (granito, granodiorita y diorita) aflorando en Rancho Nuevo, Mazocahui, Baviácora y SW de Aconchi.

En la ciudad de Hermosillo en el Cerro El Coloso se reportan edades de 64 M.a. (Damon *et al.*, 1964, 1983), así como también afloran granito y granodiorita al SW de Sinoquipe; al E de Querobabi y en la Sierra La Madera se presentan afloramientos de diorita; al E y W de Meresichic y al SW de Opodepe hay pequeños afloramientos de granodiorita; la roca más ampliamente distribuida en el área es el granito, el cual aflora en

la Sierra Buenos Aires (E de Cananea), al E de la Sierra La Madera, al SW del poblado de Saracachi (Cuenca del Río San Miguel), y en las sierras La Palma y San Jerónimo (SE de Querobabi).

El Terciario inicia con una serie de eventos vulcano-plutónicos según Rangin (1978), cuya alineación es NNW–SSE y se localizan en la región centro-noreste de Sonora, abarcando desde Cananea hasta Nacozari. Estos afloramientos de rocas terciarias cubren más de dos terceras partes del área de estudio, y están constituidos principalmente por rocas volcánicas (riolitas, ignimbritas, andesitas) y rocas plutónicas (monzogranitos o pórfidos monzoníticos), donde éstas representan una menor proporción con respecto al resto de las rocas cenozoicas. Dumble (1900) y King (1939) reportan rocas sedimentarias clásticas que afloran a lo largo de toda la cuenca y corresponden a conglomerados polimícticos.

En el área de estudio, al sur del poblado de Mazocahui, se localizan pequeños afloramientos de rocas volcánicas (riolita, riodacitas y tobas) de edad Eoceno (CRM, 2002). En el Oligoceno, aflora una secuencia, ampliamente distribuida en el área, compuesta por aglomerado, ignimbrita, toba y brecha, reportadas por McDowell y Clabaugh (1979).

Dumble (1900) observó dos secuencias conglomeráticas de edad miocénica: una compuesta por conglomerado polimíctico (fragmentos de rocas volcánicas, plutónicas y sedimentarias, matriz generalmente arenosa y compactación de mediana a baja), intercalados con basaltos, llamada Formación Báucarit. Esta secuencia aflora en los márgenes de las montañas altas y medias, forman lomeríos altos y con grandes acantilados en los márgenes de los ríos. Se observa cerca de los poblados de Bacoachi, Cucurpe, Bacanuchi y Rayón. La otra secuencia se compone de areniscas y conglomerados polimícticos aflorando al E de Baviácora y al E de Ures.

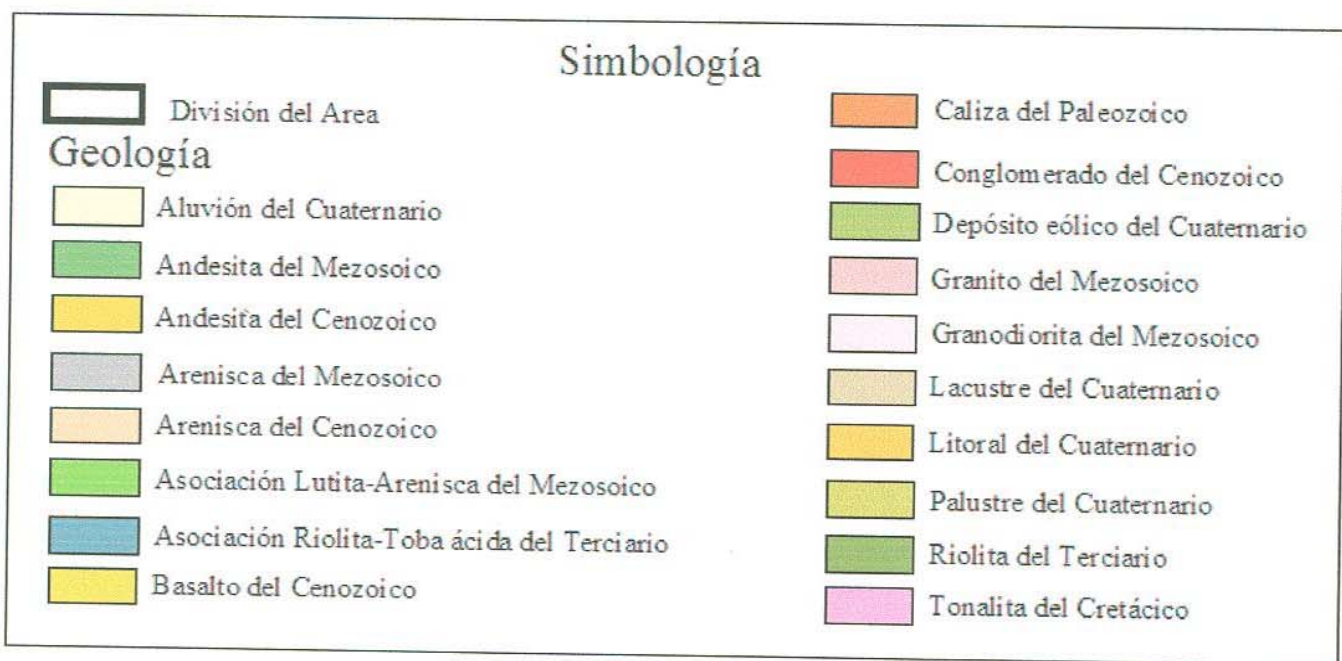
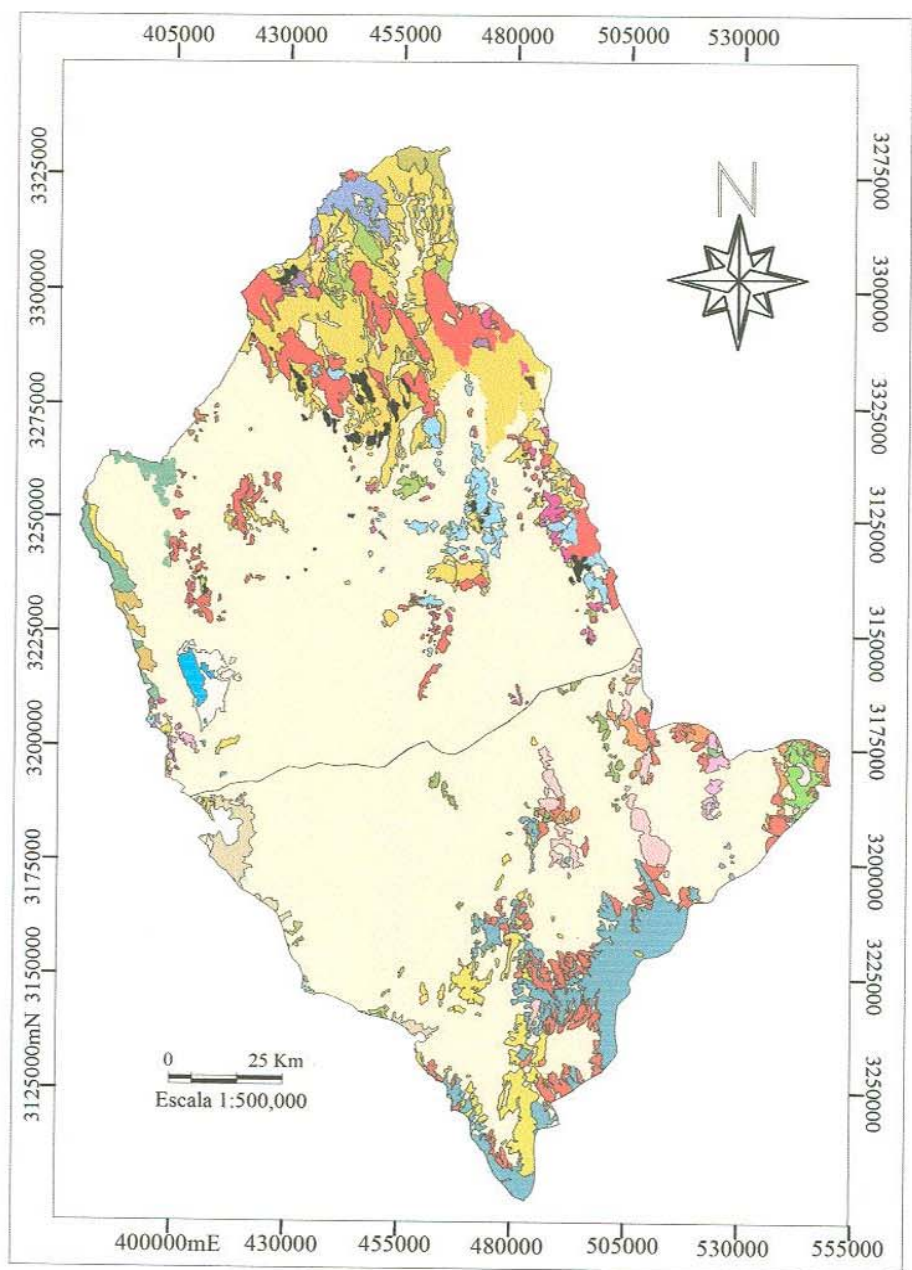
Las secuencias del Cuaternario corresponden a depósitos aluviales de granulometría y composición sumamente diversas, que varían de acuerdo a la cercanía o lejanía de la roca madre. Son importantes las franjas de piamontè (gravas, arenas y limos) que bordean las montañas altas y medias. Las amplias planicies aluviales de las porciones central y occidental están constituidas por este tipo de depósitos; en ellas se han desarrollado terrazas aluviales ocasionadas por eventuales rejuvenecimientos. Estas secuencias de sedimentos afloran en las partes bajas de los valles y descansan discordantemente sobre rocas más antiguas, pero en mayor proporción sobre rocas terciarias.

En el Cuaternario se desarrollaron amplios y potentes paquetes de sedimentos continentales, principalmente en el centro-oeste del área, con presencia de esporádicos derrames de basaltos y aparatos volcánicos (basaltos de olivino, andesitas basálticas, conglomerados), aflorando al NW de Tuape y SW de Bacoachi. En la parte central del área afloran conglomerados, limos y arenas poco consolidados, con una orientación predominante NW-SE; a lo largo de los valles y cauces de los ríos, se deposita la secuencia más reciente, compuesta por arcillas, limos, arenas y gravas, aflorando ampliamente al W del área con una orientación NW-SE.

1.7.2. Parte baja de la cuenca

La geología de la parte baja de la Cuenca del Río Sonora correspondiente a la Costa de Hermosillo, fue tomada de la carta geológica publicada por el INEGI en 1981 (Figura 1.7).

Figura 1.7. Geología de la parte baja de la cuenca (Fuente: INEGI, 1981)



Paleozoico

Está representado por calizas con lentes de pedernal que se presentan en dos facies, una calcárea de plataforma y otra silico-clástica de cuenca; están cubiertas discordantemente por rocas del Triásico tardío.

Mesozoico

El área de estudio se encuentra constituida por depósitos de potentes secuencias de areniscas-lutitas. Existen cuerpos intrusivos de composición granítica de posible edad Cretácico inferior que afloran hacia la esquina NW del área. Discordantemente sobre las rocas triásicas afloran rocas del Cretácico superior, constituidas por derrames volcánicos andesíticos.

Cenozoico

Está representado por secuencias de rocas volcánicas y sedimentos clásticos continentales cubriendo grandes áreas. Durante el evento distensivo miocénico que trae como consecuencia el origen de grandes fosas tectónicas y bloques levantados, que al fracturarse y erosionarse por diferentes factores, depositan sedimentos clásticos rellenando estas grandes estructuras, siendo principalmente conglomerados polimícticos, areniscas y ocasionales lentes de basalto.

En la costa agrícola de Hermosillo, se tienen conglomerados polimícticos y abanicos aluviales rellenando los grandes valles intermontanos y depósitos lacustres y eólicos, siguiendo la línea de costa, todos de edad Cuaternaria.

1.8. Geología del subsuelo

En la prospección y estudio de las aguas subterráneas, una de las técnicas indirectas más empleadas es la geofísica en sus distintas modalidades. Para conocer las características del subsuelo se desarrollan dos métodos geofísicos: 1) El Método Eléctrico de Resistividad, que define las características eléctricas de los materiales y sus probables condiciones geohidrológicas, y 2) El Método Gravimétrico, el cual permite definir con cierta certidumbre la configuración o profundidad al basamento.

Estos métodos en conjunto se han aplicado por diversos investigadores en el área estudiada, para definir la geometría y estructura a profundidad, así como las características principales de los materiales que conforman el sistema acuífero.

1.8.1. Parte alta de la cuenca

De acuerdo al estudio que realizó la UNISON (2005), el subsuelo de los ríos Sonora, San Miguel y Zanjón se compone de la siguiente manera.

Río Sonora

El subsuelo está compuesto al menos por cinco unidades delimitadas por sus rangos de resistividad y por el marco geológico de la zona. Dichas unidades son:

Unidad 1. Capa más superficial del subsuelo. Se observa una intercalación de materiales que van de finos a gruesos en los primeros metros con resistividades de los 5 a los 300 Ohms-m, predominando materiales de medios a gruesos que corresponden a los depósitos más recientes del Río Sonora, en los que dominan arenas, gravas y boleos, con algunos lentes arcillosos.

Unidad 2. Constituida por materiales de medios a gruesos con valores de los 50 a los 300 Ohms-m. Corresponden a capas detríticas no consolidadas como pueden ser arenas, gravas y boleos, atribuidas a depósitos antiguos del cauce del río o bien a materiales que se depositaron en forma de abanicos aluviales.

Unidad 3. Ésta se caracteriza por valores bajos de resistividad que van de los 5 a los 20 Ohms-m. Corresponde a capas que pueden ser materiales arcillosos o bien a una zona donde el basamento ígneo ha sido muy alterado y fracturado. Esta unidad en algunos de los casos se encuentra subyaciendo a las unidades 2 y 4.

Unidad 4. Es la que presenta valores de resistividad que van de los 300 a los 1,000 Ohms-m, la cual corresponde a capas de material compacto que por la geología de la región se determina son de origen volcánico o bien rocas sedimentarias semiconsolidadas a consolidadas. Esta unidad presenta espesores considerables que van de los 30 a los 100 m.

Unidad 5. Esta unidad es la que presenta los valores mayores de resistividad con rangos 500 a 2,500 Ohms-m. Esta resistividad está dada para los materiales compactos que conforman el basamento de la región, predominando las rocas ígneas intrusivas.

Río San Miguel

En esta parte del área estudiada, la configuración a 50 m de profundidad muestra valores de resistividad que van de 1 a más de 645 Ohms-m. Los materiales comprendidos en el intervalo de 1 a 15 Ohms-m se consideran sedimentos arcillosos de grano fino. Las zonas con resistividad media de 18 a 180 Ohms-m se interpretan como sedimentos de grano

fino a medio, como son arenas finas a gravas. Los de mayores resistividades con valores arriba de los 200 Ohms-m corresponden a materiales de grano medio a grueso, como arenas, gravas y boleos.

A 150 m de profundidad, se tiene un rango más amplio de valores de resistividad que va de 4 a más de 2,500 Ohms-m y las unidades se correlacionan con las interpretadas en el párrafo anterior, sólo que aquí se detecta una unidad con valores de resistividad mayor a los 1,000 Ohms-m, que corresponde al basamento granítico.

A una profundidad de 300 m, se obtuvieron resistividades entre 12 y 4,828 Ohms-m. Se observa que la zona arcillosa se amplía considerablemente. También se observa con mayor claridad la presencia del basamento granítico en la porción occidental de la zona.

Río Zanjón

Se reconocen al menos 5 unidades en las secciones analizadas las cuales están delimitadas por sus rangos de resistividad y tomando en cuenta el marco geológico de la zona en estudio.

Unidad 1. Esta unidad se interpreta como la parte superficial del subsuelo, la cual se encuentra seca y/o compacta, sus espesores varían de 5.5 a 63 m.

Unidad 2. La unidad se forma de paquetes de arena media-gruesa con espesores que varían de 71 a 360 m. Al sur de San Pedro se encuentra un paquete de arena media-gruesa intercalado con arena gruesa-grava con espesores de 33 a 94 m.

Unidad 3. Se caracteriza por presentar variación en la granulometría que va de arcilla, a arena arcillosa y a arena fina-media. Las arcillas se presentan con espesores variables pero pueden llegar a tener hasta 170 m de espesor en algunas partes del área de estudio. La arena arcillosa se encuentra en la mayor parte de las secciones con espesores que varían de 220 a 500 m en algunas zonas. La arena fina-media tiene espesores de 157 a 464 m, la cual se observa hacia la parte sur de Pesqueira, en la zona de San Pedro.

Unidad 4. Se constituye por sedimentos semiconsolidados que se pueden correlacionar con formaciones sedimentarias tipo Báucarit conforme a la geología regional, sin embargo, puede tratarse de una zona fracturada del basamento local. También puede tener ambigüedad de interpretación con la unidad anterior por lo que se tiene que considerar su posición en la columna, la localización de la sección y el marco geológico local para dar su asignación.

Unidad 5. Corresponde geológicamente con el basamento ígneo o metasedimentario de la región encontrándose a diferentes profundidades, entre 77 y 530 m. Sin embargo esta unidad no fue detectada en todas las secciones.

1.8.2. Parte baja de la cuenca

Costa de Hermosillo

Es muy importante mencionar que lo que se sabe del subsuelo se concentra a profundidades relativamente someras, menores a los 300 m. De acuerdo al estudio de la UNISON (2001), en el acuífero de la Costa de Hermosillo se reconocen 4 unidades:

Unidad 1. Inicia prácticamente desde la superficie del suelo y varía en espesor desde 200 hasta 340 m. Se trata de sedimentos no consolidados y constituidos principalmente por arenas, gravas, boleos y pocas arcillas de color café; las arenas varían en tamaño desde fino a grano grueso y están constituidas por granos de cuarzo, fragmentos de roca, muscovita y biotita. Esta unidad corresponde posiblemente a sedimentos característicos de ambientes fluviales: desde sedimentos aluviales depositados en las laderas de antiguos cerros, sedimentos fluviales depositados por paleocanales, y ocasionales depósitos de origen lacustre, evidenciados por paquetes de arcillas de espesor considerable.

Unidad 2. Compuesta de sedimentos no consolidados, constituidos por limos y arcillas de color gris y azul, además de arenas, con algunos horizontes arcillo-arenosos con fósiles marinos. El espesor de esta unidad varía de 200 hasta 560 m y su cima se encuentra a una profundidad que varía de 180 a 340 m. Por la composición de los sedimentos, la unidad posiblemente corresponde a una secuencia progradacional de depósitos deltaicos.

Unidad 3. La unidad estratificada más profunda que se ha encontrado está formada por arenas, gravas y arcillas semiconsolidadas con algunas intercalaciones de rocas volcánicas (basalto y riolita). Se le determinó un espesor de 624 m. En el subsuelo esta secuencia se encuentra sobre el basamento granítico.

Unidad 4. Esta unidad es considerada como el basamento de esta cuenca, y corresponde a rocas graníticas y volcánicas (andesita y riolita), se ha encontrado a diferentes profundidades.

1.9. Almacenamientos superficiales

La regulación y aprovechamiento de los escurrimientos superficiales en la Cuenca del Río Sonora se realizan mediante la operación de tres presas (Figura 1.8):

Tabla 1.5. Presas contenidas en la Cuenca del Río Sonora

Nombre oficial	Nombre local	Corriente
Abelardo Rodríguez Luján	Abelardo L. Rodríguez	Río Sonora
Teópari	Teópari	Arroyo La Junta
Rodolfo Félix Valdez	El Molinito	Río Sonora

Fuente: UNISON (2006)

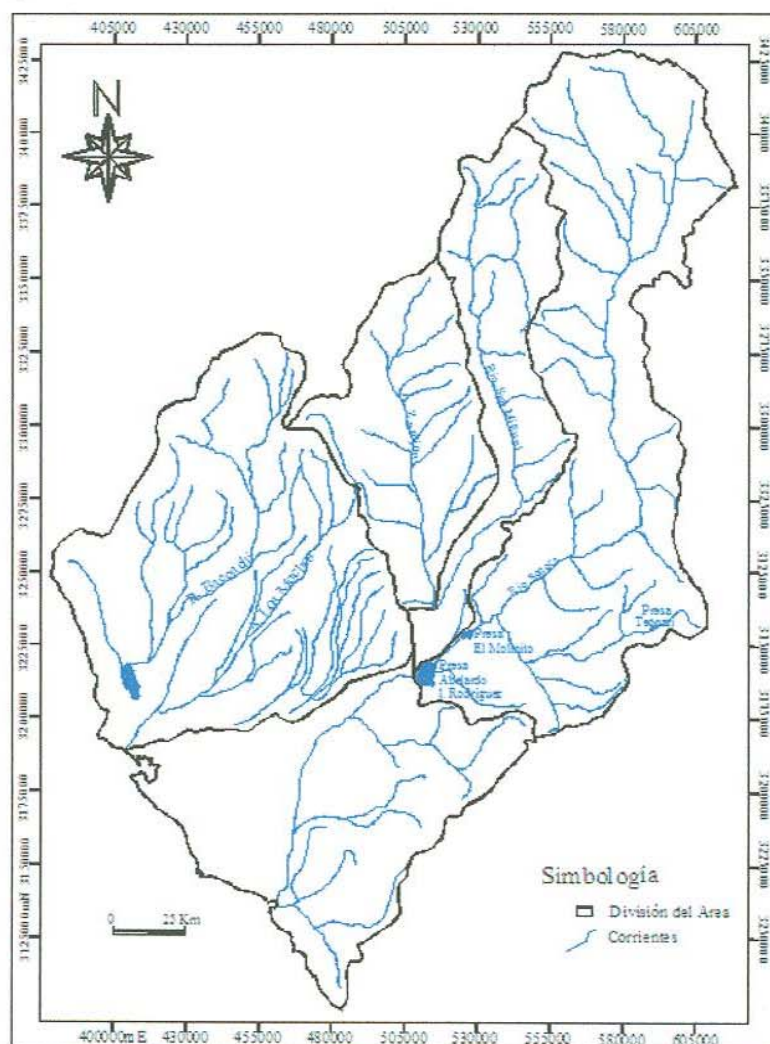
La Presa Abelardo L. Rodríguez se localiza inmediatamente aguas arriba de la ciudad de Hermosillo; empezó a almacenar los escurrimientos del Río Sonora en 1947.

Originalmente se utilizó para irrigación, control de avenidas y abastecimiento de agua potable. En la actualidad, los volúmenes almacenados hasta la capacidad de conservación se emplean para suministro de agua a Hermosillo. La protección contra avenidas se realiza conjuntamente con el almacenamiento de la Presa El Molinito y la capacidad reservada en la Presa Abelardo L. Rodríguez, incorporando compuertas a la cresta vertedora.

La Presa Teópari está situada sobre el Arroyo La Junta, afluente del Río Sonora por su margen izquierda, en el Municipio de Ures; se destina al control y aprovechamiento del Arroyo La Junta, beneficiando 313 Ha de terrenos ribereños en ambas márgenes. El período de construcción de la Presa Teópari fue 1982 a 1985.

La Presa El Molinito está localizada sobre el cauce del Río Sonora, aproximadamente a 22 km aguas arriba de la Presa Abelardo L. Rodríguez; esta obra fue construida en el período 1990-1991. Sus objetivos fundamentales son el control de avenidas y la retención de azolves, además de otros fines secundarios como abastecimiento de agua potable e irrigación (UNISON, 2006).

Figura 1.8. Presas contenidas en la Cuenca del Río Sonora



Fuente: UNISON (2006)

1.10. Problemática de la región

En términos generales, el agua enfrenta una serie de problemas: irresponsabilidad en su uso, manejo y distribución, incultura sobre su importancia en la vida y los ecosistemas, ignorancia de su disponibilidad real, deterioro irreversible, e ilusoria suposición de infinitud.

El suministro de Hermosillo está basado principalmente en el almacenamiento de la Presa El Molinito y de varios pozos de los alrededores. En la Presa El Molinito cuya capacidad inicial fue de 272 Mm³, se registran este 2009 tan solo 6.3 Mm³ (CONAGUA), cifra que prendió los focos rojos en las autoridades encargadas del suministro para Hermosillo. Hay mantos de agua subterráneos que tardaron miles de años en formarse, que al ser descubiertos se han explotado sin control, perforando una cantidad desmedida de pozos en los acuíferos.

Con ese nivel de almacenamiento, sin presentarse lluvias, la capacidad de extracción para inyectarle a la red de distribución de la capital sonorense, se estima que alcance para el 20 de junio de 2009 y de ahí en adelante, sería imposible tener agua de esa fuente.

En esta zona desértica hay mucha agua, pero falta una cultura de cuidado y uso óptimo de este recurso; no se recicla y no se cuida el consumo del agua. El bajo costo por litro influye en que los usuarios no la valoren (Watts, 2009).

En esta zona hace falta un reglamento de construcción que obligue a los que edifican viviendas, a utilizar materiales térmicos que reduzcan el impacto del calor y con ello, indirectamente baja el consumo de agua. Otro problema que se ve en la región, es la explotación irracional de especies vegetales como el mezquite que lo usan para producir carbón y cortan plantas nativas que por su adaptación a la zona, consumen muy bajos volúmenes de agua. Según la ley deben de aprovecharse solamente los árboles caídos, cosa que no se respeta en la industria del carbón.

De acuerdo al mismo autor, existe mucha agua en esta zona, pero el 90% se va en consumo agrícola, otro 5% en la industria y el restante 5% para consumo humano. Es importante mejorar sustancialmente la efectividad en el campo y los sistemas de riego.

Los acuíferos que se encuentran dentro de la Cuenca del Río Sonora han disminuido su almacenamiento desde 1992, año en que se intensificó la extracción de agua subterránea para el abastecimiento de la ciudad de Hermosillo, que se agrava con las extracciones del acuífero del Zanjón para uso agrícola, considerado hasta entonces, como reserva de agua para la ciudad.

La recarga de agua en la Cuenca del Río Sonora es por lluvia, de ésta se pierde a la atmósfera entre el 85 y 95% por evapotranspiración. El resto se escurre o se infiltra a los acuíferos. El escurrimiento ha caído a su mínima expresión y cuando se presenta, se infiltra rápidamente en zonas permeables de los cauces de los ríos Sonora, Zanjón y San Miguel, hasta alcanzar los acuíferos. Esta recarga ha sido rebasada por la extracción por bombeo en seis de los trece acuíferos de la cuenca y alcanzó su mayor déficit con 118 Mm³ en el año 2004.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Para realizar el presente trabajo se utilizaron mapas geológicos, hidrológicos y topográficos editados por el INEGI (1981). También se usaron fotografías aéreas obtenidas de Google Earth, las cuales fueron escaladas y georreferenciadas con ayuda del programa AutoCAD.

Los programas de cómputo usados fueron: Excel, Word y AutoCAD. Algunos mapas de AutoCAD (dwg y dxf) provienen de la transformación de archivos de ArcView (shp) propiedad del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora. Otros mapas fueron redibujados a partir de estudios previos, siempre dando crédito a los autores originales. Para el trabajo digital se utilizó una computadora marca ACER.

2.2. Métodos

La metodología que se usó en la realización de este estudio consistió de varias etapas que se pueden resumir como sigue:

a) Recopilación y análisis de los estudios previos del área (geología, hidrogeología, balances, etc)

A través de la integración e interpretación de la información recopilada, contenida en informes, boletines, estudios, tesis, etc, realizados previamente, se pudo conocer la situación de la Cuenca del Río Sonora, que sentó las bases para las etapas siguientes del estudio.

Las fuentes de datos incluyeron principalmente a las siguientes dependencias: Universidad de Sonora, Comisión Nacional del Agua, Instituto de Estadística, Geografía e Informática, Comisión Estatal del Agua y Servicio Geológico Mexicano.

Los datos de estaciones climatológicas fueron restituidos cuando fue posible, con los promedios de estaciones cercanas. Se revisaron todos los datos, eliminando aquellos años que tuvieran muchos datos faltantes.

b) Caracterización fisiográfica de las subcuencas y elaboración de análisis climatológico

Con el fin de conocer la morfología de las subcuencas, se hicieron recorridos de campo para observar pendientes, tipo de corrientes, vegetación, aprovechamientos, etc.

En mapas topográficos escala 1:250,000 y utilizando el software AutoCAD, se calcularon los siguientes parámetros fisiográficos de las subcuencas: área, orden, pendiente, densidad de corriente y densidad de drenaje, con los cuales se pudo tener conocimiento de las características que influyeron en el balance de agua.

Además, se analizaron datos climatológicos que incluyeron: tipos de clima, precipitación media anual, evaporación media anual y temperatura media anual.

c) Selección de una ecuación de balance hidrológico superficial y cálculo de cada uno de sus términos (precipitación, escurrimiento, evaporación, infiltración, cambio de almacenamiento) por subcuencas

De acuerdo a las características obtenidas anteriormente, se escogió la ecuación de balance hidrológico superficial (ecuación del ciclo hidrológico) para el área de estudio.

Se determinó cada uno de sus términos: se calculó el volumen de lluvia con el método de los Polígonos de Thiessen, el volumen de escurrimiento con la Norma Oficial Mexicana (NOM-011-CNA-2000), el volumen de evapotranspiración con el Método de Turc y el volumen infiltrado despejando la ecuación del ciclo hidrológico.

El volumen del cambio de almacenamiento se obtuvo de datos de las presas del área, publicados en el trabajo de la UNISON (2006).

d) Realización de una evaluación de los recursos hídricos superficiales de la Cuenca del Río Sonora por subcuencas

Con los resultados obtenidos, se hizo la evaluación del agua en el área estudiada, para saber qué volumen de agua precipita, escurre, se evapora y se infiltra o recarga al acuífero. Se espera que este trabajo sirva de base a otros que cuenten con mayor información.

e) Publicación de datos, metodología y resultados obtenidos

La elaboración de la presente tesis servirá para poner a disposición de los interesados toda la información existente y generada, ya que en ocasiones es difícil encontrarla o consultarla. Con base en los resultados obtenidos, se elaboraron recomendaciones para el área de estudio.

III. ESTUDIOS PREVIOS

Se tienen algunas obras referentes a la hidrología superficial y subterránea del área de estudio. A continuación se hace una breve reseña de los trabajos existentes.

Investigadores de la **Universidad de Sonora (UNISON, 2001)**, realizaron análisis físico-químicos de algunos elementos como parte del proyecto: "*Estudio de cuantificación de la recarga del acuífero "Costa de Hermosillo", Municipio de Hermosillo, Sonora*". Se citan algunos de sus valores más sobresalientes.

Conductividad eléctrica: Para la parte alta de la cuenca, la mayoría de los valores de conductividad eléctrica generalmente son representativos de agua de baja salinidad, se encontró un valor mínimo de 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y uno máximo de 7,830 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para la parte baja de la cuenca se muestra la consistencia de los valores de CE, los máximos se presentan con valores por encima de 5,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, relacionados con la franja de intrusión marina. Los valores entre 2,000 y 5,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tienen la menor proporción y están localizadas al E de la línea de costa. Por último los valores entre los 100 y 2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se observan en las partes altas de la cuenca baja.

Temperatura: En general, en la parte alta de la cuenca, las temperaturas varían de 11.5 °C a 36.4 °C, siendo esta última, la más alta después del manantial de Aconchi que tiene 51 °C; la temperatura promedio es de 24.84 °C. Para la parte baja de la cuenca, se presenta un amplio rango de temperaturas que van de 21° a 43 °C. Este amplio rango es producido por una amplia y variada gama de mecanismos (tectónica, hidroestratigrafía, niveles freáticos someros, etc).

Potencial hidrógeno: La mayoría de las muestras analizadas van de 7.2 a 8.3, y un valor promedio de 7.6, lo que indica que en general para toda el área de estudio el agua es ligeramente alcalina, es decir, la presencia de carbonatos en la zona de estudio muestra un claro predominio del contenido de sulfatos en el agua. En la parte baja de la cuenca la variación del potencial de hidrogeno (pH) está en el rango de 6.4 a 8.8.

Dureza total: Para la parte alta de la cuenca se obtuvo 2.06 mg/L como valor mínimo y 4,221.43 mg/L como valor máximo, el valor promedio es de 317.30 mg/L clasificándose en general como agua moderadamente dura a muy dura.

Iones mayores: Se analizaron algunos, encontrándose que el contenido de **calcio** en la parte alta de la cuenca tuvo un valor mínimo de 1.66 mg/L y uno máximo de 556.09 mg/L, siendo el promedio de 95.94 mg/L. En la parte baja de la cuenca los valores oscilan entre 1.24 y 450.00 mg/L.

Los valores de **sodio** van de 3.16 a 1,520.00 mg/L, con un valor promedio de 103.70 mg/L para la parte alta de la cuenca. En la parte baja se observa una concentración de altos valores de sodio, del orden de 121.00 a 350.00 mg/L en los alrededores de la ciudad de Hermosillo, que se consideran asociados a contaminación antropogénica más que a efecto de procesos naturales, sobretodo, considerando que los niveles freáticos se encuentran muy someros, generalmente a menos de 10 m de profundidad. En la parte central del área de estudio los valores van de 90.00 a 121.00 mg/L. Al norte del área de estudio los valores se asocian con zonas potenciales de recarga.

Las concentraciones de **magnesio** en la parte alta de la cuenca van desde no detectados hasta concentraciones de 219.00 mg/L. En la parte baja oscilan entre 0.57 y 42.00 mg/L, presentándose el máximo valor en los alrededores de Hermosillo y el mínimo en la localidad San Isidro.

Las concentraciones de **potasio** varían desde valores no detectados hasta concentraciones de 94.20 mg/L; en general los valores de potasio son bajos, para la cuenca alta.

El valor mínimo de **cloruros** es de 1.22 mg/L y el máximo es de 1,525.00 mg/L. En general los cloruros son bajos en la cuenca alta. Para la cuenca baja, las zonas de mayor concentración se correlacionan con las áreas de mayor penetración de intrusión salina con valores del orden de 60.00 mg/L. En los alrededores de la ciudad de Hermosillo se presentan concentraciones que se consideran anómalas para este ión con valores de 80.00 a 140.00 mg/L en la parte oeste de Hermosillo y de 120.00 a 150.00 mg/L al norte de la ciudad. Estos al igual que su par iónico, el **sodio**, se consideran producto de la contaminación de descargas antropogénicas (domésticas, porcícolas, detergentes, etc) que alcanzan la zona saturada.

El valor mínimo de **sulfatos** obtenido para la cuenca alta es de 4.08 mg/L y el valor máximo de 2,476.00 mg/L. La cuenca baja presenta un rango de valores que oscilan de 0.41 a 7.60 mg/L característicos de zonas de recarga.

Valenzuela (2003) en su tesis de maestría: *“Modelo conceptual hidrogeológico del sistema acuífero Costa de Hermosillo y simulación del flujo subterráneo”*, llegó al resultado de que la unidad hidrogeológica identificada como Acuífero de la Costa de Hermosillo es un sistema acuífero multicasas, que presenta zonas de confinamiento locales que dan como resultado una mezcla de niveles piezométricos. La temperatura media anual que reporta, oscila entre los 21 y 25 °C. La precipitación media anual es de 260.1 mm y la evaporación es muy alta en la zona. Los valores varían por periodos, esto denota que valores altos de lluvia se correlacionan con periodos húmedos, y por consiguiente producen mayor almacenamiento de agua en las presas; por el contrario, los periodos secos, se relacionan a bajos almacenamientos en presas.

Miranda (2004) en su tesis de licenciatura: *“Actualización geohidrológica y modelación de la parte centro-sur del Acuífero Río Zanjón, Sonora”*, calculó que la entrada subterránea de agua al acuífero fue de 14.04 Mm³/año, de la cual 8.42 Mm³/año proviene del Río San Miguel. La salida subterránea horizontal fue de 7.06 Mm³/año, aunada a una extracción por bombeo de 33.68 Mm³/año. El autor concluye que se tiene un 43% de sobreextracción.

El Departamento de Geología de la **Universidad de Sonora (UNISON, 2005)** elaboró el *“Estudio geohidrológico de las subcuencas de los Ríos Zanjón, San Miguel, Mesa del Seri-La Victoria y Cuenca Bacoachito”*, en el cual reportan una temperatura media anual de 18 a 24 °C, una precipitación media anual de 460.0 mm y una evapotranspiración media anual de 383.7 mm.

En las subcuencas se localizan extensos y angostos valles donde se concentran la mayor parte de los pozos que explotan los acuíferos de: Bacanuchi, Bacoachi, Arizpe, Aconchi, Horcasitas, Pesqueira, Rayón-Opodepe, Santa Rosalía, Topahue, Ures y Mesa del Seri-La Victoria, los cuales se describen brevemente a continuación.

Acuífero de Bacanuchi: Pertenece a la Subcuenca del Río Sonora. Está constituido por conglomerados semiconsolidados del Terciario y Pliocuaternario, así como por depósitos aluviales, que representan el evento sedimentario más reciente en cuencas continentales, originado por movimientos post-orogénicos. El aluvión consiste de arcilla y grava, que varían en su grado de compactación; en éste existe gran cantidad de pozos en explotación. Es de tipo libre, con permeabilidad de media a alta. El flujo regional del agua

subterránea es hacia el SE, la cual se destina esencialmente para actividad pecuaria, uso público-urbano y en menor proporción agrícola.

Acuífero de Ures: Al igual que los otros acuíferos es de origen tectónico; está rodeado por sierras de rocas ígneas volcánicas (riolitas y tobas ácidas); rellenando los valles se tienen conglomerados Terciarios y Cuaternarios, depósitos eólicos y aluviales, con alta a media-alta permeabilidad que forman un acuífero de tipo libre. La calidad del agua es dulce y pertenece a la familia Bicarbonatada cálcica. El flujo del agua subterránea es NE-SW y de N-S o de S-N cerca de Ures. La recarga al acuífero se lleva a cabo por infiltración directa de la precipitación y por recargas laterales de las sierras que bordean al valle, así como por los escurrimientos del Río Sonora y por agua de retorno agrícola. El uso mayor de agua subterránea es agrícola y en menor proporción doméstico-urbano y pecuario.

Acuífero de Topahue: Presenta las mismas características geohidrológicas que el Acuífero de Ures. Es de forma alargada con orientación NE-SW.

Acuífero Mesa del Seri-La Victoria: Se localiza al oriente de la ciudad de Hermosillo. Limita al N con los valles Sonora y Zanjón, al W con el vaso de la Presa Abelardo L. Rodríguez y pertenece a la Subcuenca del Río Sonora. Los acuíferos se encuentran separados por lentes arcillosos de extensión y espesor variable. El espesor del acuífero es de 300 m, estimándose que en algunas partes el basamento se presenta a una profundidad de 500 m. Los primeros 50 m de la zona acuífera consisten de un paquete de materiales gruesos (gravas, boleos y arenas), que disminuyen de talla con la profundidad. El agua se destina para abastecer de agua potable a la ciudad de Hermosillo y en menor grado, para uso agrícola, pecuario e industrial. La calidad del agua es buena y varía de dulce a tolerable, siendo el contenido de sólidos totales disueltos de 400 mg/L en promedio, con valores máximos en puntos aislados de 1,200 mg/L. La familia de agua predominante es Bicarbonatada, Sulfatada y Clorurada sódica.

Acuífero de Bacoachi: Al NE de la Cuenca del Río Sonora y en la porción central de la Subcuenca del Río Sonora. La cuenca es de origen tectónico, identificándose como un graben alargado limitado por sierras paralelas con lineamiento general NW-SE. El acuífero se ubica en las formaciones de relleno pertenecientes al Cuaternario. El espesor medio de los depósitos aluviales es de 50 m, pero varía, siendo mayor en las márgenes del Río Sonora, donde se localizan la mayoría de los aprovechamientos. La zona acuífera se amplía

en la porción central y se adelgaza hacia los extremos. La base del valle presenta un conglomerado con alto contenido de arcilla con espesor superior a los 200 m, que sirve de piso al acuífero, de tipo libre. La calidad del agua es dulce y pertenece a la familia Bicarbonatada cálcica. La dirección de flujo subterráneo es NW-SE siguiendo el curso del Río Sonora, de donde proviene la recarga, así como por precipitación e infiltración de escurrimientos, y recargas laterales provenientes de las sierras circundantes.

Acuífero de Arizpe: Se localiza al NE de la Cuenca del Río Sonora entre las subcuencas del Río Sonora y Bacanuchi. Las características físicas y geohidrológicas son similares a las de los acuíferos Bacoachi y Bacanuchi, limitados por las sierras circundantes formadas por rocas ígneas y en menor proporción por rocas carbonatadas de origen marino. El acuífero es de tipo libre, la calidad del agua es dulce y predomina la familia Bicarbonatada cálcica y Sulfatada cálcica. La recarga al acuífero se lleva a cabo por flujo lateral y por la infiltración de agua de lluvia proveniente de las zonas permeables que circundan el valle, por el Río Bacanuchi, por el Río Sonora y retorno agrícola de la parte NE y central. En base a la elevación de niveles estáticos, se observa una dirección de flujo subterráneo hacia el SW y un pequeño flujo proveniente de la Subcuenca del Río Bacanuchi al S. El uso principal del agua subterránea es para fines agrícolas y en un segundo término, para uso doméstico-pecuario.

Acuífero de Aconchi: Se localiza en la Subcuenca del Río Sonora. La zona acuífera en explotación está ubicada en las formaciones de relleno pertenecientes al Cuaternario y en unidades de rocas graníticas con fracturamiento intenso, cuya integración en una sola unidad geohidrológica no está aún definida. La escasa compactación determina la existencia de material cuya granulometría y porosidad dan lugar a una alta permeabilidad, y debido a que el material es sobreyacido por rocas de permeabilidad baja a media, dan como resultado un acuífero libre. La calidad del agua para toda la región es dulce con concentraciones de sólidos totales disueltos entre 400 y 800 mg/L. Los valores de pH revelan la existencia de aguas agresivas e incrustantes, con predominio de la familia Bicarbonatada. La dirección de flujo subterráneo es de N-S. La recarga se efectúa principalmente a través del Río Sonora, por precipitación e infiltración de escurrimientos, así como por recargas laterales provenientes de las sierras circundantes y retorno agrícola.

Acuífero de Rayón-Opodepe: El acuífero está localizado en la porción central de la Cuenca del Río Sonora, en la Subcuenca del Río San Miguel. Los materiales acuíferos de esta zona están representados por depósitos aluviales recientes cuya granulometría varía de boleos y gravas hasta limos y arcillas, los cuales conforman un acuífero libre. Estos depósitos presentan profundidades máximas de 60 m y espesores saturados promedio de 20 m. La calidad del agua es dulce con contenido de sales entre 200 y 900 mg/L. De acuerdo a la Clasificación de Chase-Palmer, la familia de agua predominante es Bicarbonatada cálcica. La dirección de flujo del agua subterránea presenta semejanza con la dirección que siguen los escurrimientos superficiales, que en un entorno regional, se considera de N a S. El agua extraída es utilizada para actividad doméstica, agrícola y pecuaria.

Acuífero de San Miguel de Horcasitas: Está localizado al S de Rayón-Opodepe, en la Subcuenca del Río San Miguel. Los depósitos que conforman esta zona acuífera son de tipo aluvial reciente, cuya granulometría varía de boleos y gravas hasta limos y arcillas, los cuales conforman un acuífero libre. Las profundidades máximas son de 60 m. La calidad del agua es dulce con rango de contenido de sales entre 290 y 1,960 mg/L. De acuerdo con la Clasificación de Stiff, la familia de agua predominante es Bicarbonatada cálcica. La dirección de flujo del agua subterránea presenta semejanza con la dirección que siguen los escurrimientos superficiales, de N a S. El agua extraída es utilizada para actividad agrícola, pecuaria y otros usos.

Acuífero de Pesqueira: Se localiza en la porción oeste de la Cuenca del Río Sonora, en la Subcuenca del Río Zanjón. Tiene una orientación N-S y es de forma alargada. El sistema hidrogeológico está compuesto por tres capas acuíferas. La primera es de tipo libre, formada por depósitos aluviales recientes, cuya granulometría varía de grava y arena a limo y arcilla. La segunda es de carácter semiconfinantes, y se constituye por terrazas antiguas conglomeráticas del Terciario pertenecientes a la Formación Báucarit. La última está constituida por materiales clásticos del tipo de arenas y gravas, alojadas dentro de la Formación Báucarit, pero confinada por facies arcillosas, características de dicha formación. El espesor del material del Terciario puede exceder los 500 m mientras los depósitos del Reciente apenas sobrepasan los 50 m. La principal aportación de agua subterránea proviene de la primera capa. La calidad del agua es dulce con valores de sólidos totales disueltos entre 300 y 900 mg/L. Los valores con mayores contenidos en

sales se localizan al sur de la zona acuífera. La familia de agua predominante según la clasificación de Chase-Palmer, es Bicarbonatada cálcica; los valores medidos del potencial hidrógeno indican la existencia de agua incrustante. El flujo regional del agua subterránea sigue una dirección general N-S, salvo en lugares sobreexplotados. El uso es eminentemente agrícola, doméstico y pecuario.

Acuífero de Santa Rosalía: Se localiza en la porción SE de la Cuenca del Río Sonora, específicamente dentro de la Subcuenca del Río Sonora. El acuífero tiene 2 capas. La primera de tipo libre, conformada por depósitos fluviales recientes, cuya granulometría varía de arcilla, limo y arena, a menor proporción de gravas. La segunda es de carácter semiconfinante y se constituye por terrazas antiguas conglomeráticas del Terciario, intercaladas con flujos basálticos pertenecientes a la Formación Báucarit. El espesor del material del Terciario puede exceder los 500 m, mientras que los depósitos del Reciente son de alrededor de 100 m. La calidad del agua es dulce con contenidos de sólidos totales disueltos entre 360 y 1,000 mg/L. La familia de agua predominante, según las clasificaciones de Piper y Stiff, es Bicarbonatada cálcica. El flujo regional del agua subterránea sigue una dirección general hacia el W y SW; su uso es eminentemente agrícola, múltiple y pecuario.

Acuífero de La Manga: Se localiza en la porción E de la Cuenca del Río Bacoachi. Tiene una orientación preferencial N-S, aunque se caracteriza por tener gran amplitud. Los sedimentos son material no consolidado a semiconsolidado, siendo sus componentes principales, la arena, arcilla, limo, grava y conglomerados semiconsolidados, los cuales descansan sobre rocas ígneas volcánicas (composición riolítica-andesítica). El acuífero de tipo libre, tiene forma alargada NE-SW y se conecta con el Acuífero de la Costa de Hermosillo. La calidad del agua es dulce con valores de sólidos totales disueltos entre 470 y 1,094 mg/L. La familia de agua predominante, según la Clasificación de Stiff, es Bicarbonatada cálcica. El flujo regional subterráneo sigue una dirección general N-S. La importancia en el uso de los aprovechamientos es pecuaria y agrícola.

Acuífero Bacoachi-Noriega: Se localiza en la parte central de la Cuenca del Río Bacoachi. Es de forma amplia. La calidad del agua es dulce con valores en contenido de sólidos totales disueltos entre 404 y 1,040 mg/L. La familia de agua predominante, según la Clasificación de Stiff, es Bicarbonatada cálcica. El flujo regional del agua subterránea es

con dirección hacia la parte central de la zona acuífera, en donde existe un cono de abatimiento cerca del poblado de Bacoachi. La importancia en el uso de los aprovechamientos es pecuaria y agrícola.

Acuífero de la Costa de Hermosillo: Se constituye por una serie de fosas sedimentarias formadas por la generación de bloques caídos producto de la tectónica (fallas) que dio origen a la apertura del Golfo de California. Tiene un espesor promedio de 200 m, y está constituido por sedimentos aluviales del Cuaternario, sobre sedimentos que posiblemente corresponden a una secuencia de depósitos deltaicos y marinos fosilíferos del Mioceno. Todos ellos descansan sobre un basamento ígneo. Se reconocieron seis familias de agua, predominando los tipos Bicarbonatada cálcica, representativa del agua dulce del acuífero y Clorurada sódico-cálcica, reflejo de la zona de mezcla de aguas salina y dulce en la zona de interfase. La distribución de sólidos totales disueltos, muestra las líneas limítrofes de la invasión, la zona de interfase y la zona de agua dulce (menor a 1,000 mg/L).

En otra investigación de profesores y alumnos del Departamento de Geología de la **Universidad de Sonora (UNISON, 2005)** intitulada: *“Estudio de piezometría y evolución de niveles, en la cuenca media y alta del Río Sonora y Río Bacoachi”*, se observó que la disponibilidad de agua subterránea en los acuíferos estudiados es negativa, con excepción del Acuífero del Río Bacoachi. El déficit en la zona estudiada fue de 111.0 Mm³/año. Las condiciones más críticas se observan en los acuíferos del Río Zanjón y Mesa del Seri-La Victoria. El Acuífero del Río Zanjón es el que presenta el mayor déficit para el periodo de análisis (2004-2005), con una extracción de agua del almacenamiento de 48.0 Mm³, por lo que se considera sobreexplotado. El Acuífero de la Mesa del Seri-La Victoria ocupa el segundo lugar en déficit, con 27.0 Mm³.

En el mismo trabajo, se menciona que la precipitación total anual mínima de 145.0 mm ocurrió en la Estación El Carrizal y la máxima de 568.7 mm en la Mazocahui. La mayoría de las estaciones tienen una temperatura media por encima de los 20 °C, siendo la temperatura media para toda el área de 21.3 °C. El mes más cálido del año en la mayoría de las estaciones es Julio, con una temperatura media de 29.2 °C y el mes más frío es Enero, con 12.9°C. La estación con la temperatura media anual mayor es El Orégano, con 25.2°C y la mínima es Cananea, con 16.3°C.

La evaporación potencial promedio para la zona es de 2,031 mm/año, siendo el valor más alto de 2,936 mm, dato registrado en la Estación Presa Abelardo L. Rodríguez, y el más bajo de 1,151 mm se midió en la Estación Huépac.

Martínez (2005) en su tesis profesional: *“Hidrogeología e hidrogeoquímica de los acuíferos de Ures y Topahue, Cuenca del Río Sonora, Municipio de Ures, Sonora”*, concluye que la zona de estudio es una Subcuenca del Río Sonora considerada como semiárida, con condiciones climatológicas extremas, de temperaturas que producen una alta evaporación, por lo que el recurso superficial es precario, resultando difícil el almacenamiento de aguas superficiales. El agua acusa una tendencia marcada hacia la familia Bicarbonatada cálcica con algunas variaciones a Bicarbonatada-sulfatada cálcica, con una relación de $K \ll Mg \ll Ca$, $Cl < SO_4 < HCO_3$. El agua analizada en la mayoría de los casos, se considera adecuada para el uso potable.

Por medio del promedio aritmético de la precipitación de 10 estaciones climatológicas por el área total de la subcuenca, se llegó a obtener un volumen precipitado de 889.96 Mm³/año.

Mediante la Fórmula de Turc se obtuvo un valor de evapotranspiración real de 818.33 Mm³/año. De los resultados obtenidos en el análisis de evapotranspiración real (ETR) y comparativamente con el volumen precipitado, se obtiene para esta subcuenca que el 92% de la precipitación retorna a la atmósfera en forma de vapor.

Por otro lado, el escurrimiento se calculó en 44.5 Mm³/año y con los resultados anteriores se obtuvo un volumen potencial de infiltración (recarga) en la subcuenca de 27.13 Mm³/año.

La UNISON (2006) realizó para la SEMARNAT, el *“Estudio para determinar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Nacionales Superficiales en las cuencas de las Regiones Hidrológicas 08 y 09, Sonora Norte y Sur (Río Sonora)”* donde estudian los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos mediante balances. Calcularon los valores promedio en la Presa Abelardo L. Rodríguez de 1974-2004: evaporación de 40.36 Mm³, extracción de 89.7 Mm³, entradas equivalentes a 121.95 Mm³ y variación de almacenamiento de -1.08 Mm³.

En el balance subterráneo, calcularon valores negativos del almacenamiento para los acuíferos: Costa de Hermosillo, Sahuaral, Mesa Seri-La Victoria, La Poza, Río Sonora, Río

San Miguel y Río Zanjón. Los balances positivos o con disponibilidad de agua subterránea son los acuíferos de: Santa Rosalía, Río Bacoachi y Río Bacanuchi. La actualización del balance hidráulico fue realizada de acuerdo a la metodología de la NOM-011-CNA-2000.

Herrera (2007) en su tesis de maestría: *“Propuesta para elaborar un modelo hidrogeológico conceptual y determinar la disponibilidad de aguas en una cuenca intermontana, aplicado a una porción del Río Sonora (Mazocahui-Arizpe)”*, concluye que dicha área se puede dividir en seis unidades hidrogeológicas con base a la permeabilidad de las formaciones geológicas, y que el flujo general de agua es de norte a sur. Menciona que en algunas partes del Río Sonora, éste se comporta como influente (aporta agua al acuífero), y en otras como efluente (le quita agua al acuífero).

En cuanto a la disponibilidad media anual superficial para esa área es nula, debido a que se calculó un volumen de escurrimiento de salida de: $41.4 \text{ Mm}^3/\text{año}$, un volumen promedio de escurrimiento de cuencas vecinas de $108.0 \text{ Mm}^3/\text{año}$, pero se tiene una concesión para usar $160.0 \text{ Mm}^3/\text{año}$ de agua superficial, por lo que existe un déficit de alrededor de $11.0 \text{ Mm}^3/\text{año}$.

En cuanto a la disponibilidad de aguas subterráneas, se ha calculado una recarga de $149.1 \text{ Mm}^3/\text{año}$ y se tiene un volumen concesionado para extraer aguas subterráneas de 13.3 Mm^3 ; la diferencia de 135.8 Mm^3 , es el volumen comprometido para uso urbano, por lo que la disponibilidad subterránea aguas abajo, también es nula.

IV. CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA DE LAS SUBCUENCAS

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tenderían a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida (Aparicio, 1999).

Las características físicas de una cuenca son elementos que tienen una gran importancia en el comportamiento hidrológico de la misma. Dichas características físicas se clasifican en dos tipos según su impacto en el drenaje: las que condicionan el volumen de escurrimiento como el área y el tipo de suelo de la cuenca, y las que condicionan la velocidad de respuesta como: el orden de corriente, la pendiente, etc.

4.1. Área de la cuenca

El área de una cuenca es probablemente la característica geomorfológica más importante para una caracterización fisiográfica. Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de esorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

Para determinar el área de las subcuencas en estudio, se utilizó un mapa de las cuencas del Estado de Sonora hecho por CNA (2007), el cual se encuentra georreferenciado con coordenadas UTM y a escala 1: 250,000. Para el presente trabajo se consideraron 2 partes de la cuenca: la **parte alta** que comprende las subcuencas de los ríos Zanjón, San Miguel y Sonora y la **parte baja** que comprende a la Costa de Hermosillo, subdivida en Zona Centro y Zona Sur (Figura 1.3). Una vez delimitadas las subcuencas, se digitalizaron en AutoCAD y usando el comando “área”, se obtuvo la superficie total de la cuenca en estudio, resultando en: 38,834.29 km²; también se obtuvieron las áreas en proyección horizontal de las subcuencas (Tabla 4.1, Figura 4.1).

Tabla 4.1. Área de las subcuencas

Subcuenca	Área (km ²)
Río Zanjón	4,390.35
Río San Miguel	4,324.44
Río Sonora	12,081.45
Costa de Hermosillo-Zona Centro	10,588.42
Costa de Hermosillo-Zona Sur	7,449.63
Área total	38,834.29

Fuente: Propia

4.2. Pendiente de la cuenca

Existen diversos criterios para evaluar la pendiente de una cuenca: Horton, Nash y Alvord; la selección depende del uso posterior que se le vaya a dar al resultado o bien al criterio que lo requiere.

Es un parámetro muy importante en el estudio de cuencas, pues influye entre otras cosas en: la escorrentía, el índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre, la erosión sobre la cuenca, el tiempo de concentración de las aguas en un determinado punto del cauce, etc.

Dada la variación considerable de la pendiente del terreno en una cuenca típica, es necesario definir un índice promedio que la represente, este aspecto tiene una relación importante con la infiltración, el escurrimiento, la humedad del suelo y la distribución del agua subterránea.

Para este estudio se utilizó el Criterio de Alvord ya que es una forma rápida y sencilla de obtener la pendiente de una cuenca y los valores se pueden medir en un mapa con ayuda del programa AutoCAD.

La fórmula de Alvord se expresa de la siguiente manera:

$$Sc = \frac{DL}{A} \cdot 100$$

Donde:

Sc = Pendiente de la cuenca (adimensional, %)

D = Diferencia vertical entre curvas de nivel (m)

L = Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

Con la ecuación anterior se obtuvieron las pendientes de cada una de las subcuencas, con el apoyo de las curvas topográficas de nivel que se muestran en la Tabla 4.2. y en las Figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6.

Tabla 4.2. Pendiente de las subcuencas

Subcuenca	Pendiente (%)
Río Zanjón	2.6194
Río San Miguel	7.2920
Río Sonora	9.6562
Costa de Hermosillo-Zona Centro	1.7531
Costa de Hermosillo-Zona Sur	3.0656

Fuente: Propia

Figura 4.1. Mapa de curvas de nivel cada 200 m de la Subcuenca del Río Zanjón

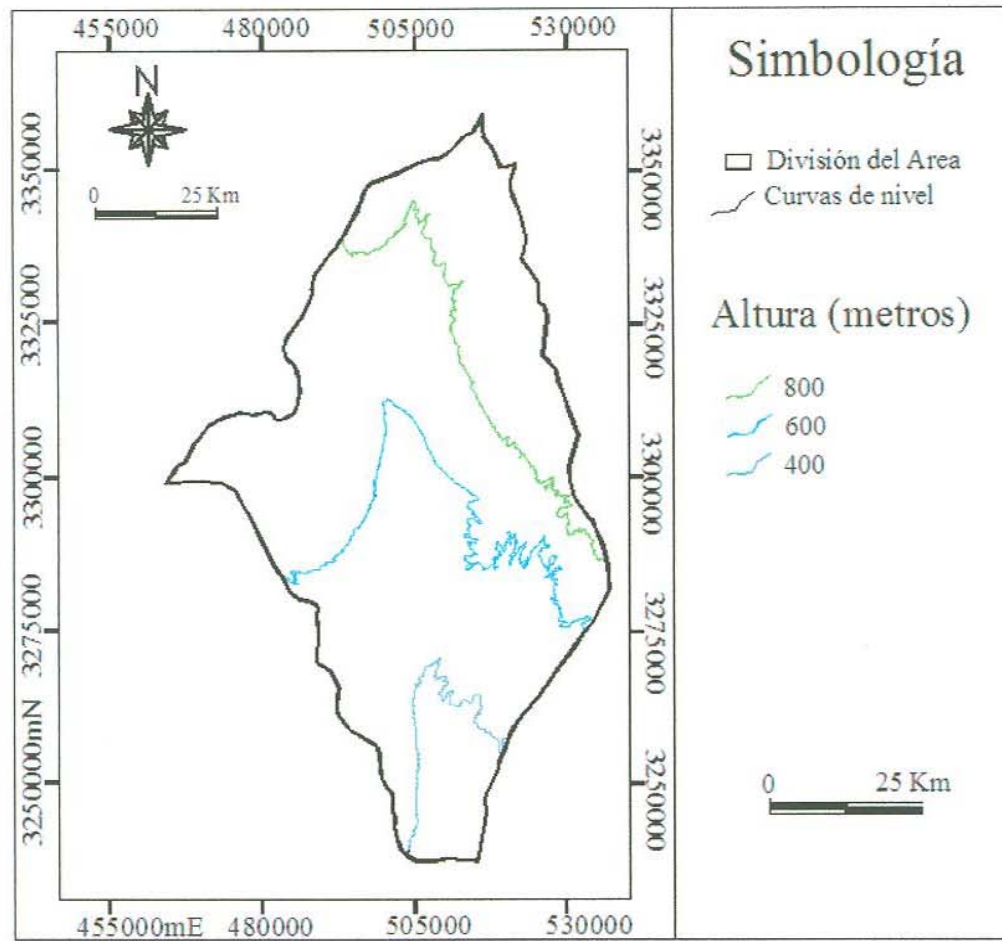


Figura 4.2. Mapa de curvas de nivel cada 200 m de la Subcuenca del Río San Miguel

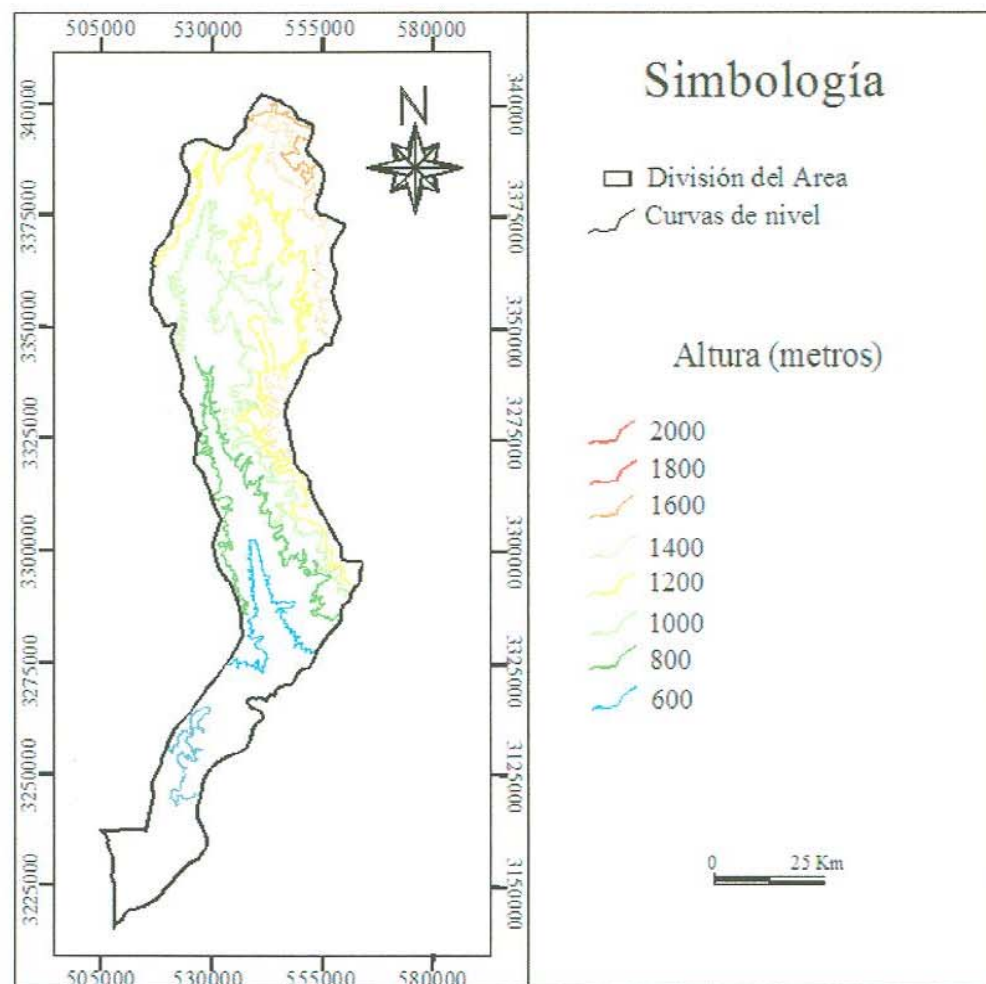


Figura 4.3. Mapa de curvas de nivel cada 200 m de la Subcuenca del Río Sonora

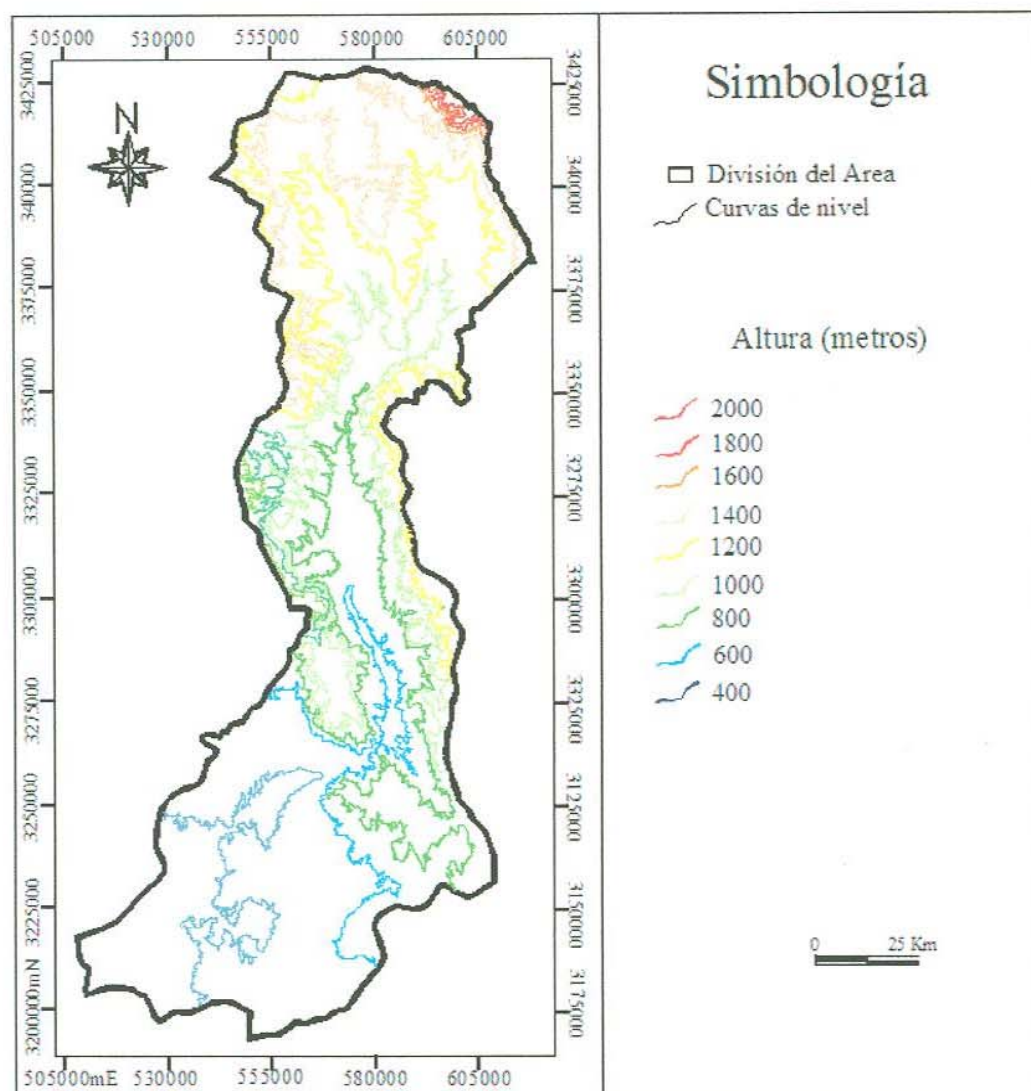


Figura 4.4. Mapa de curvas de nivel cada 200 m de la Subcuenca de la Costa de Hermosillo-Zona Centro

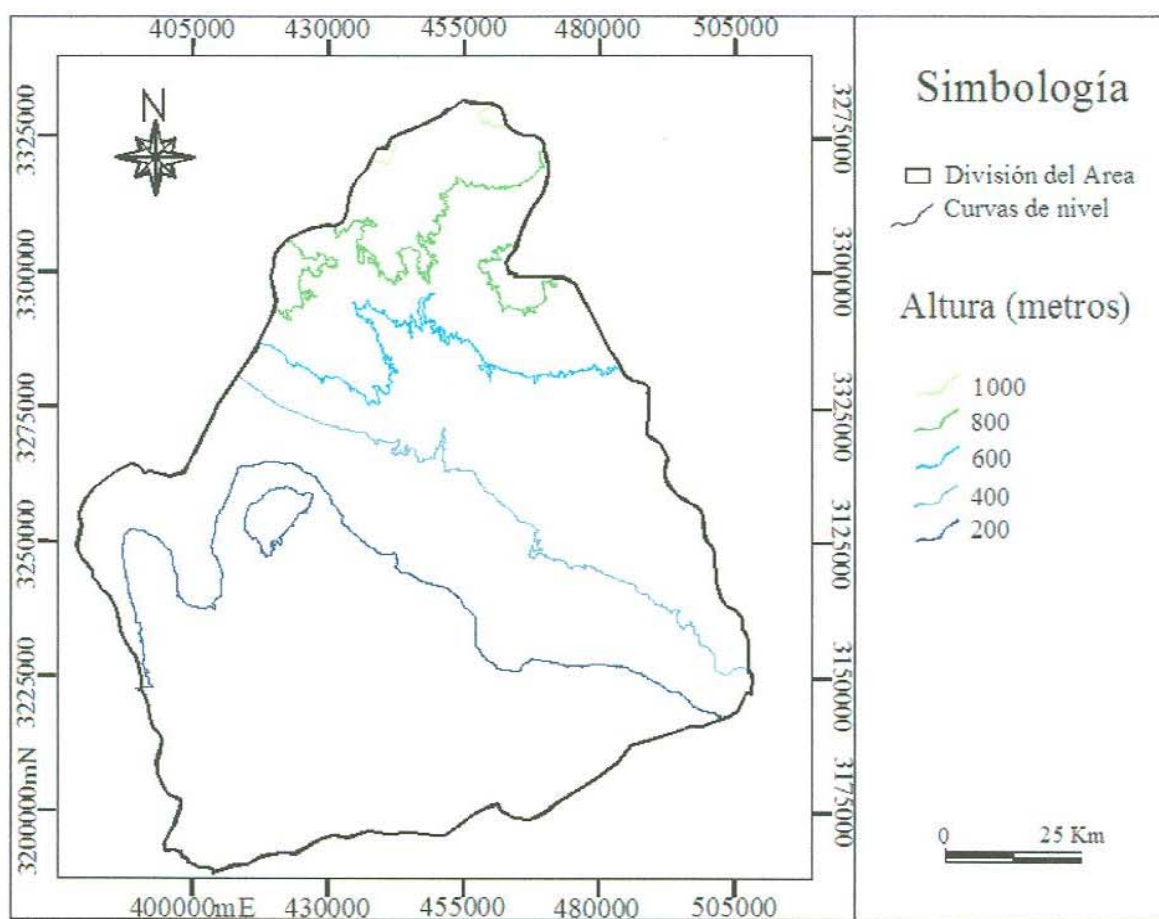
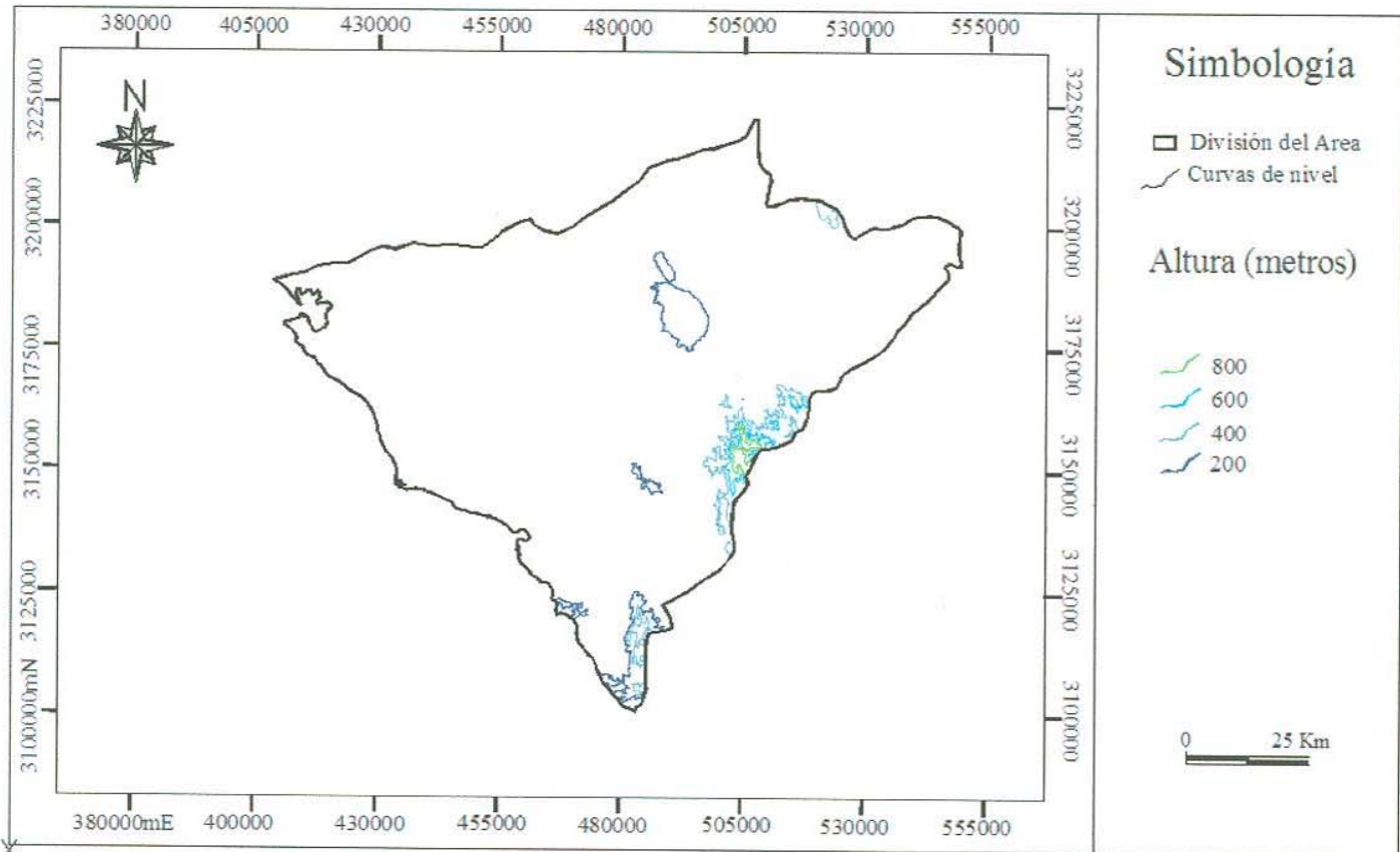


Figura 4.5. Mapa de curvas de nivel cada 200 m de la Subcuenca Costa de Hermosillo-Zona Sur



4.3. Orden de la cuenca

Siguiendo propuestas internacionales, el orden de los ríos se clasifica de la siguiente manera:

- Orden uno. Cada nacimiento es un río de primer orden.
- Orden dos. La unión de dos nacientes hace un río de segundo orden.
- Orden tres. La unión de dos ríos de segundo orden hace un río de tercer orden....y así sucesivamente.

El esquema de órdenes de corrientes o primer método cuantitativo de análisis de las redes de drenaje, fue desarrollado a principios de la década de los cuarenta por el ingeniero hidráulico e hidrólogo americano Robert Horton. Como se explicó anteriormente, las corrientes fluviales son clasificadas jerárquicamente: las que constituyen las cabeceras, sin corrientes tributarias, pertenecen al primer orden o categoría; dos corrientes de primer orden que se unen forman una de segundo orden, que discurre hacia abajo hasta encontrar otro cauce de segundo orden para constituir otro de tercera categoría y así sucesivamente. Consecuentemente, Horton estableció unas leyes o principios sobre la composición de las redes de drenaje relacionadas con los órdenes de las corrientes y otros indicadores asociados, tales como la longitud de los cursos fluviales y su número. Sin embargo, las

leyes de Horton han sido criticadas en los últimos años porque se apoyaban en una aproximación estadística que no tenía su base en la manera de discurrir naturalmente el agua y la formación de canales (http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_961521955_2/cuenca.html).

Para cuantificar qué tan ramificado está el drenaje de la Cuenca del Río Sonora, se calcularon los órdenes de los ríos por subcuenca. Los valores de orden de los ríos se observan en la Tabla 4.3 y en las Figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11.

Tabla 4.3. Orden de las Subcuencas del Río Sonora

Subcuenca	Área (km ²)	Orden	Número de corrientes	Longitud de corrientes (m)
Río Zanjón	4,390.35	1	13	252,902.42
		2	2	26,210.23
		3	1	104,428.75
Subtotal			16	383,541.40
Río San Miguel	4,324.44	1	12	295,136.11
		2	2	38,668.96
		3	1	135,229.02
Subtotal			15	469,034.09
Río Sonora	12,081.45	1	28	708,828.98
		2	5	163,263.57
		3	2	181,243.92
		4	1	29,023.33
Subtotal			36	1'082,359.80
Costa de Hermosillo-Zona Centro	10,588.42	1	31	2'026,178.51
		2	9	294,832.76
		3	3	112,899.27
Subtotal			43	2'433,910.54
Costa de Hermosillo-Zona Sur	7,449.63	1	10	270,587.31
		2	4	71,320.89
		3	1	5,774.45
Subtotal			15	347,682.65
Total	38,834.29			

Fuente: Propia

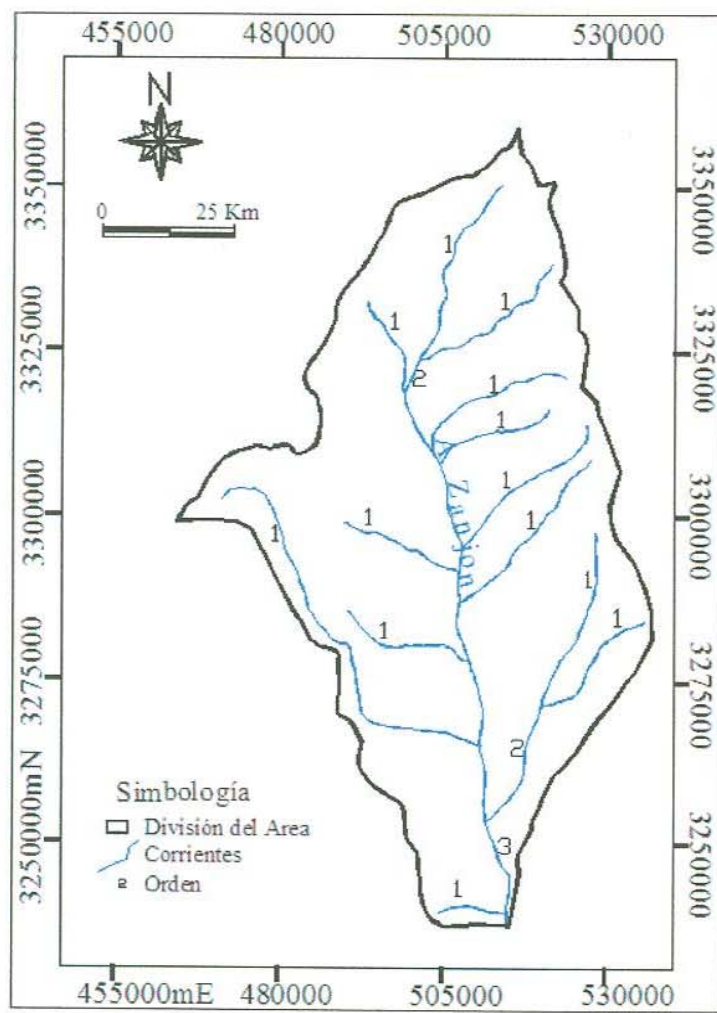


Figura 4.6. Orden de la Subcuenca del Río Zanjón

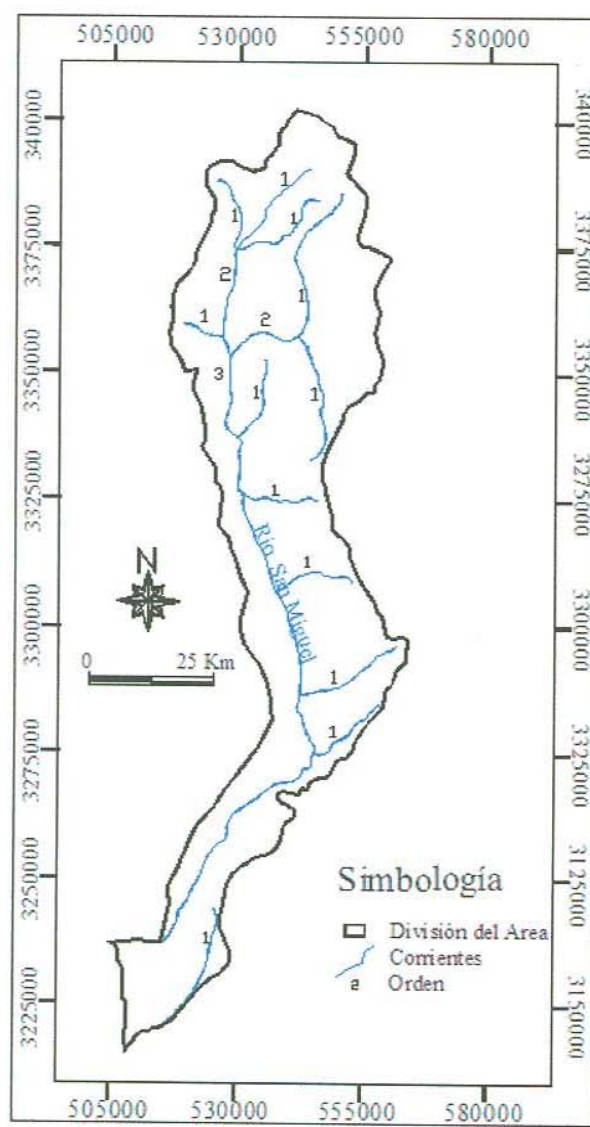


Figura 4.7. Orden de la Subcuenca del Río San Miguel

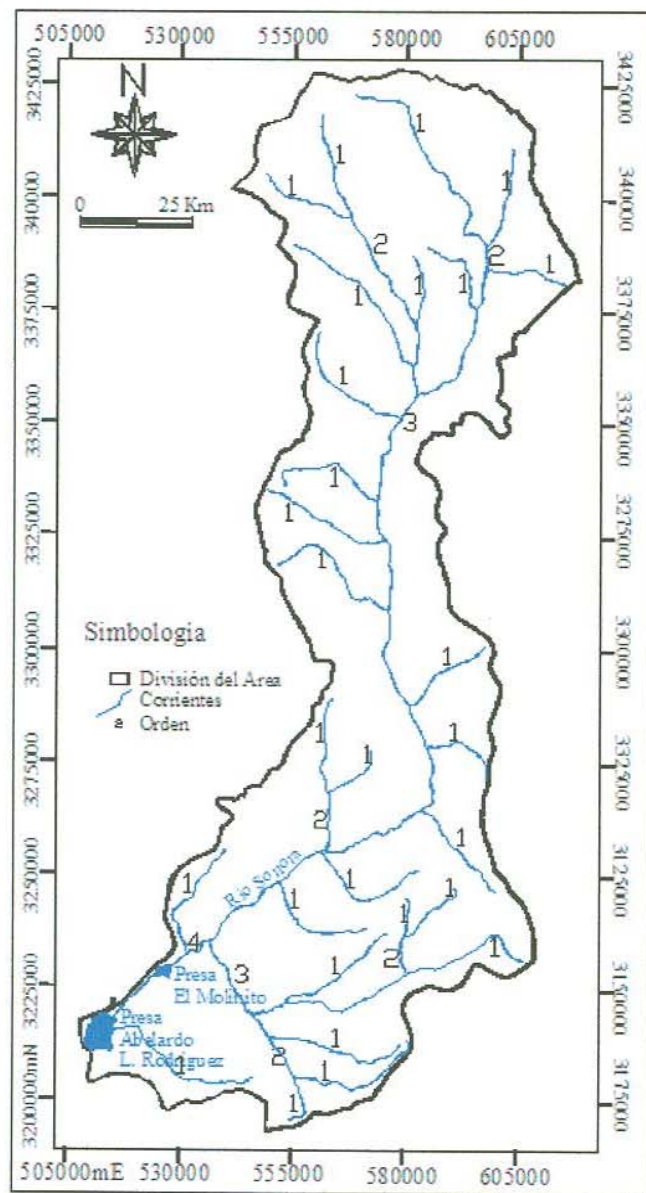


Figura 4.8. Orden de la Subcuenca del Río Sonora

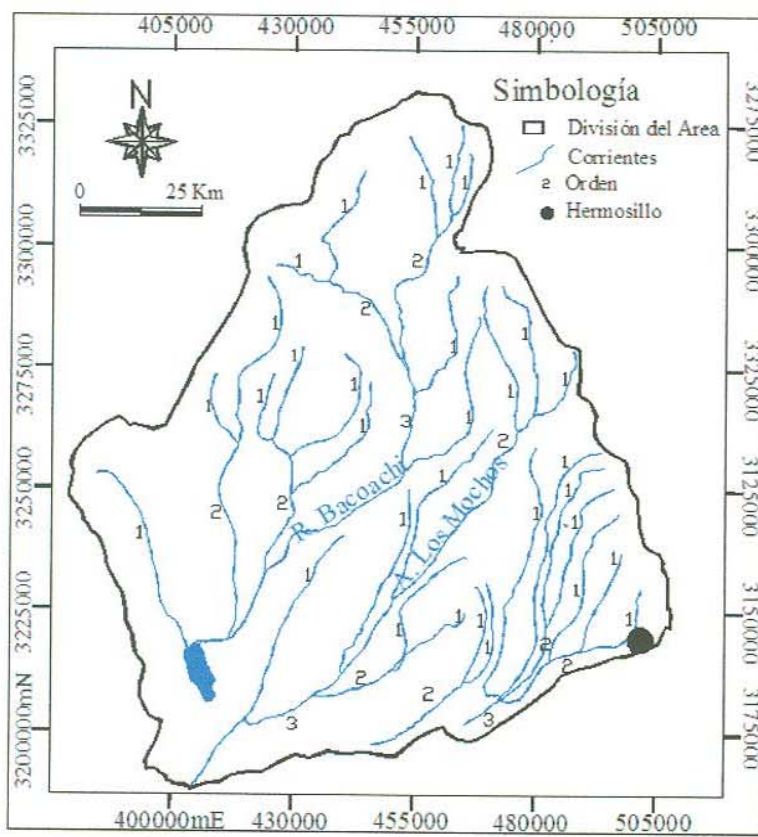
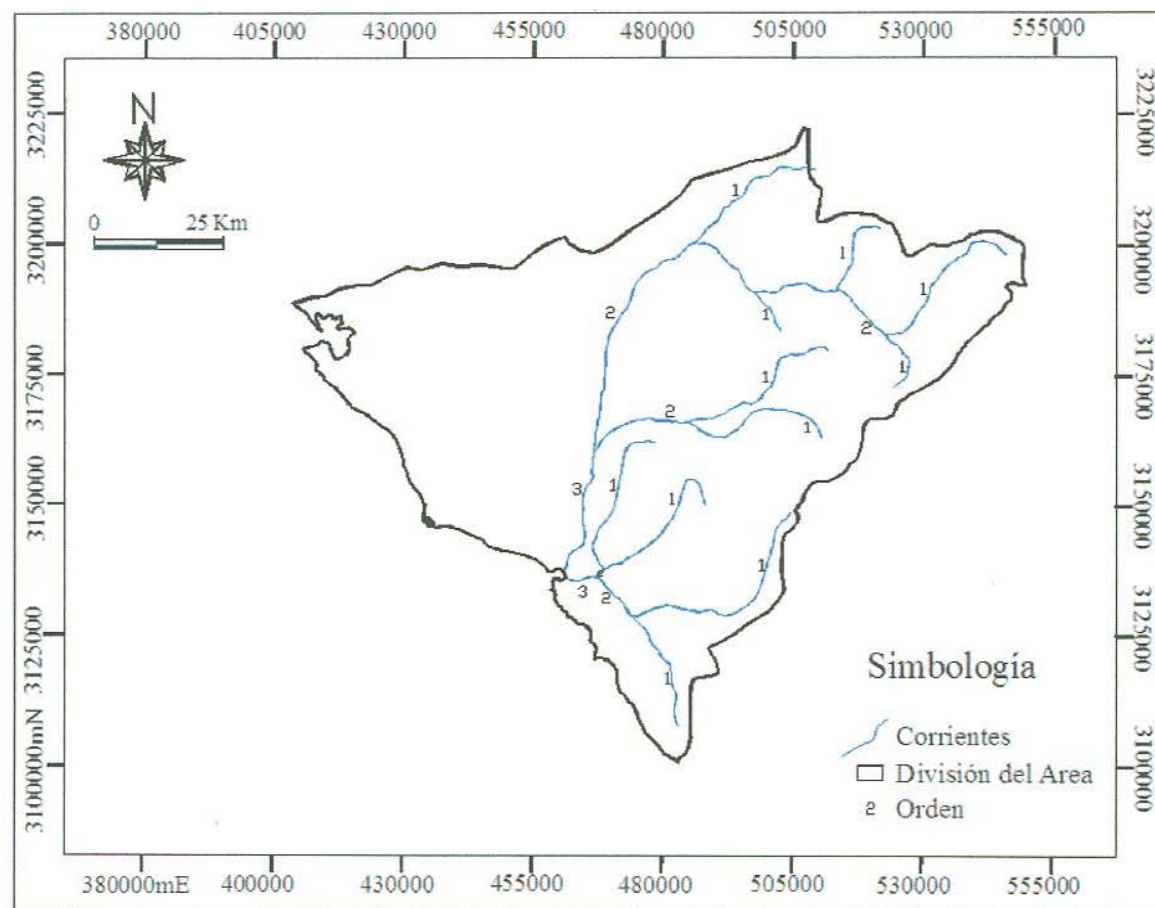


Figura 4.9. Orden de la Subcuenca de la Costa de Hermosillo -Zona Centro

Figura 4.10. Orden de la Subcuenca de la Costa de Hermosillo-Zona Sur



La Subcuenca del Río Sonora es la que presenta el orden más alto, siendo de 4 con 36 corrientes en total, a pesar de que la Subcuenca de la Costa de Hermosillo-Zona Centro tiene más corrientes (43). El orden mayor significa que la Subcuenca del Río Sonora es la más ramificada y por tanto, cuando llueve tiene un desfogue más rápido del agua que recibe, lo que no es muy conveniente para los acuíferos, porque no le da tiempo para infiltrar o recargar el agua (Figura 4.9, Tabla 4.3).

4.4. Densidad de drenaje

Se le llama densidad de drenaje a la relación entre la longitud total de todos los cauces de agua y la superficie total de la cuenca; es un indicador de la respuesta de la cuenca ante un aguacero, por la relación entre la infiltración y la escorrentía.

La densidad de drenaje constituye otro parámetro que permite correlacionar la capacidad volumétrica de la cuenca y el volumen de almacenamiento de agua. Teóricamente, las cuencas con mayor densidad de drenaje poseen una mayor capacidad para coleccionar superficialmente el agua de lluvia y viceversa.

Matemáticamente, es la suma de las longitudes de toda la red de cauces de cualquier orden, en una cuenca, dividida por el área de la misma. Para estimar la densidad de corriente se utiliza la fórmula:

$$Dd = \frac{Lc}{A}$$

Donde:

Dd = Densidad de drenaje (1/km)

Lc = Longitud total de las corrientes dentro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

Con la ecuación anterior se obtuvo la densidad de drenaje para cada una de las subcuencas (Tabla 4.4, Figuras 4.8 a 4.11). Coincidiendo con el orden de la cuenca, la subcuenca con mayor densidad de drenaje es la del Río Sonora.

Tabla 4.4. Densidad de drenaje de las subcuencas

Subcuenca	Área (km ²)	Longitud total de las corrientes (km)	Densidad de drenaje (1/km)
Río Zanjón	4,390.35	383,541.40	0.0873601
Río San Miguel	4,324.44	469,034.09	0.1084612
Río Sonora	12,081.45	1'082,359.80	0.0895886
Costa de Hermosillo-Zona Centro	10,588.42	2'433,910.54	0.2298653
Costa de Hermosillo-Zona Sur	7,449.63	347,682.65	0.0466711

Fuente: Propia

4.5. Densidad de corriente

Este parámetro es la relación entre el número de corrientes y el área de la cuenca (1/km²). Similar a la densidad de drenaje, entre mayor sea la densidad de corriente, la cuenca estará más ramificada lo que provocará una rápida respuesta a una entrada de lluvia y una menor recarga al acuífero.

Para estimar la densidad de corrientes se utiliza la fórmula:

$$Dc = \frac{Nc}{A}$$

Donde:

Dc = Densidad de corriente (1/km²)

Nc = Número de corrientes dentro de la cuenca

A = Área de la cuenca (km²)

Con la ecuación anterior se obtuvo la densidad de corriente para cada una de las subcuencas (Tabla 4.5). La mayor densidad de corriente que indica la mayor ramificación del drenaje, es la de la Subcuenca Costa de Hermosillo-Zona Centro.

Tabla 4.5. Densidad de corriente de las subcuencas

Subcuenca	Área (km ²)	Número de corrientes	Densidad de corriente (1/km ²)
Río Zanjón	4,390.35	16	0.0036444
Río San Miguel	4,324.44	15	0.0034687
Río Sonora	12,081.45	36	0.0029798
Costa de Hermosillo-Zona Centro	10,588.42	43	0.0040610
Costa de Hermosillo-Zona Sur	7,449.63	15	0.0020135

Fuente: Propia

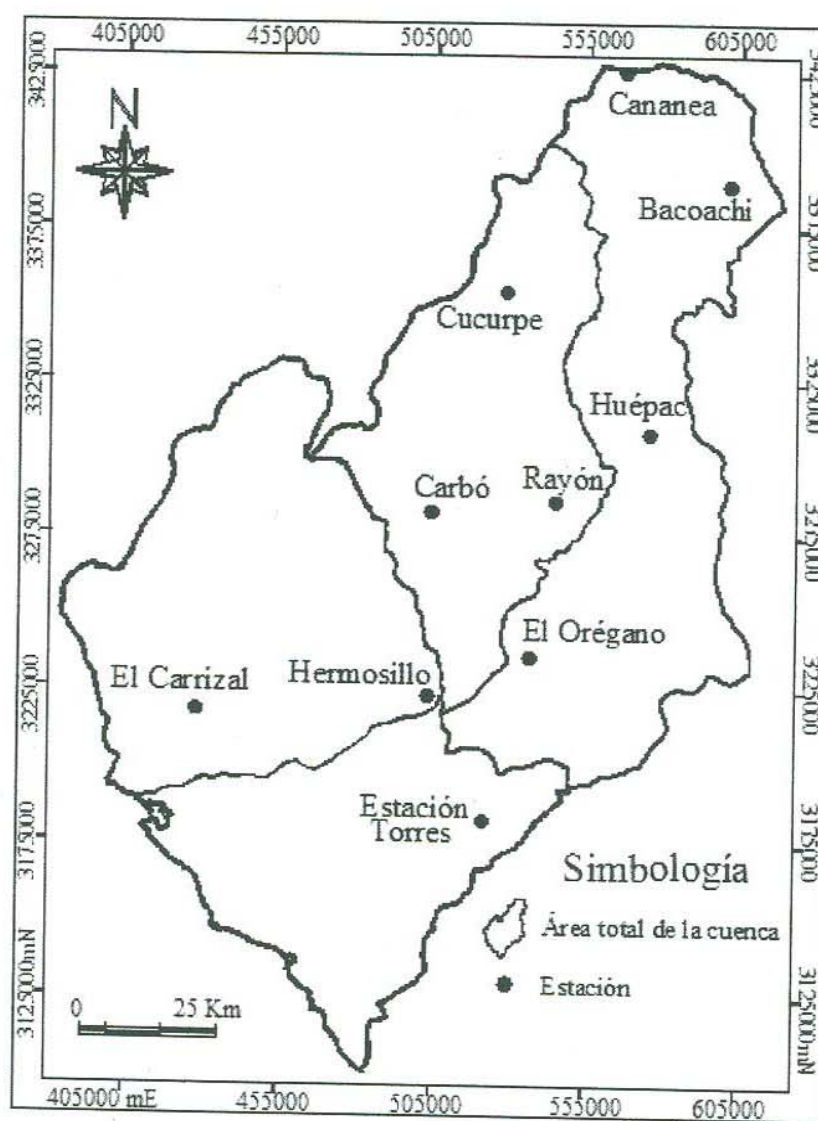
V. ESTACIONES Y ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO

Se realizó la compilación y captura de datos de 10 estaciones climatológicas a cargo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), cuya localización puede observarse en la Figura 5.1.

Los datos meteorológicos incluyen: temperatura media anual, precipitación media anual y evaporación potencial anual.

La información fue gentilmente proporcionada por el Fis. Martín Barrón Félix y el Ing. Gilberto Lagarda Vásquez.

Figura 5.1. Ubicación de las estaciones (CONAGUA, 2008)



Para realizar el análisis climatológico de la cuenca, se graficaron los valores de cada uno de los parámetros para los periodos con datos, para observar como varían a través del tiempo.

5.1. Bacoachi

Sus coordenadas son: 30°38'03" Latitud N y 109°58'08" Longitud W. El período de registro de temperatura, precipitación y evaporación comprende los años: 1977 a 1984. La precipitación total media es de 584 mm, la temperatura media es de 19 °C y la evaporación total media es de 1,947 mm. En esta estación se observa que se evapora 6 veces más de lo que precipita (Figura 5.2). La precipitación total mínima de 377 mm ocurrió en 1979; la máxima de 707 mm fue en 1983 (Figura 5.3). Las láminas de lluvia han sido muy variables en el tiempo en esta región. La evaporación total mínima de 1,599 mm ocurrió en 1984; la máxima de 2,183 mm fue en 1982. La evaporación excede por mucho a la precipitación (Figura 5.4). La temperatura media máxima de 20 °C ocurrió en 1980; la mínima de 18 °C, se presentó en los años 1983 y 1984. La mayoría de las temperaturas medias están arriba de los 18 °C en esta zona (Figura 5.5).

Figura 5.2. Climatología de la Estación Bacoachi

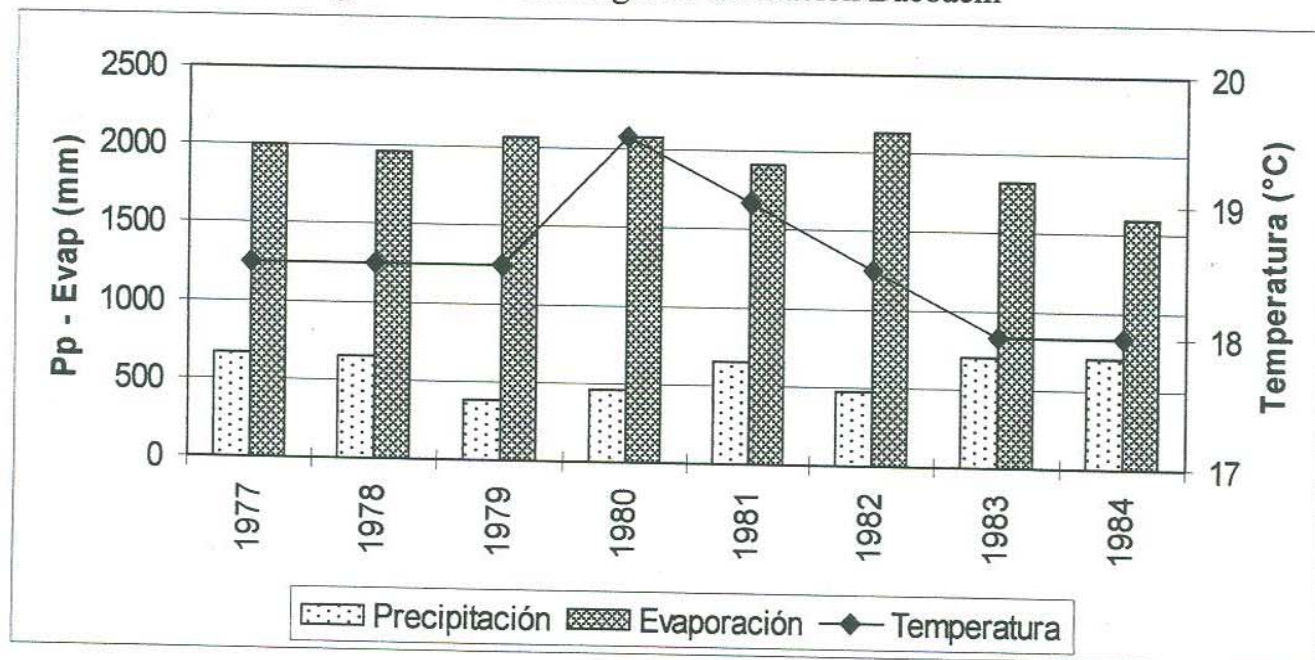


Figura 5.3. Precipitación total media en la Estación Bacoachi

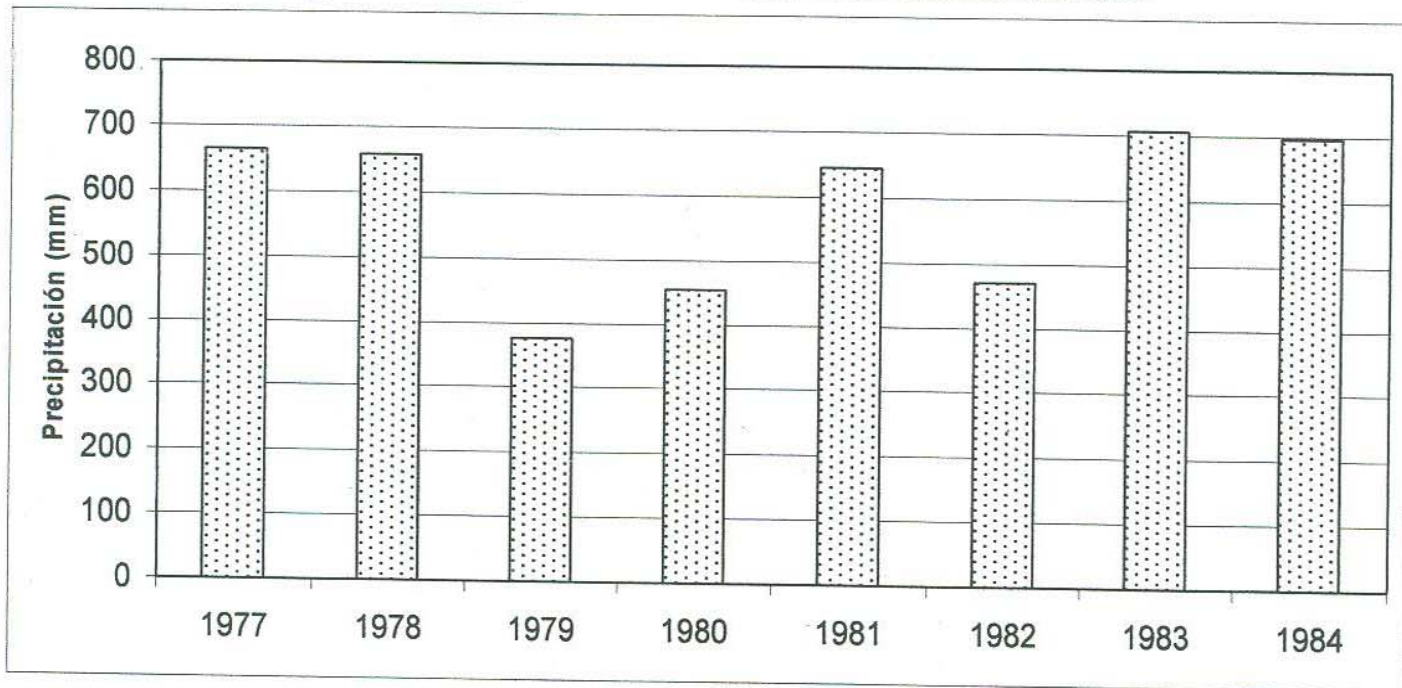


Figura 5.4. Evaporación total media en la Estación Bacoachi

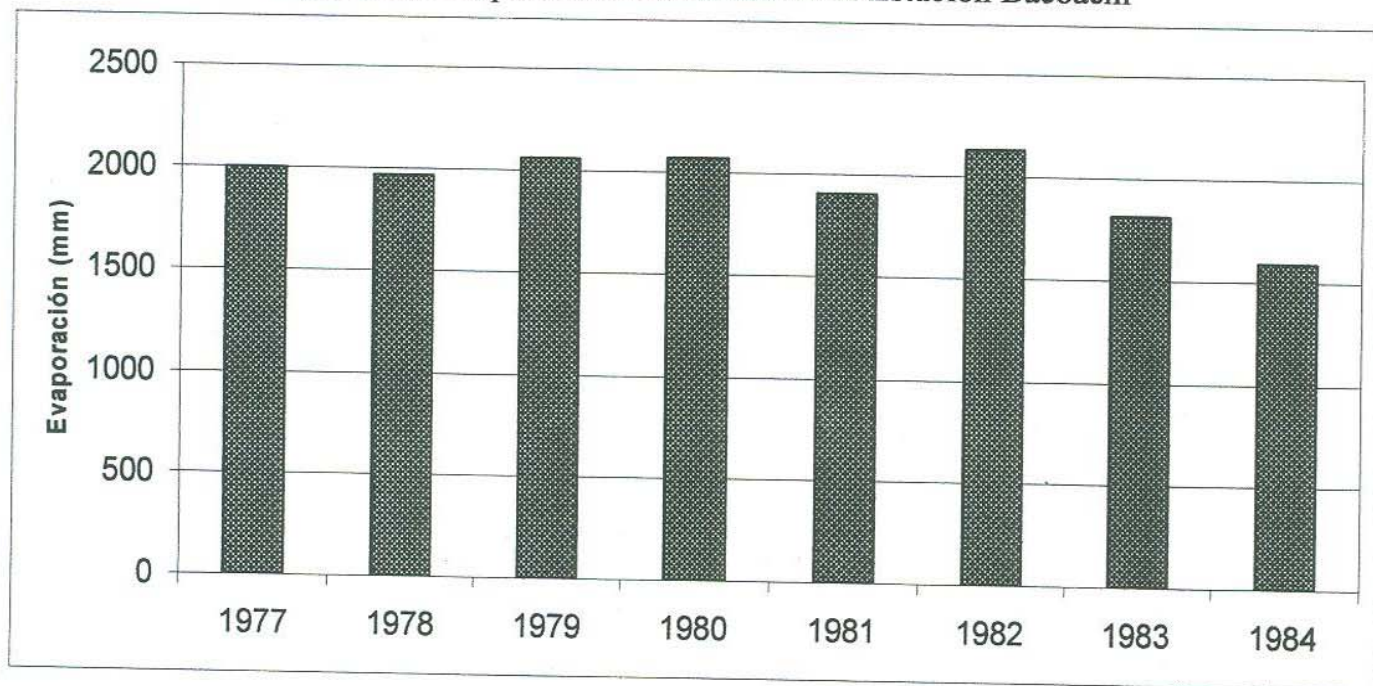
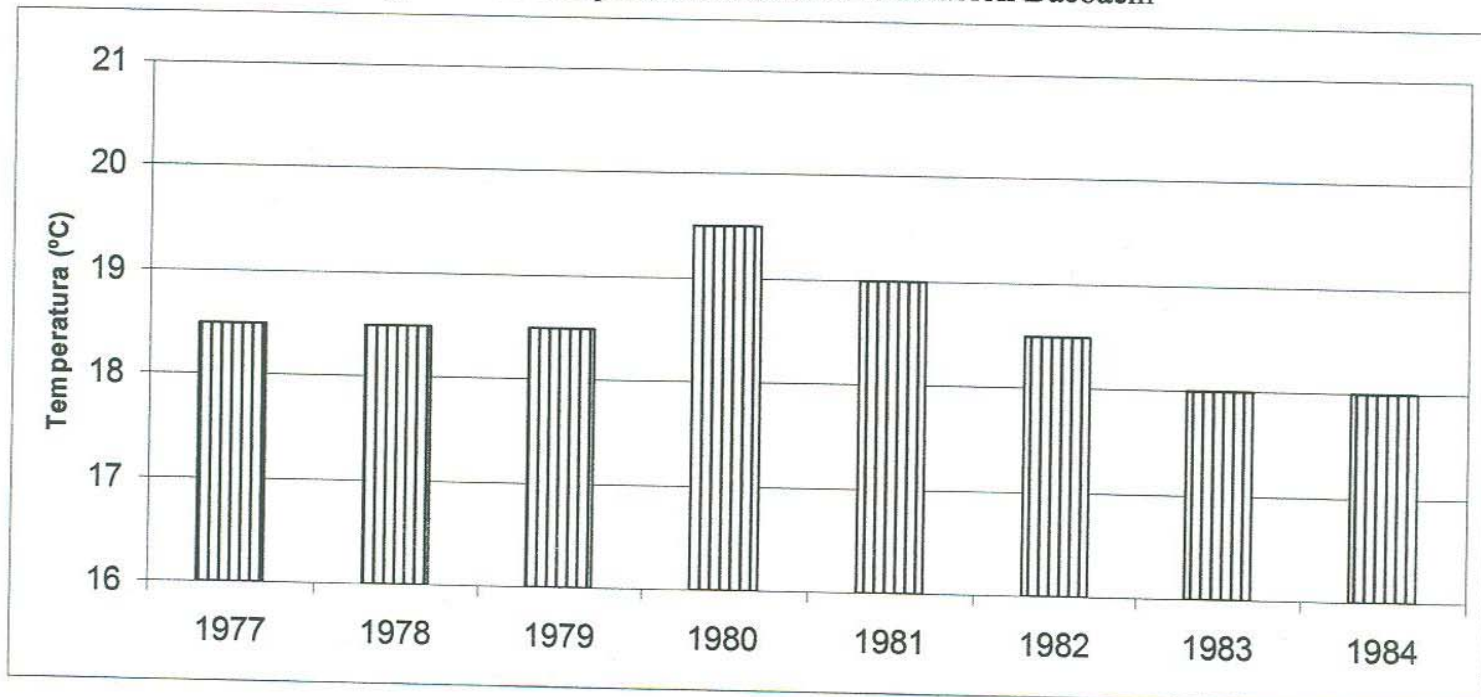


Figura 5.5. Temperatura media en la Estación Bacoachi



5.2. Cananea

Esta estación se ubica en las coordenadas: 30°58'48" de Latitud N y 111°18'00" de Longitud W.

El periodo de registro de los parámetros antes mencionados para esta estación comprende los años: 1970 – 1977.

La precipitación total media de los años con datos de dicha estación es de 584 mm, la temperatura media es de 16 °C y la evaporación total media es de 2,242 mm. En esta estación se observa que se evapora 7 veces más de lo que precipita (Figura 5.6).

La precipitación total mínima de 377 mm ocurrió en 1979; la máxima de 658 mm fue en 1971. Como puede observarse las láminas de lluvia han sido muy variables en el tiempo en esta región (Figura 5.7).

La evaporación total mínima de 2,037 mm ocurrió en 1977; la máxima de 2,343 mm fue en 1972. Como se mencionó antes, la evaporación excede por mucho a la precipitación (Figura 5.8).

La temperatura media máxima de 17 °C ocurrió en 1972; la mínima de 15 °C, se presentó en los años 1971, 1975 y 1977. Como puede verse, la mayoría de las temperaturas medias están arriba de los 15 °C en esta zona (Figura 5.9).

Figura 5.6. Climatología de la Estación Cananea

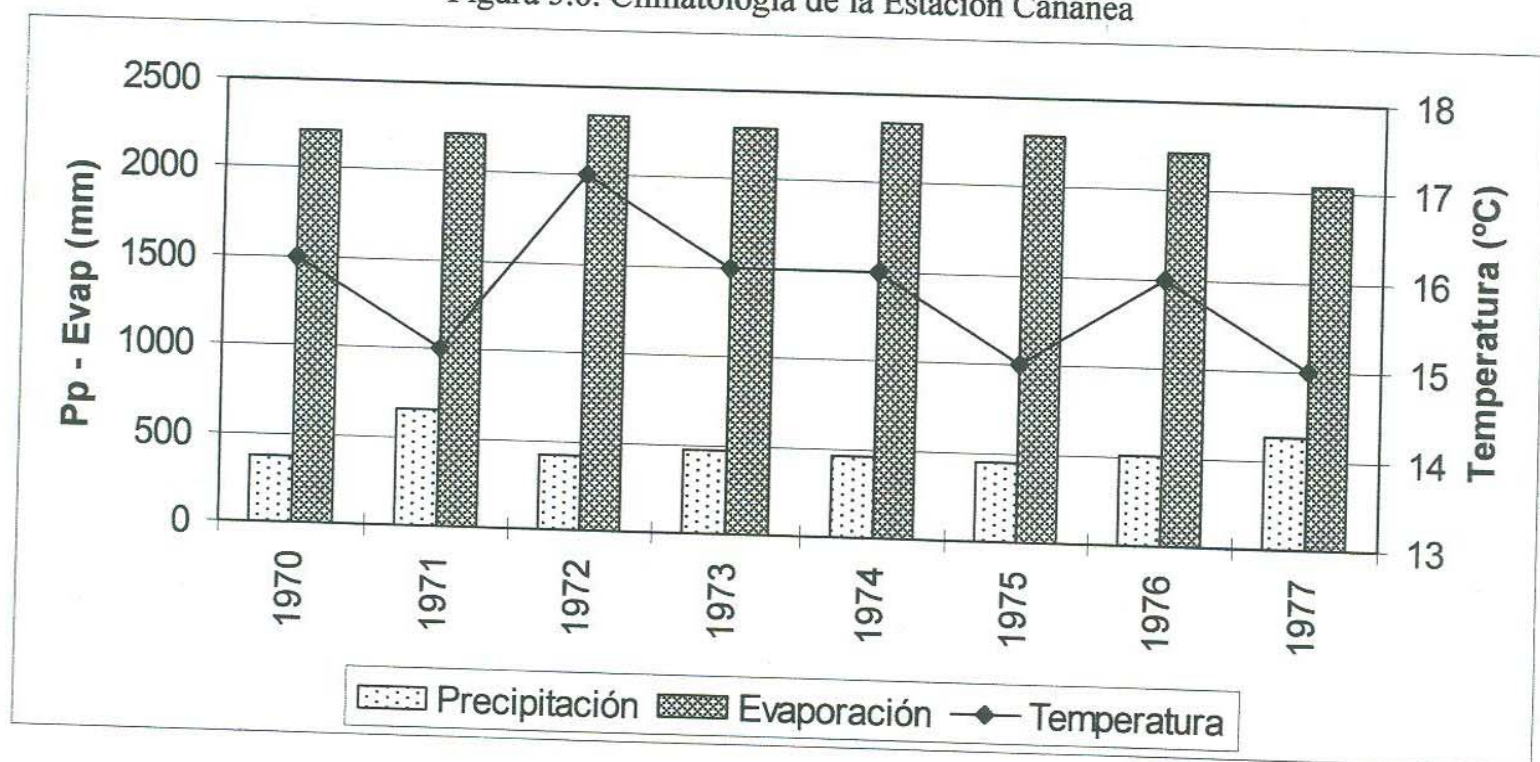


Figura 5.7. Precipitación total media en la Estación Cananea

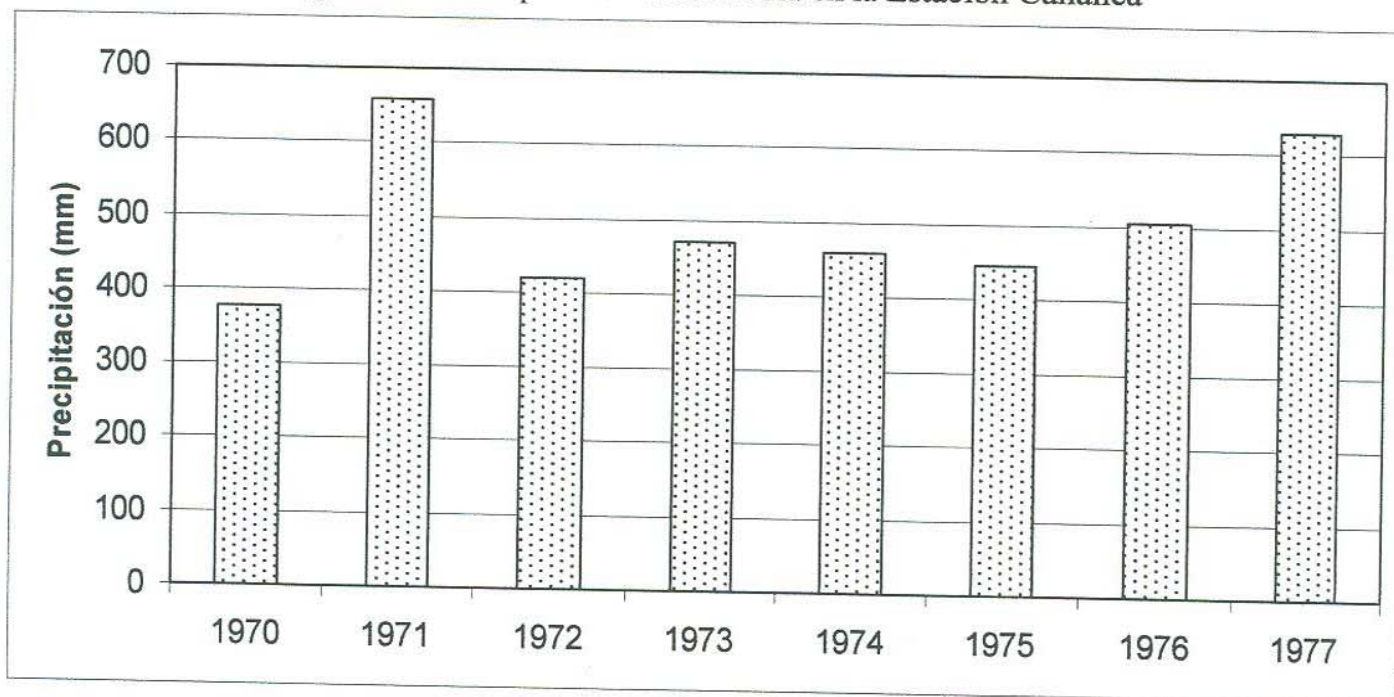


Figura 5.8. Evaporación total media en la Estación Cananea

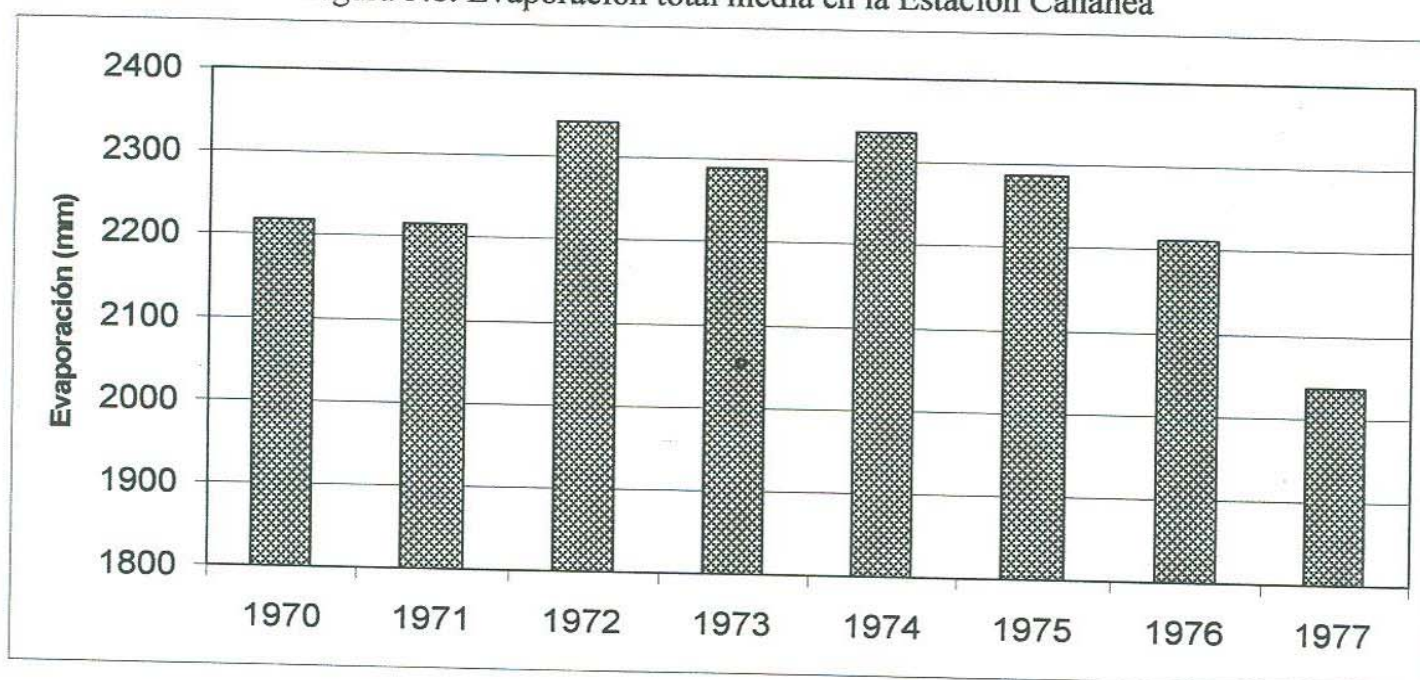
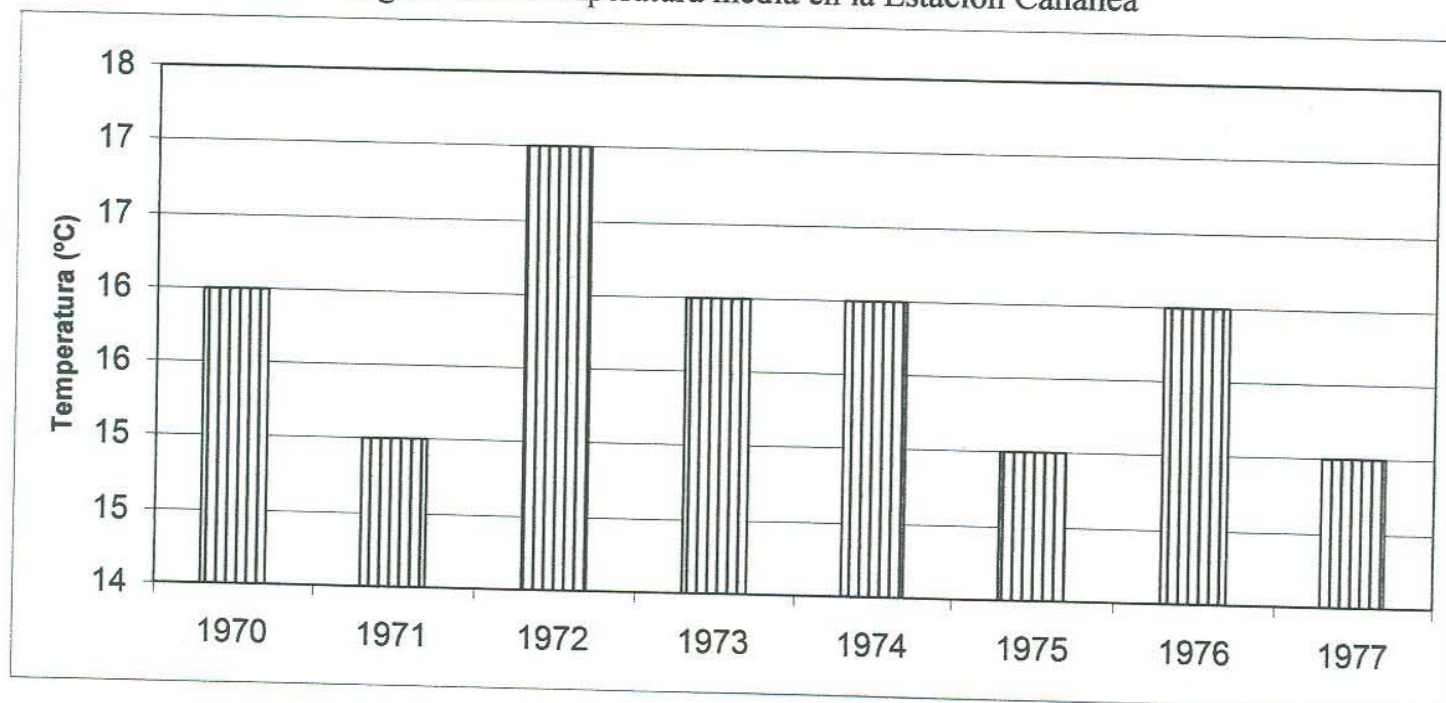


Figura 5.9. Temperatura media en la Estación Cananea



5.3. Carbó

La Estación Carbó se localiza en el municipio del mismo nombre, con la siguiente ubicación geográfica: Latitud 29°41'50" N y Longitud 110°57'50" W.

El período de registro de temperatura, precipitación y evaporación para esta estación comprende los años: 1989 - 1996.

La precipitación total media de los años con datos de dicha estación es de 531 mm, la temperatura media es de 22 °C y la evaporación total media es de 2,454 mm. En esta estación se observa que se evapora 8 veces más de lo que precipita (Figura 5.10).

La precipitación total mínima de 388 mm ocurrió en 1995; la máxima de 645 mm fue en 1994. Como puede observarse, las láminas de lluvia han sido muy variables en el tiempo en esta región (Figura 5.11).

La evaporación total mínima ocurrió en 1995 y la máxima en 1989 (Figura 5.12).

La temperatura media máxima de 23 °C ocurrió en 1989, 1994, 1995 y 1996; la mínima de 21 °C, se presentó en el año 1991. Como puede verse, la mayoría de las temperaturas medias están arriba de los 21 °C en esta zona (Figura 5.13).

Figura 5.10. Climatología de la Estación Carbó

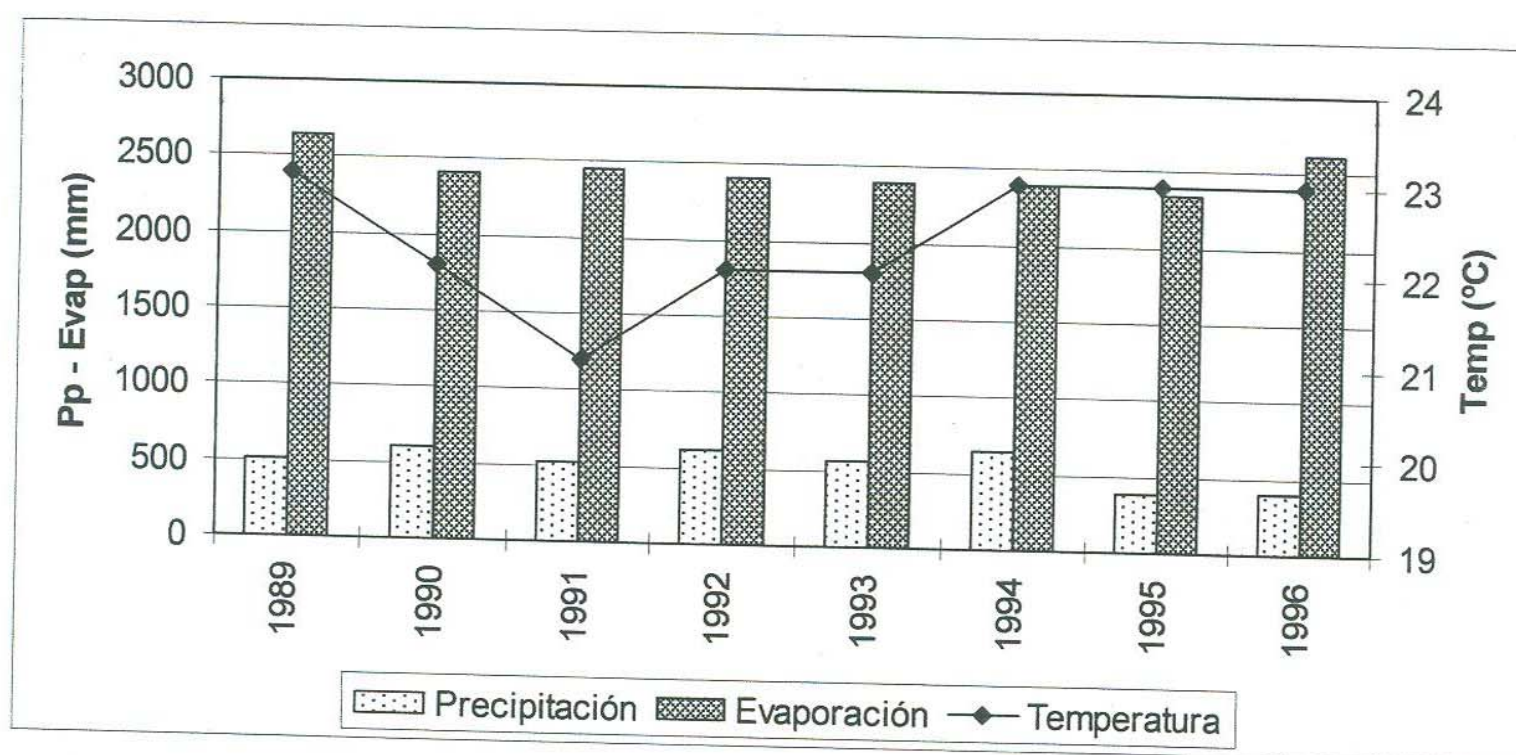


Figura 5.11. Precipitación total media en la Estación Carbó

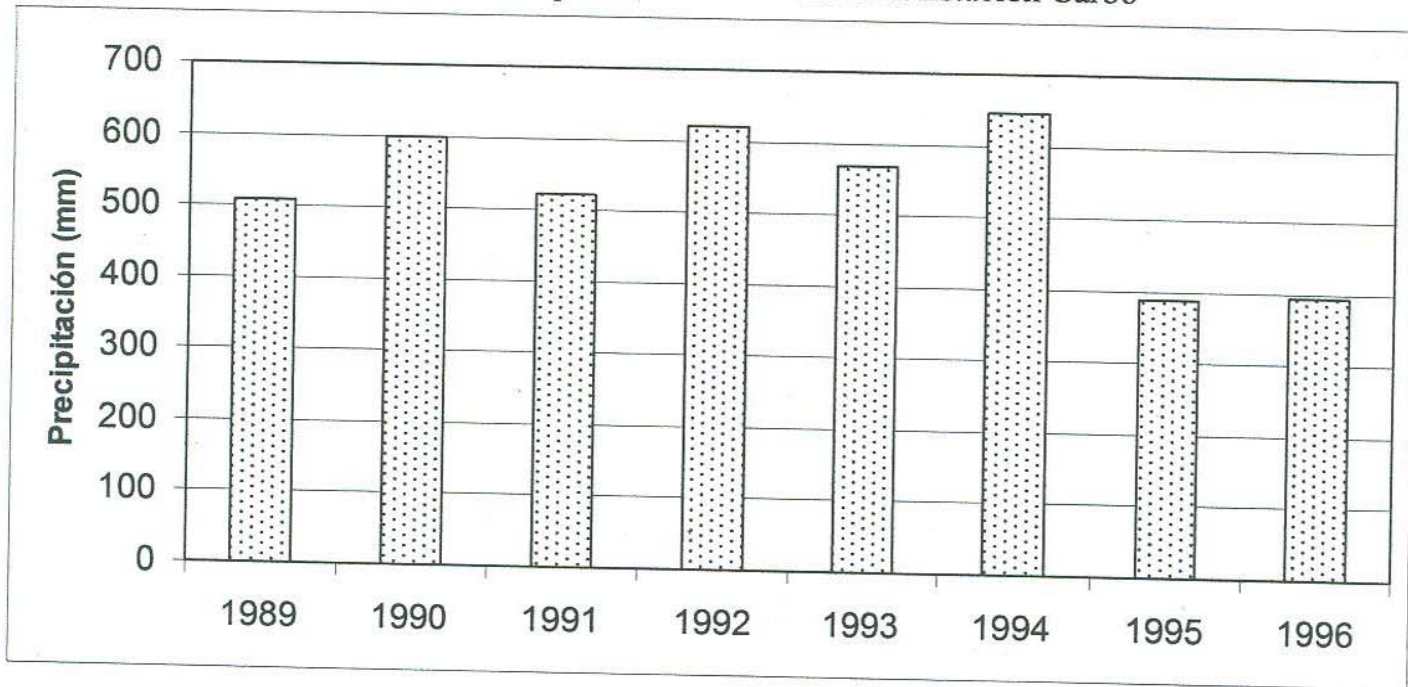


Figura 5.12. Evaporación total media en la Estación Carbó

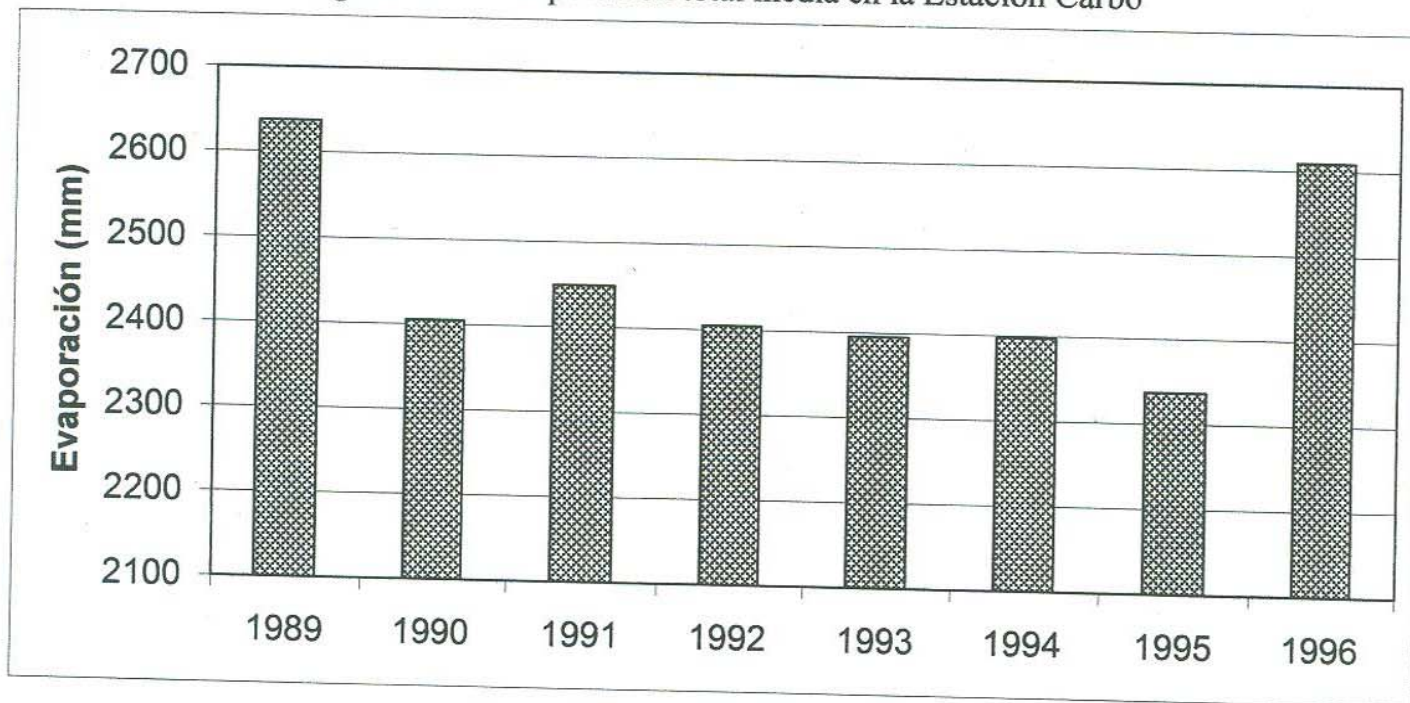
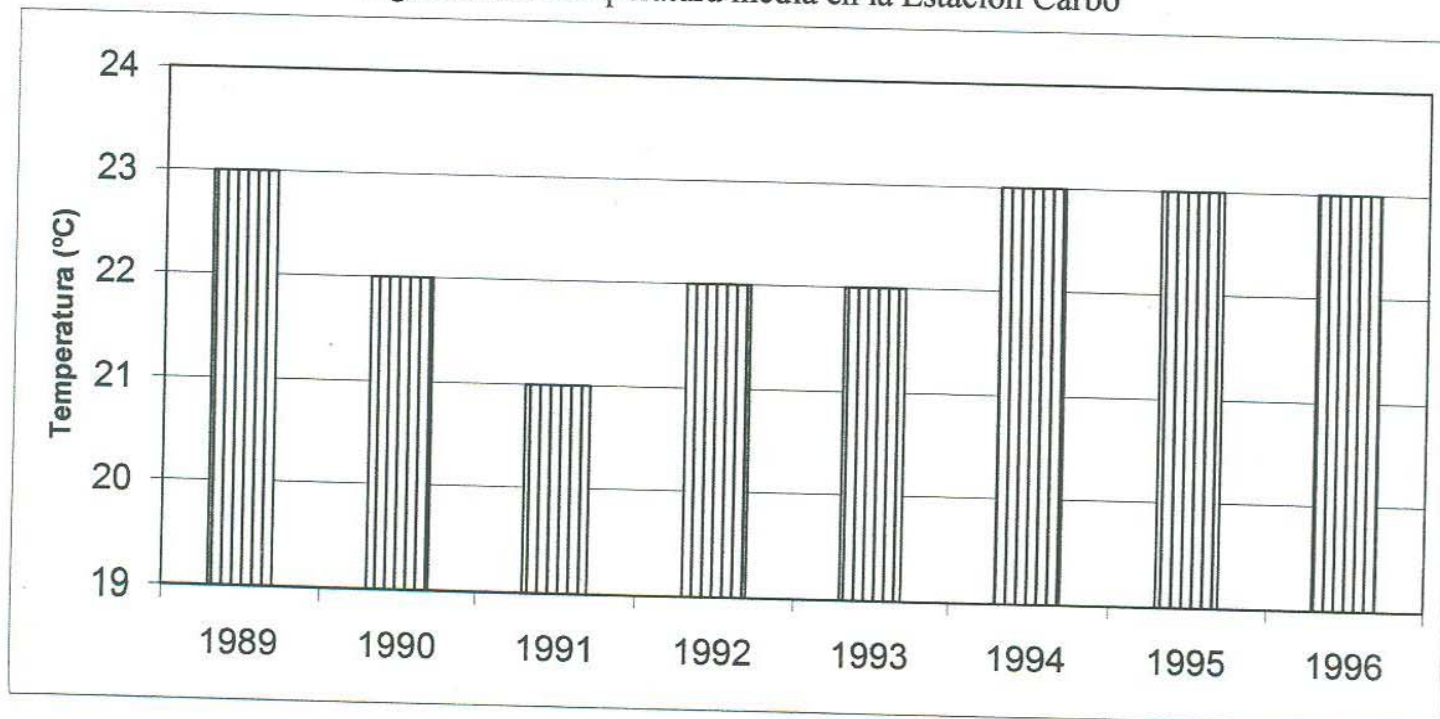


Figura 5.13. Temperatura media en la Estación Carbó



5.4. Cucurpe

La estación se ubica en las coordenadas de Latitud N 30°19'50" y Longitud W 110°42'22".

El período de registro de temperatura, precipitación y evaporación para esta estación comprende los años: 1989 - 1996.

La precipitación total media de los años con datos de dicha estación, es de 591 mm, la temperatura media es de 20 °C y la evaporación total media es de 2,315 mm. En esta estación se observa que se evapora 8 veces más de lo que precipita (Figura 5.14).

La precipitación total mínima de 338 mm ocurrió en 1996; la máxima de 896 mm fue en 1993. Como puede observarse las láminas de lluvia no han sido muy variables en el tiempo en esta región (Figura 5.15).

La evaporación total mínima de 2,120 mm ocurrió en 1992; la máxima de 2,661 mm fue en 1989. Como se mencionó antes, la evaporación excede por mucho a la precipitación (Figura 5.16).

La temperatura media máxima de 22 °C ocurrió en 1992; la mínima de 18 °C, se presentó en el año 1994. Como puede verse, la mayoría de las temperaturas medias están arriba de los 20 °C en esta zona (Figura 5.17).

Figura 5.14. Climatología de la Estación Cucurpe

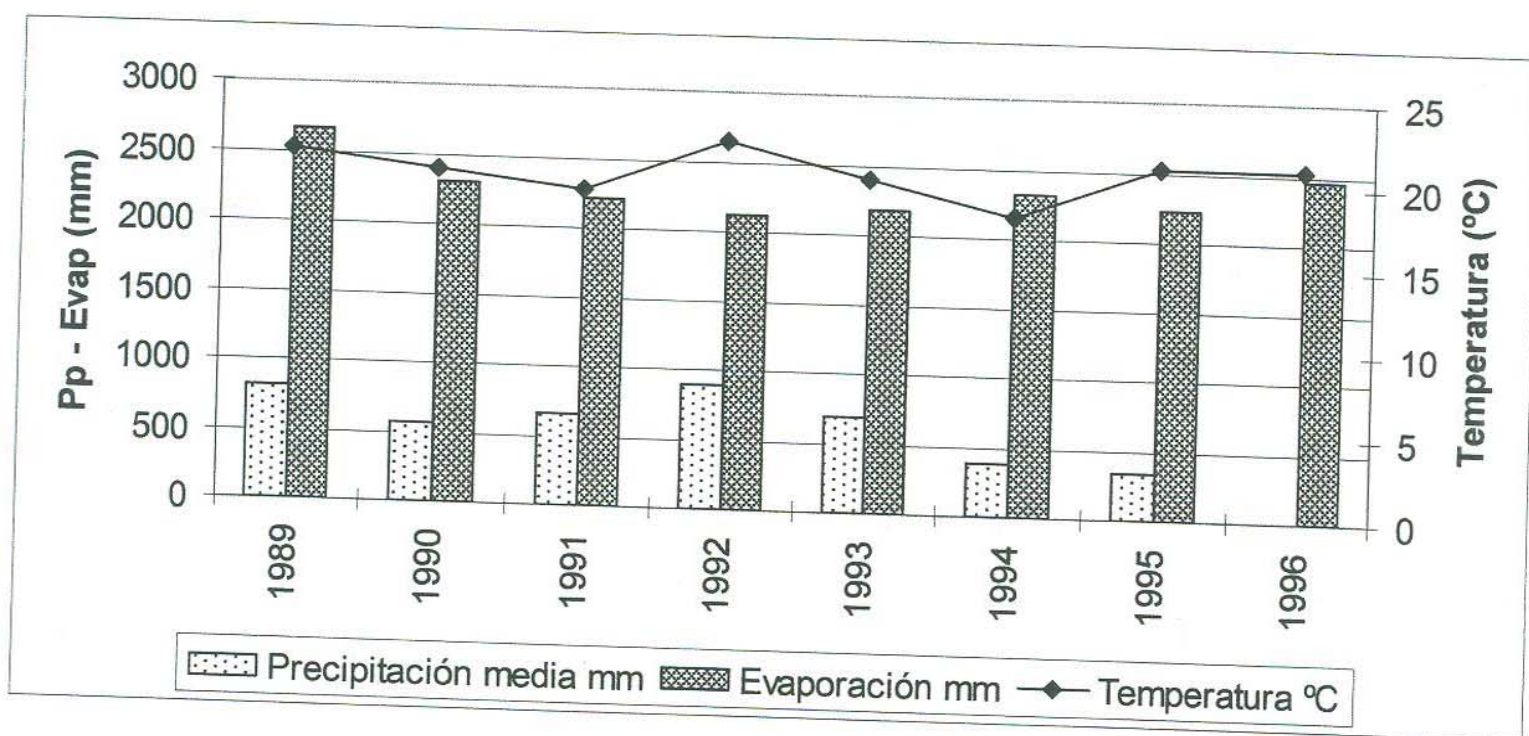


Figura 5.15. Precipitación total media en la Estación Cucurpe

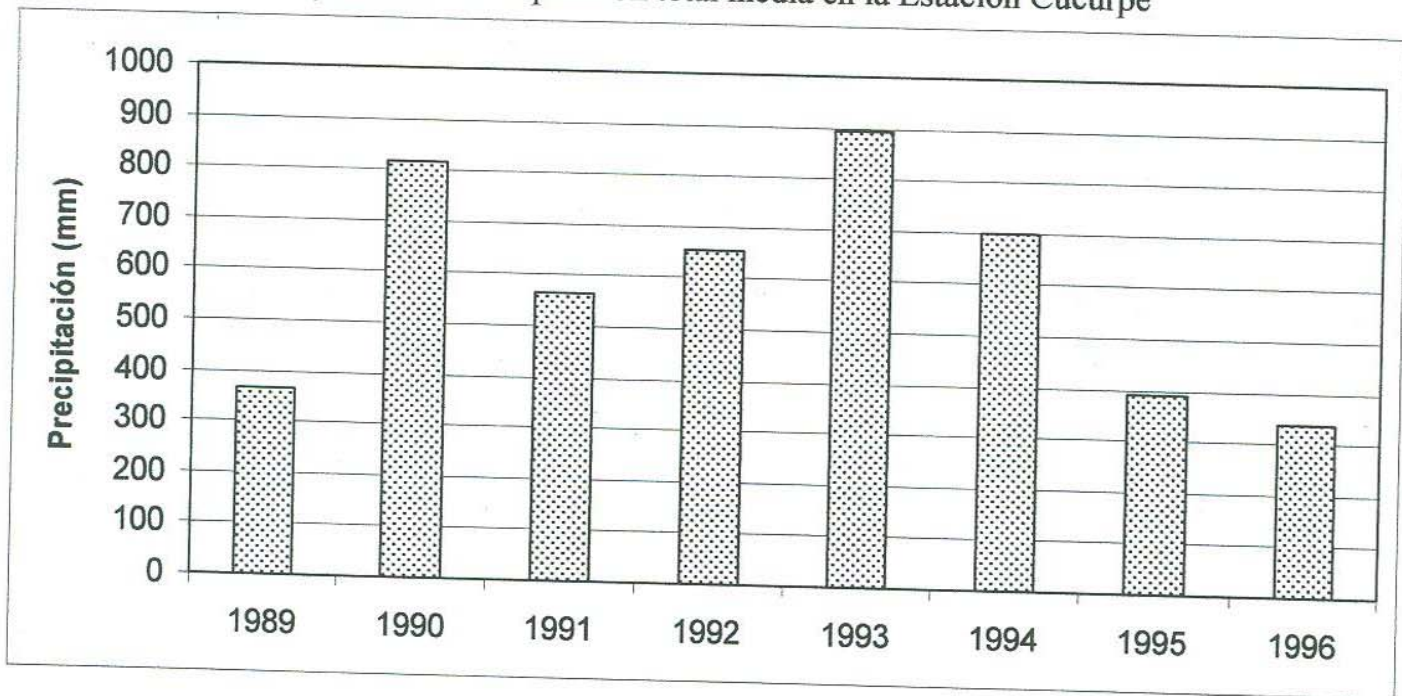


Figura 5.16. Evaporación total media en la Estación Cucurpe

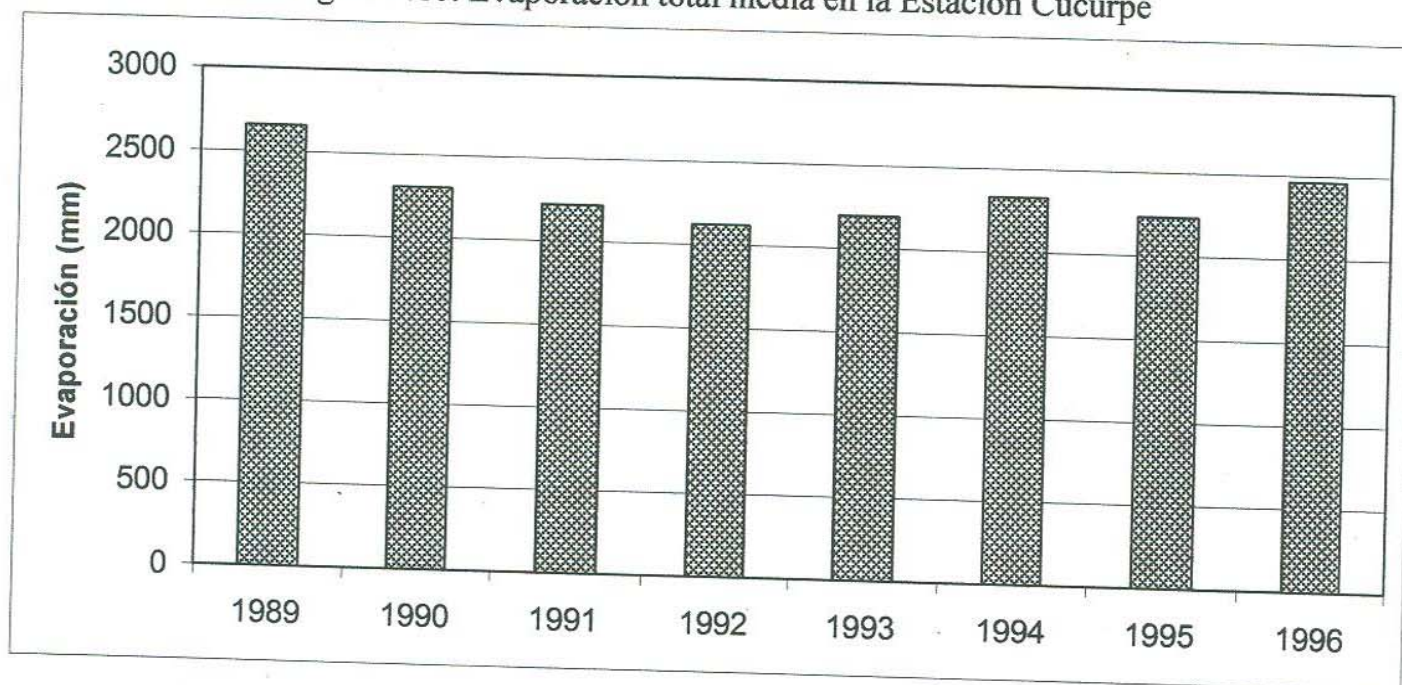
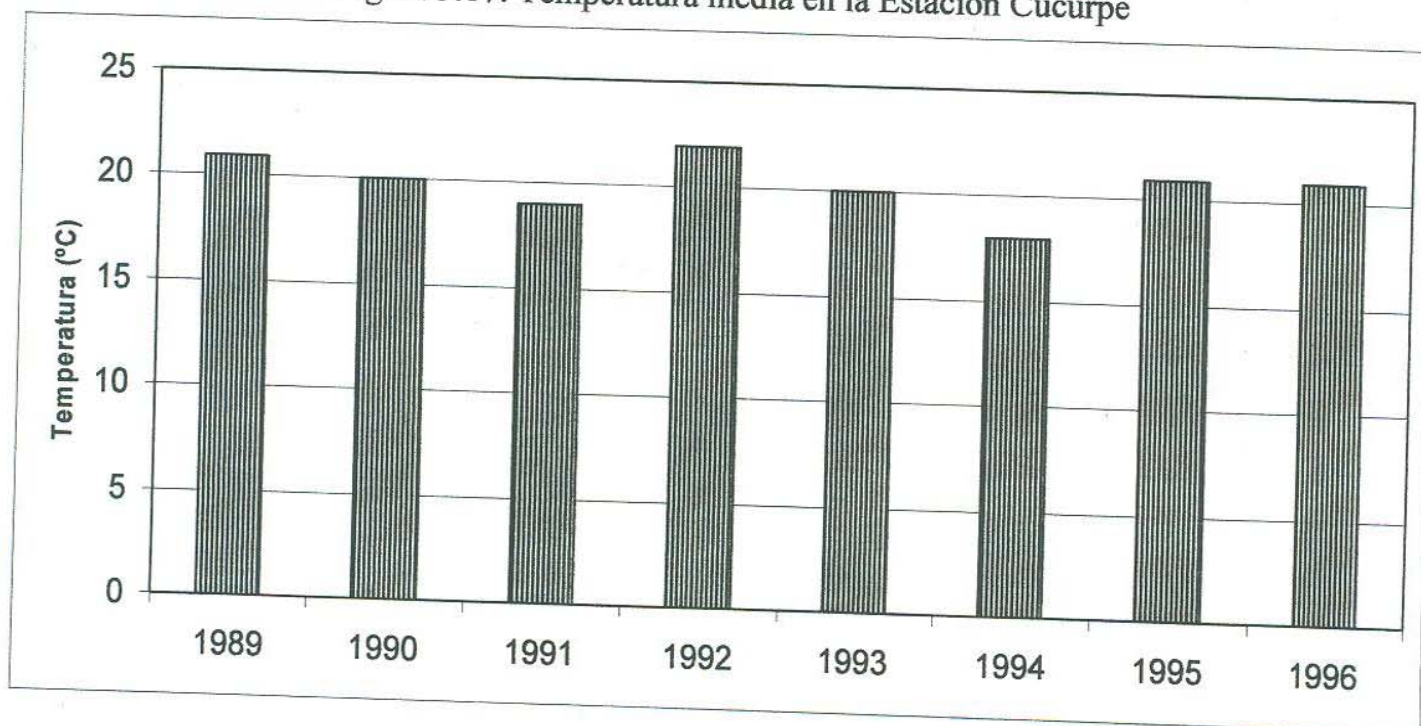


Figura 5.17. Temperatura media en la Estación Cucurpe



5.5. El Carrizal

La Estación El Carrizal se localiza en el Municipio de Hermosillo, con las siguientes coordenadas geográficas: Latitud 29°05'31" N y Longitud 111°44'00" W. Tiene una altitud de 49 m.s.n.m. Los años que se usaron para su análisis comprenden el periodo: 1975 – 1982.

La precipitación total media de los años con datos de dicha estación es de 126 mm, la temperatura media es de 20 °C y la evaporación total media es de 2,749 mm. En esta estación se observa que se evapora 8 veces más de lo que precipita (Figura 5.18).

La precipitación total mínima de 61 mm ocurrió en 1980; la máxima de 209 mm fue en 1978. Como puede observarse las láminas de lluvia no han sido muy variables en el tiempo en esta región (Figura 5.19).

La evaporación total mínima de 2,583 mm ocurrió en 1981; la máxima de 2,969 mm fue en 1978. Como se mencionó antes, la evaporación excede por mucho a la precipitación (Figura 5.20).

La temperatura media máxima de 21 °C ocurrió en 1977; la mínima de 19 °C, se presentó en los años 1979, 1981 y 1982. Como puede verse, la mayoría de las temperaturas medias están arriba de los 19 °C en esta zona (Figura 5.21).

Figura 5.18. Climatología de la Estación El Carrizal

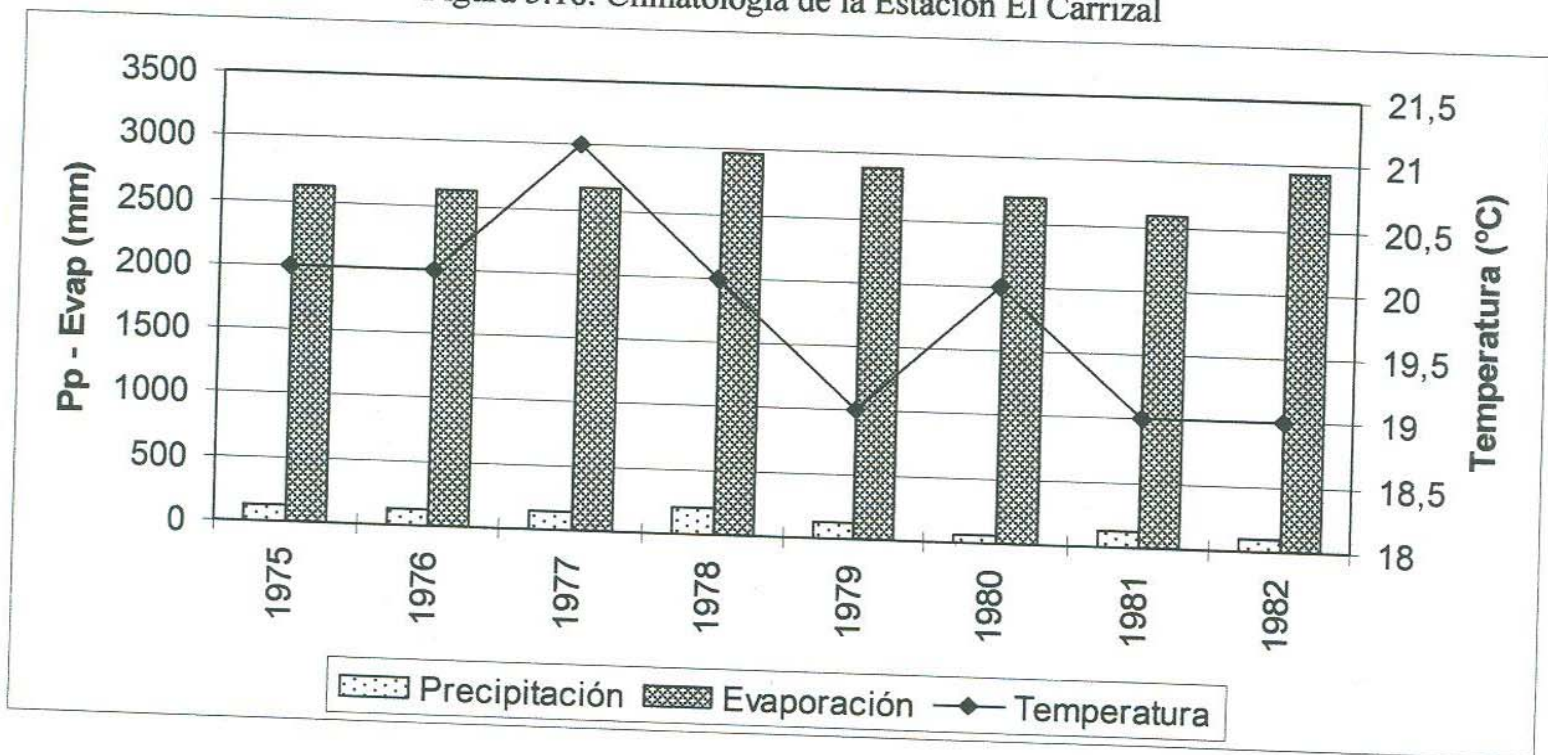


Figura 5.19. Precipitación total media en la Estación El Carrizal

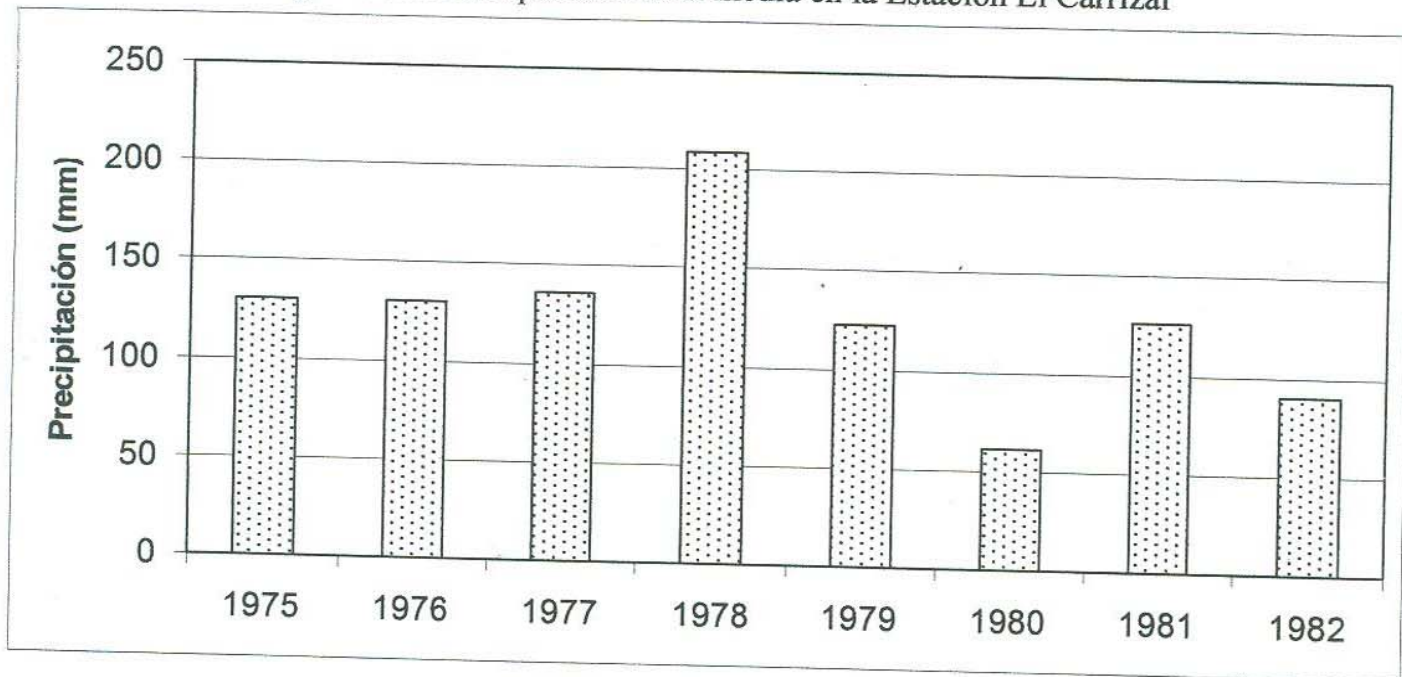


Figura 5.20. Evaporación total media en la Estación El Carrizal

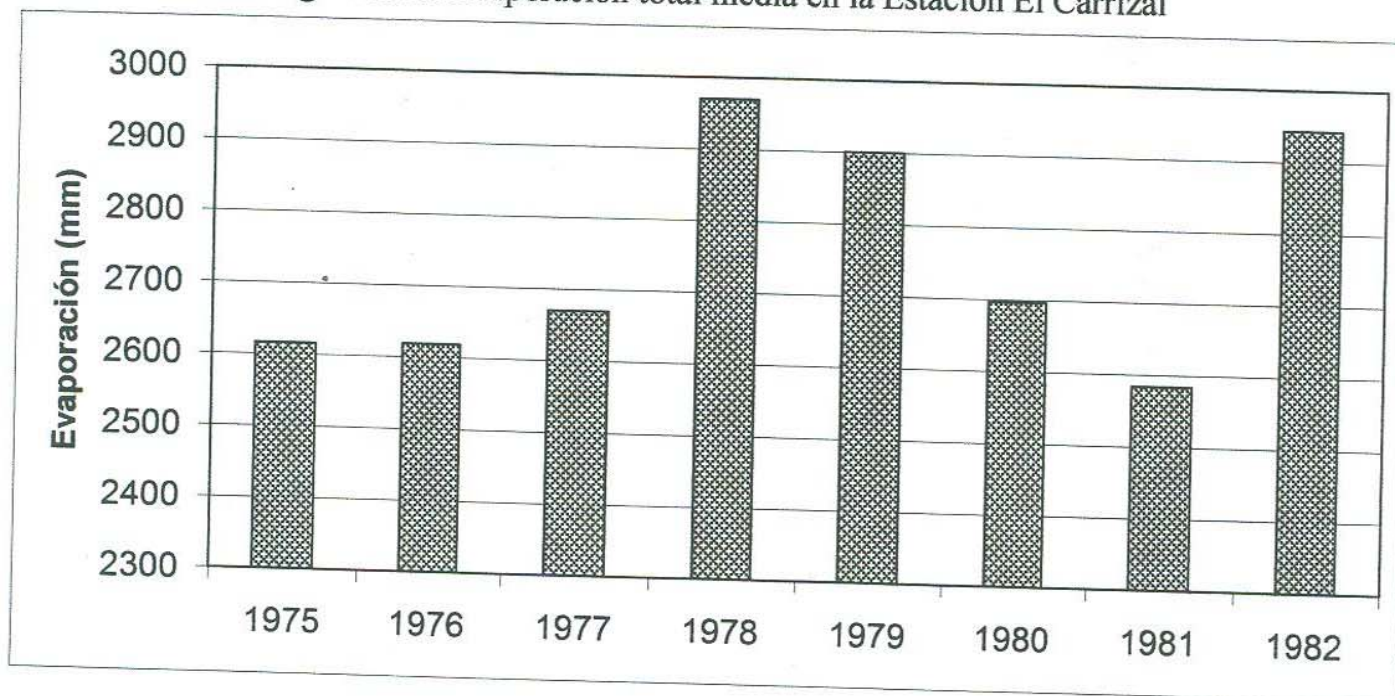
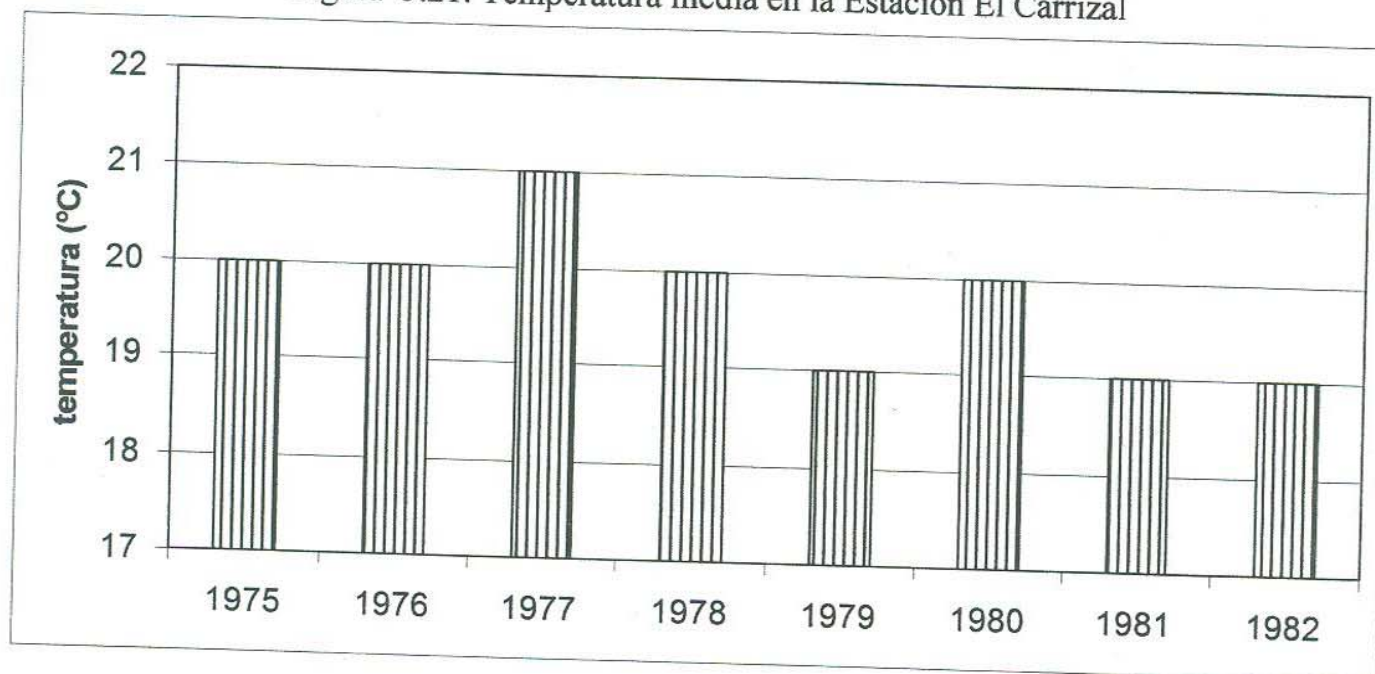


Figura 5.21. Temperatura media en la Estación El Carrizal



5.6. El Orégano

La Estación El Orégano se encuentra dentro del Municipio de Hermosillo, entre las siguientes coordenadas geográficas: Latitud 29°13'47" N y Longitud 110°42'22" W, a una altitud de 272 msnm. Los datos que se usaron para el análisis de esta estación comprenden los años: 1980 – 1987.

La precipitación total media de los años con datos de dicha estación, es de 402 mm, la temperatura media es de 23 °C y la evaporación total media es de 2,298 mm. En esta estación se observa que se evapora 6 veces más de lo que precipita (Figura 5.22).

La precipitación total mínima de 191 mm ocurrió en 1987; la máxima de 618 mm fue en 1984. Como puede observarse las láminas de lluvia no han sido muy variables en el tiempo en esta región. (Figura 5.23).

La evaporación total mínima de 2,094 mm ocurrió en 1984; la máxima de 2,631 mm fue en 1980. Como se mencionó antes, la evaporación excede por mucho a la precipitación (Figura 5.24).

La máxima temperatura media fue de 21 °C ocurrió en 1977; la mínima de 19 °C, se presentó en los años 1979, 1981 y 1982. Como puede verse, la mayoría de las temperaturas medias están arriba de los 19 °C en esta zona (Figura 5.25).

Figura 5.22. Climatología de la Estación El Orégano

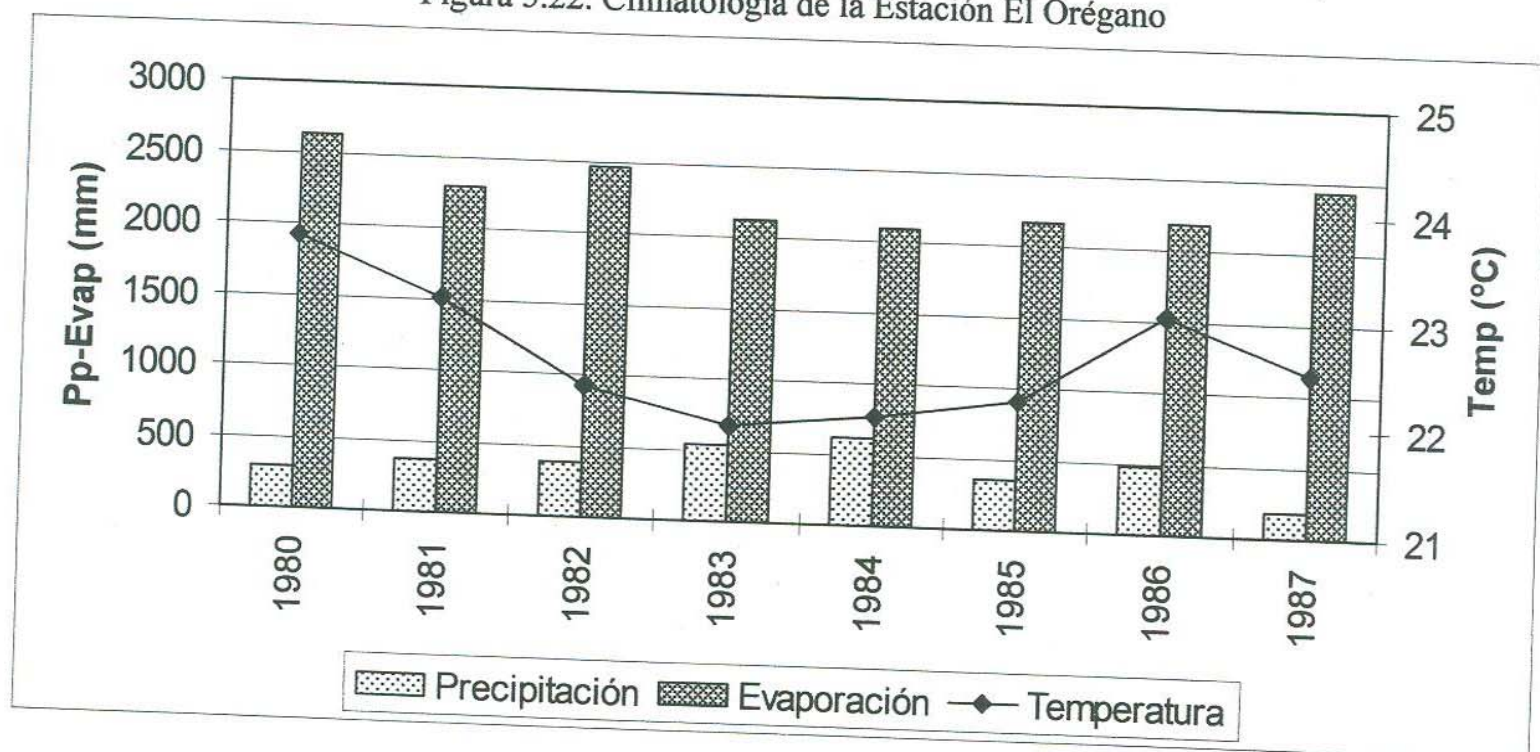


Figura 5.23. Precipitación total media en la Estación El Orégano

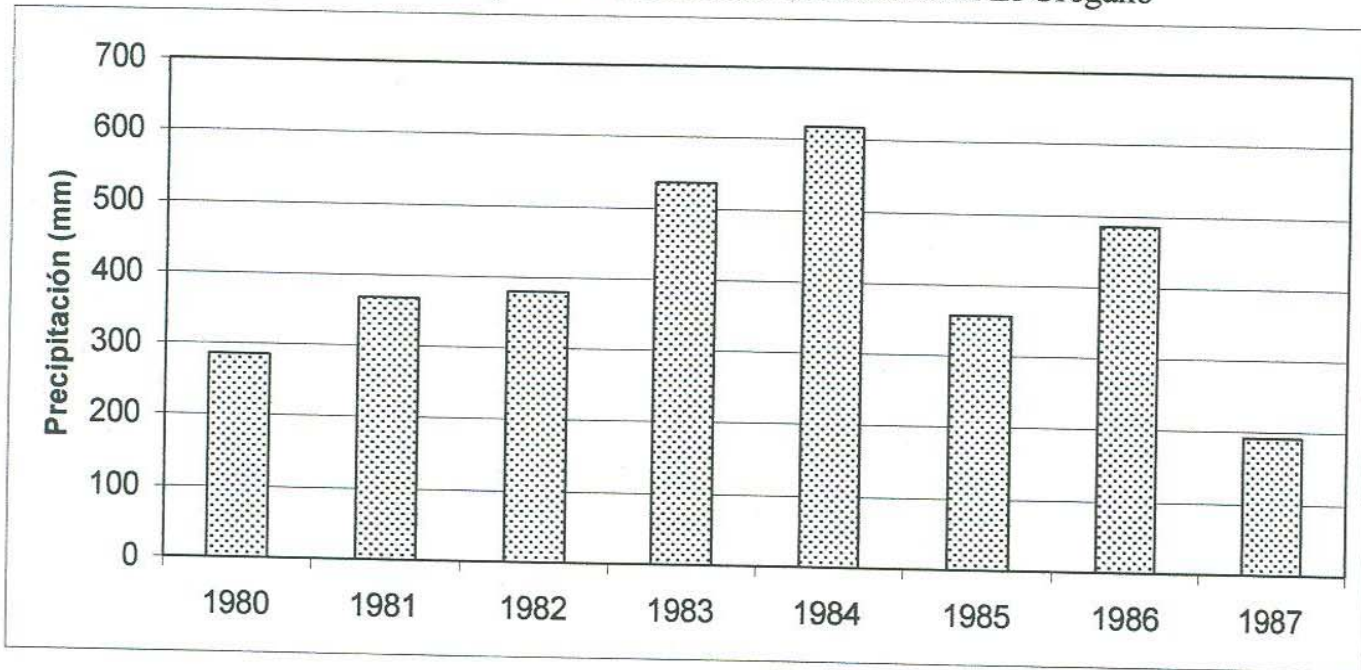


Figura 5.24. Evaporación total media en la Estación El Orégano

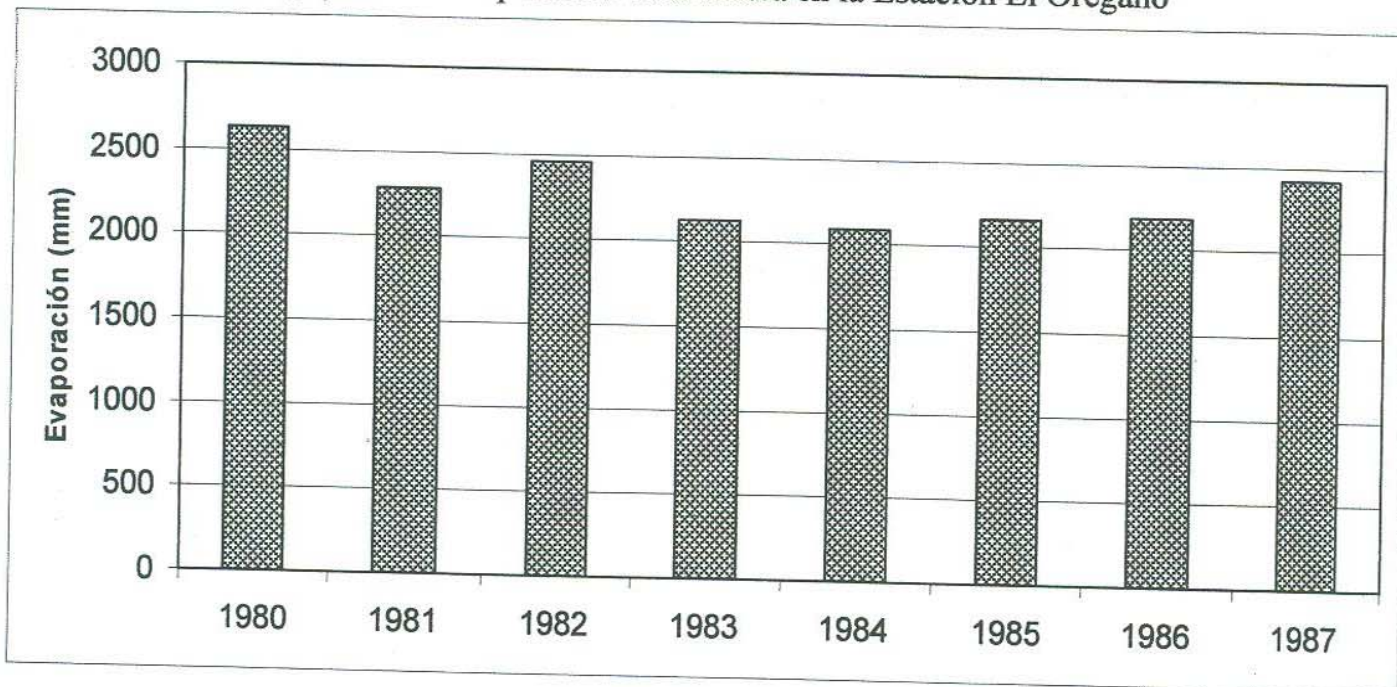
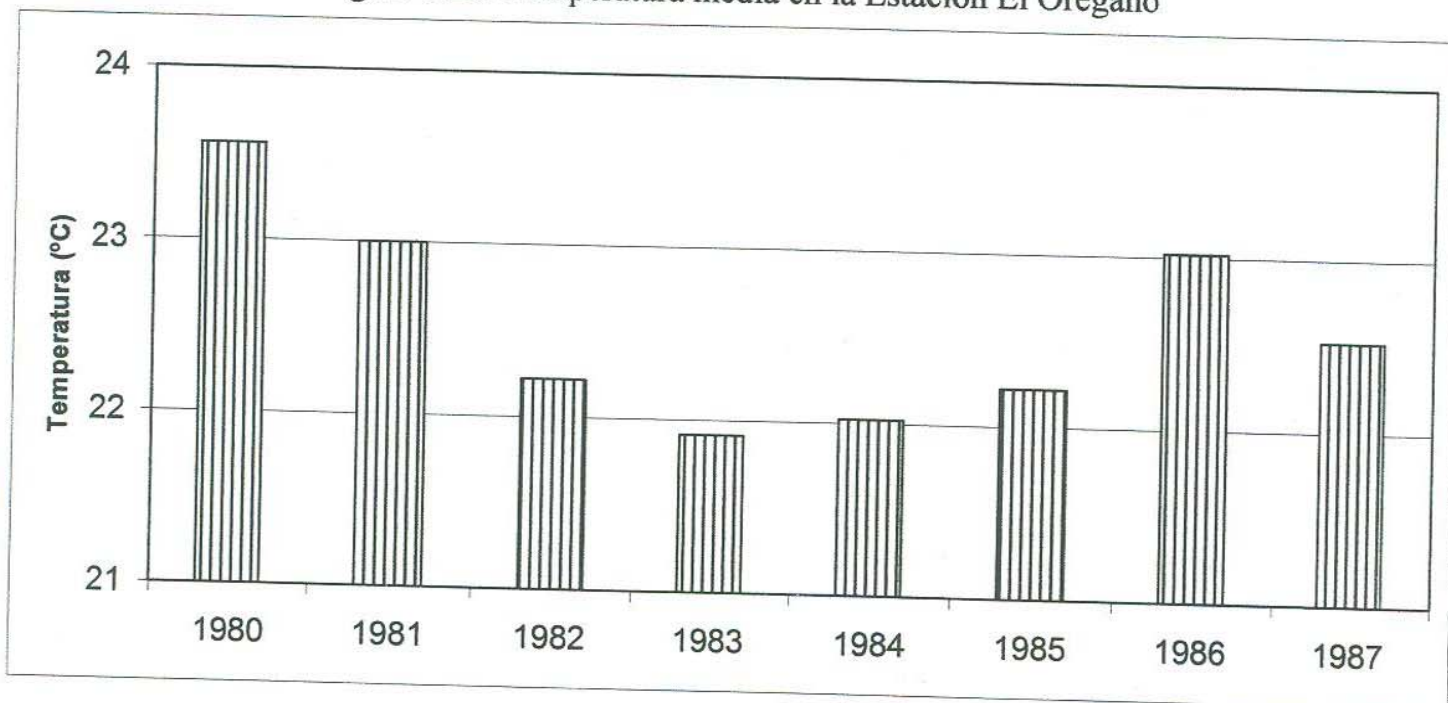


Figura 5.25. Temperatura media en la Estación El Orégano



5.7. Estación Torres

La Estación Torres se encuentra dentro del Municipio de La Colorada, entre las siguientes coordenadas geográficas: Latitud 28°46'02" N y Longitud 110°46'10" W, a una altitud de 260 m.s.n.m. El período de análisis es de 1990 – 1997.

La precipitación total media de los años con datos de dicha estación es de 409 mm, la temperatura media es de 24 °C y la evaporación total media es de 2665 mm. En esta estación se observa que se evapora 8 veces más de lo que precipita (Figura 5.26).

La precipitación total mínima de 213 mm ocurrió en 1997; la máxima de 592 mm fue en 1990. Como puede observarse las láminas de lluvia no han sido muy variables en el tiempo en esta región (Figura 5.27).

La evaporación total mínima de 2,529 mm ocurrió en 1995; la máxima de 2,790 mm fue en 1990. Como se mencionó antes, la evaporación excede por mucho a la precipitación (Figura 5.28).

La temperatura media máxima de 24 °C ocurrió del año 1993 al año 1997; la mínima de 23 °C, se presentó en los años 1990, 1991 y 1992 (Figura 5.29).

Figura 5.26. Climatología de la Estación Torres

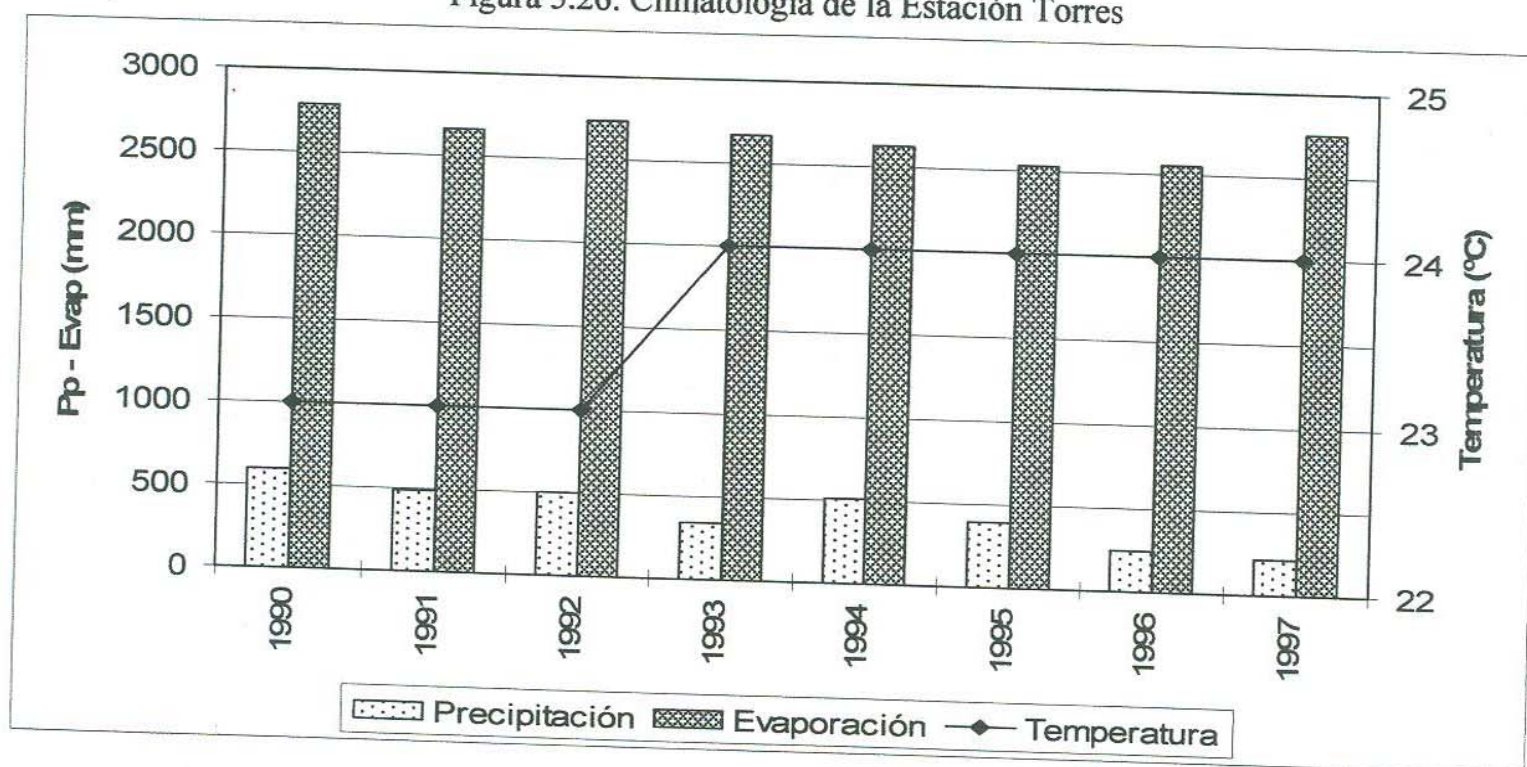


Figura 5.27. Precipitación total media en la Estación Torres

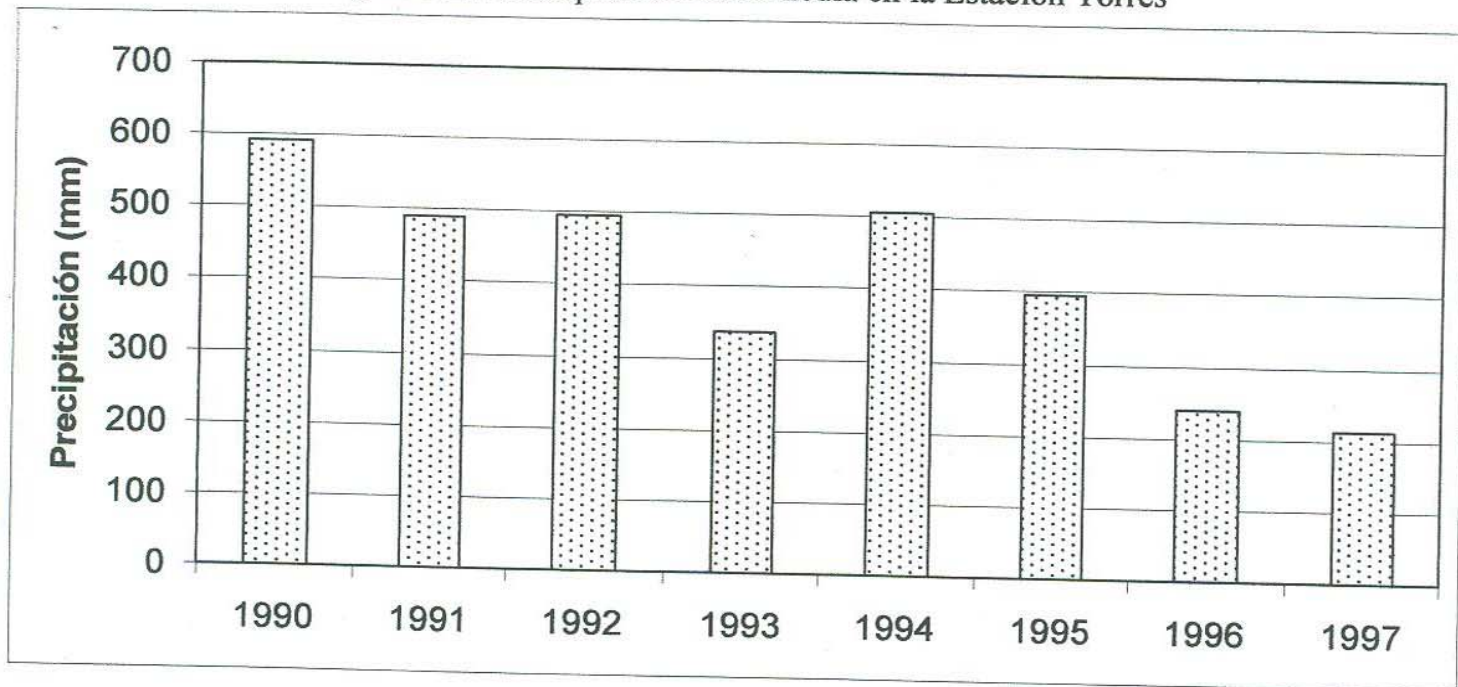


Figura 5.28. Evaporación total media en la Estación Torres

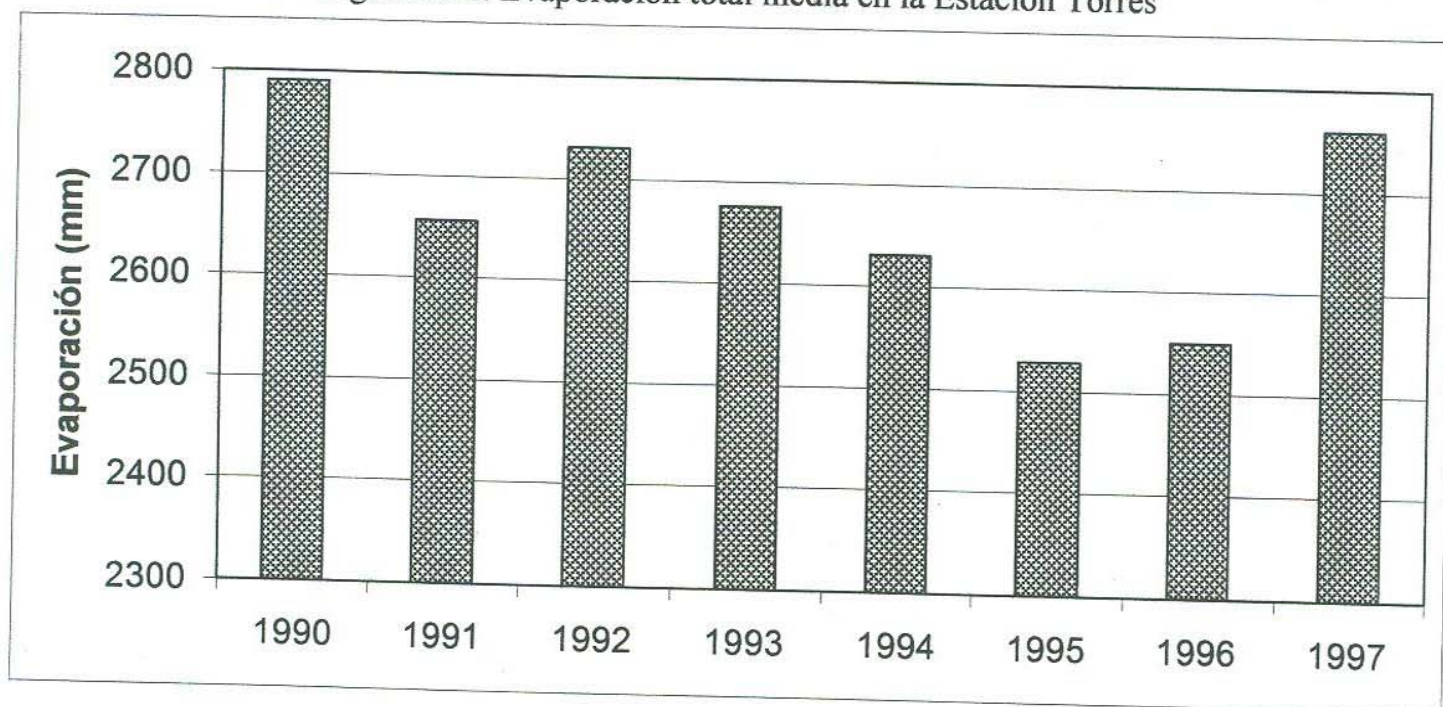
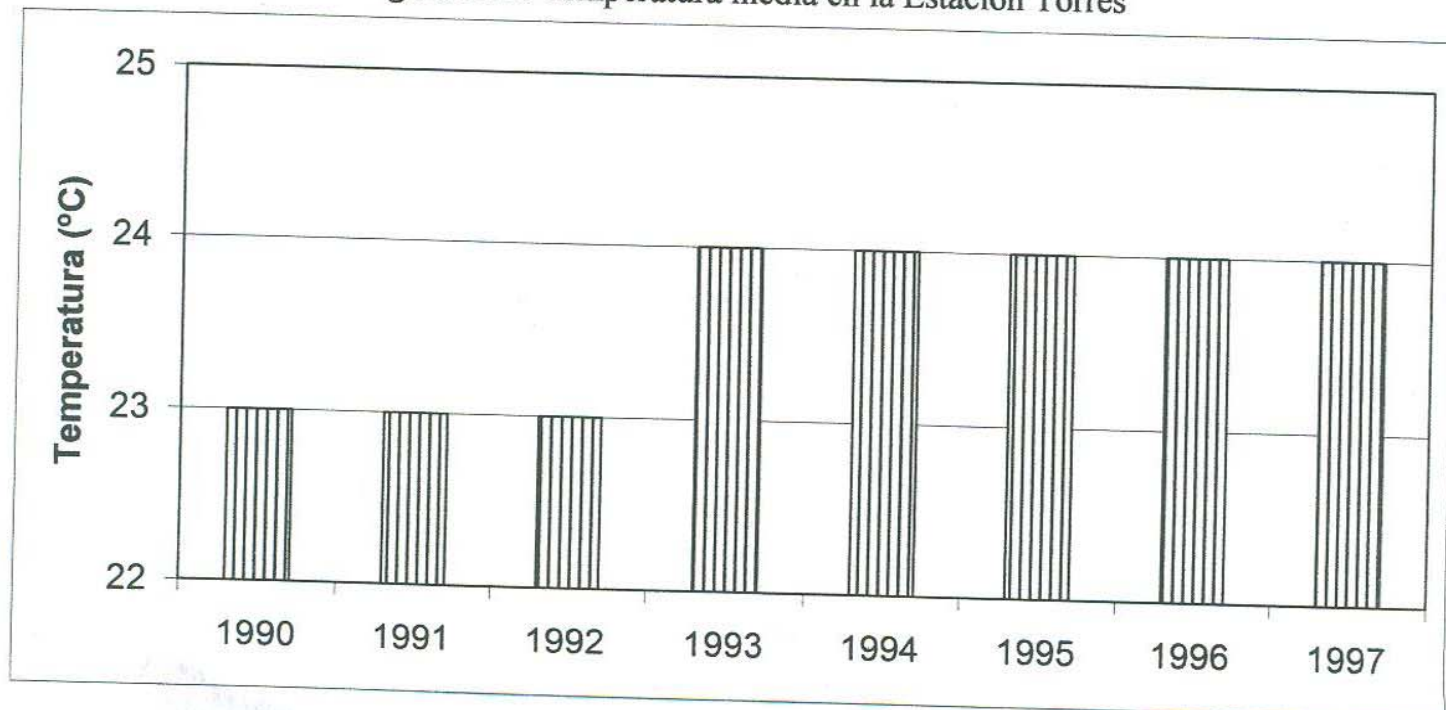


Figura 5.29. Temperatura media en la Estación Torres



5.8. Hermosillo

Esta estación se localiza dentro del Municipio de Hermosillo con las siguientes coordenadas geográficas: Latitud 21°04'23" N, Longitud 110°57'33" W, altitud de 200 msnm. Se usó el periodo que abarca los años: 1987 – 1994 para su análisis.

La precipitación total media de los años con datos de dicha estación es de 465 mm, la temperatura media es de 25 °C y la evaporación total media es de 2,948 mm. En esta estación se observa que se evapora 9 veces más de lo que precipita (Figura 5.30).

La precipitación total mínima de 224 mm ocurrió en 1987; la máxima de 638 mm fue en 1992. Como puede observarse las láminas de lluvia han sido muy variables en el tiempo en esta región (Figura 5.31).

La evaporación total mínima de 2,721 mm ocurrió en 1992; la máxima de 3,122 mm fue en 1987. Como se mencionó antes, la evaporación excede por mucho a la precipitación (Figura 5.32).

La temperatura media máxima de 25 °C ocurrió en los años 1987, 1988, 1989, 1993 y 1994; la mínima de 24 °C, se presentó en los años 1990, 1991 y 1992 (Figura 5.33).

Figura 5.30. Climatología de la Estación Hermosillo

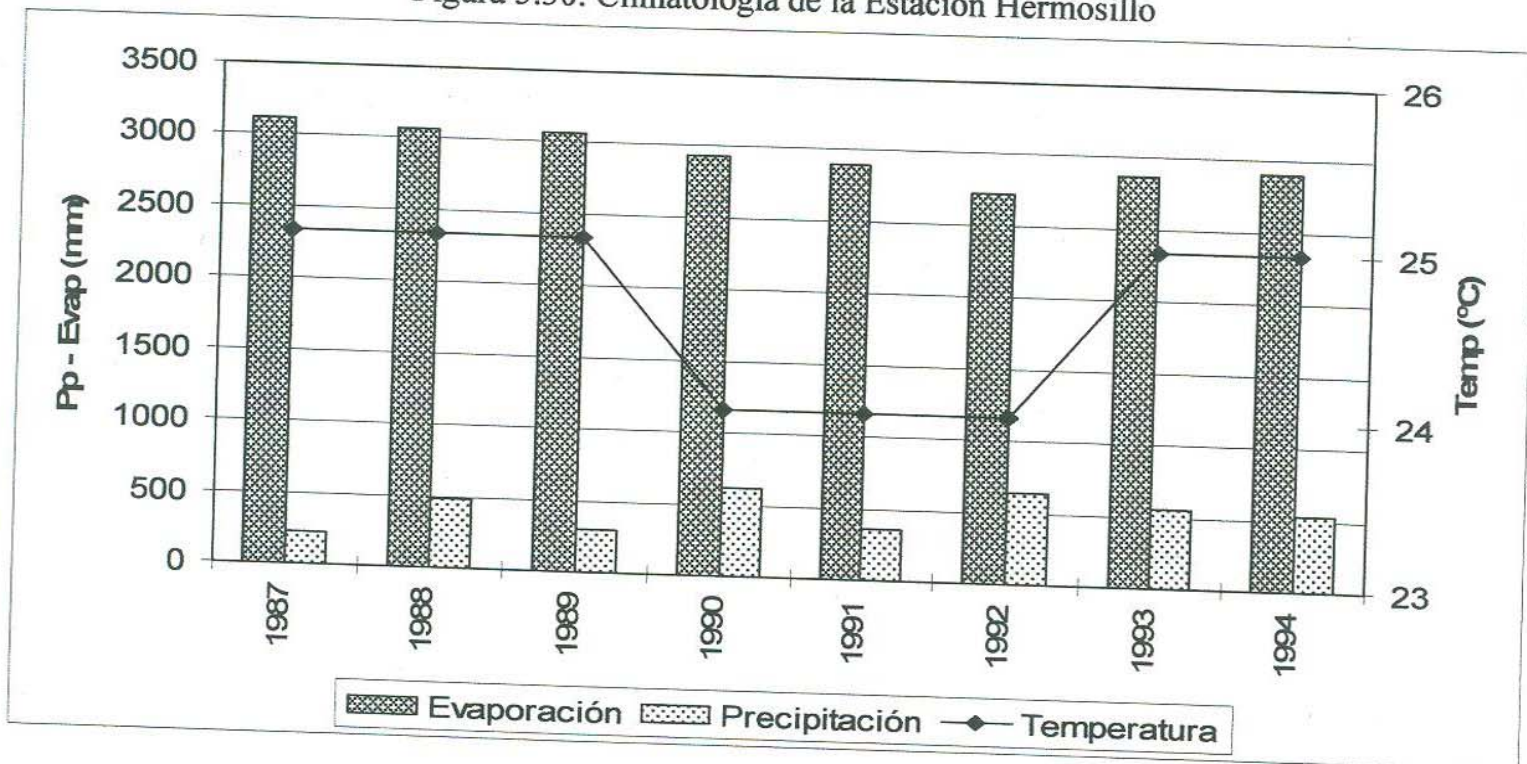


Figura 5.31. Precipitación total media en la Estación Hermosillo

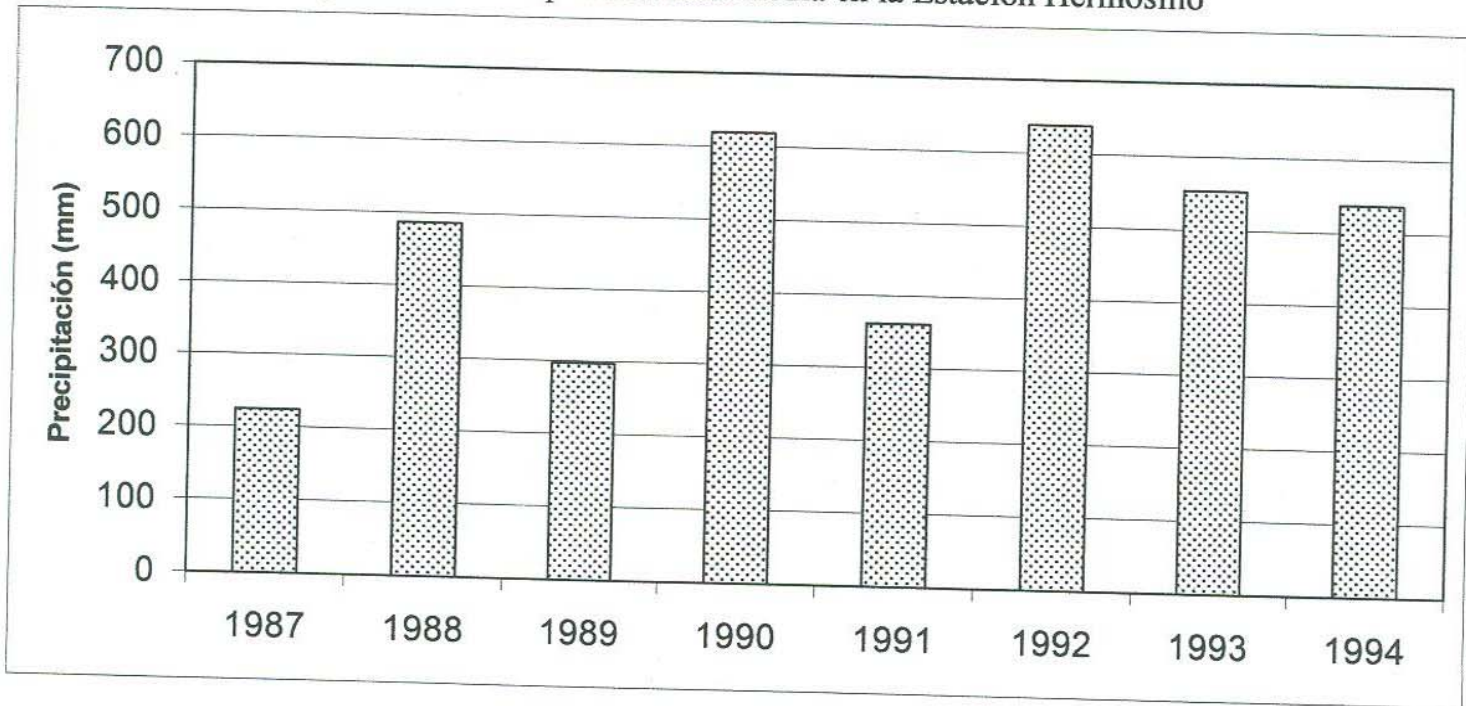


Figura 5.32. Evaporación total media en la Estación Hermosillo

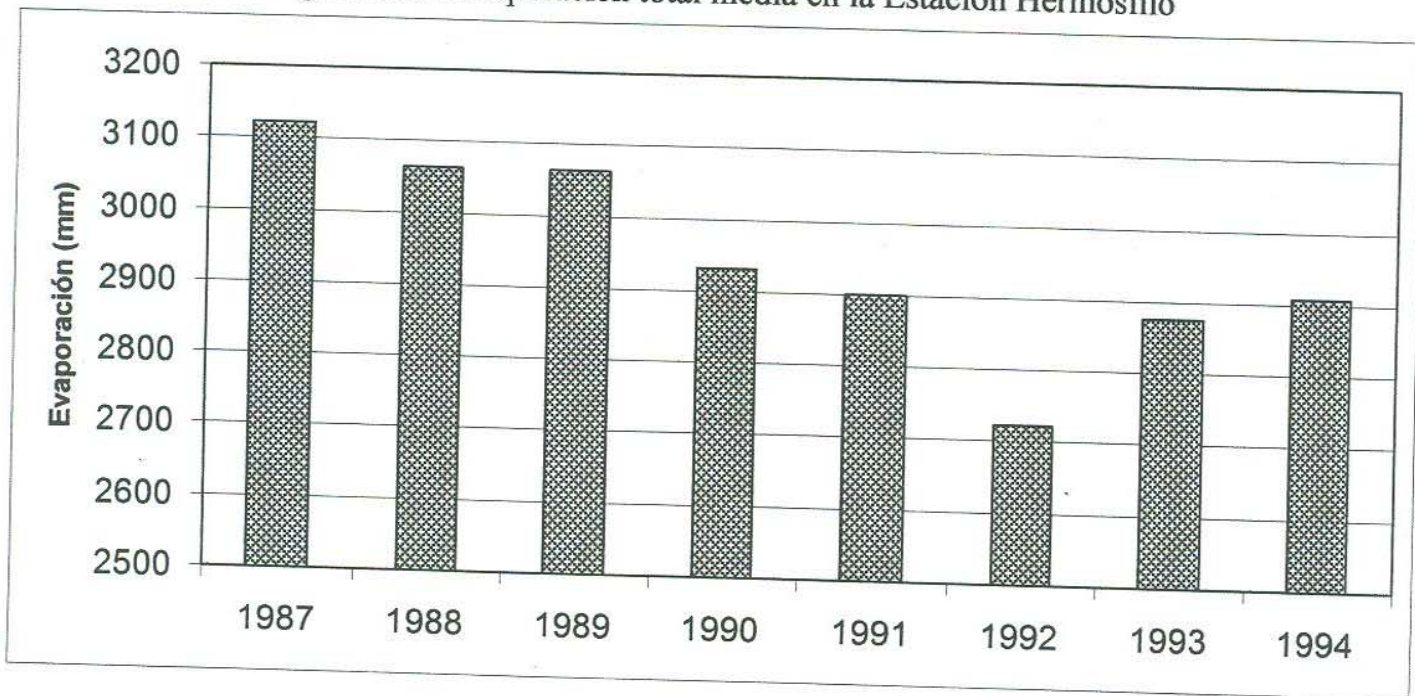
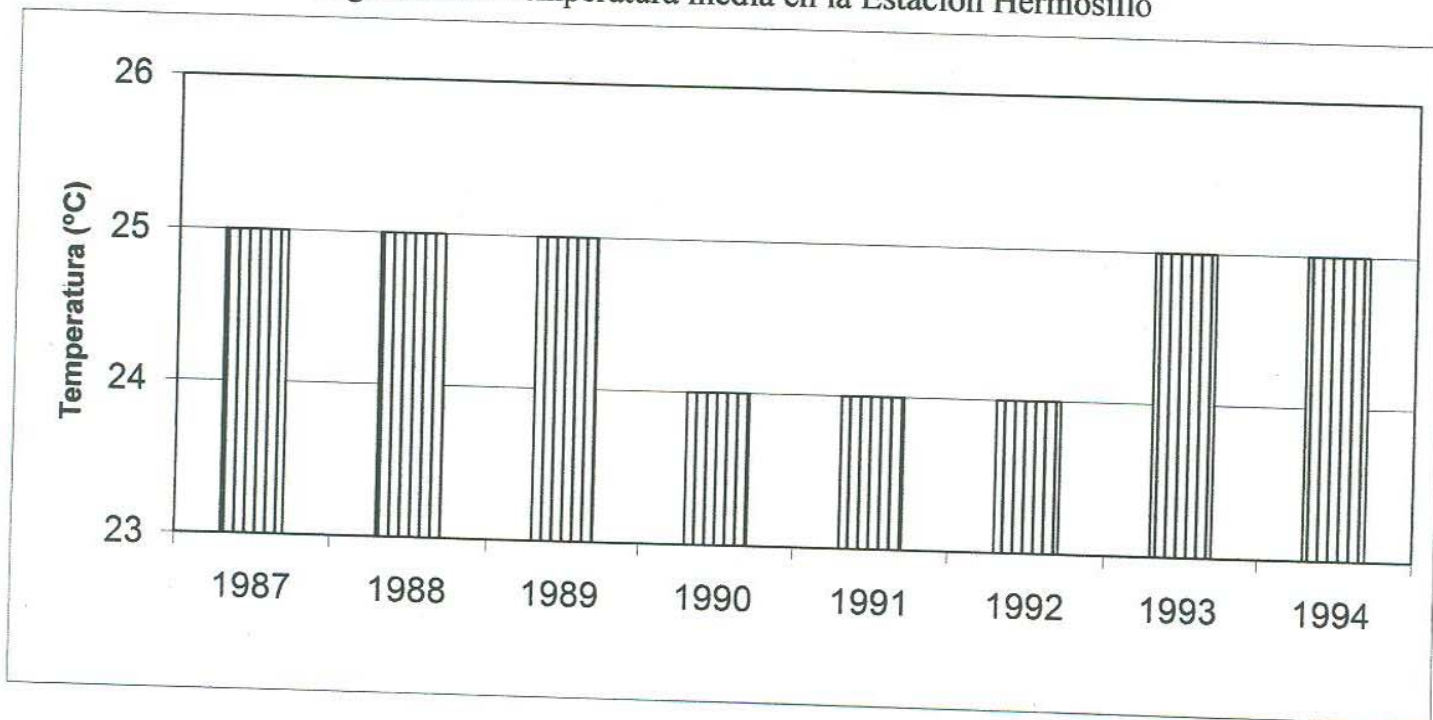


Figura 5.33. Temperatura media en la Estación Hermosillo



5.9. Huépac

La estación se ubica en las siguientes coordenadas geográficas: Latitud N 29°54'00" y Longitud W 110°12'00".

El período de registro de temperatura, precipitación y evaporación para esta estación comprende los años: 1994 - 2001.

La precipitación total media de los años con datos de dicha estación es de 499 mm, la temperatura media es de 20 °C y la evaporación total media es de 2,068 mm. En esta estación se observa que se evapora 6 veces más de lo que precipita (Figura 5.34).

La precipitación total mínima de 350 mm ocurrió en 1990; la máxima de 664 mm fue en 2000. Como puede observarse las láminas de lluvia han sido muy variables en el tiempo en esta región (Figura 5.35).

La evaporación total mínima de 1,753 mm ocurrió en 2000; la máxima de 2,261 mm fue en 1999. Como se mencionó antes, la evaporación excede por mucho a la precipitación (Figura 5.36).

La temperatura media máxima de 21 °C ocurrió en los años 1999 y 2000; la mínima de 19 °C, se presentó en los años 1995 y 1996. Como puede verse, la mayoría de las temperaturas medias están arriba de los 19 °C en esta zona (Figura 5.37).

Figura 5.34. Climatología de la Estación Huépac

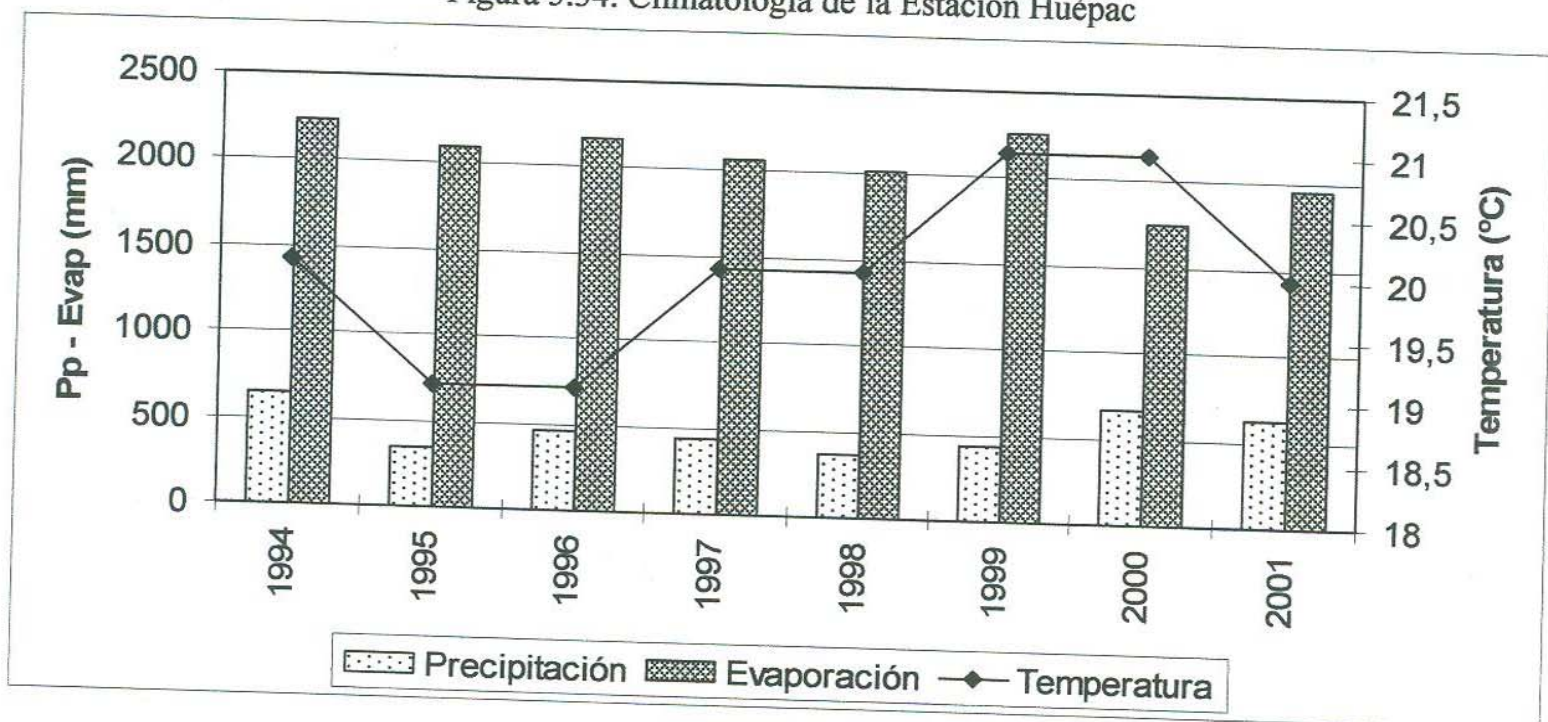


Figura 5.35. Precipitación total media en la Estación Huépac

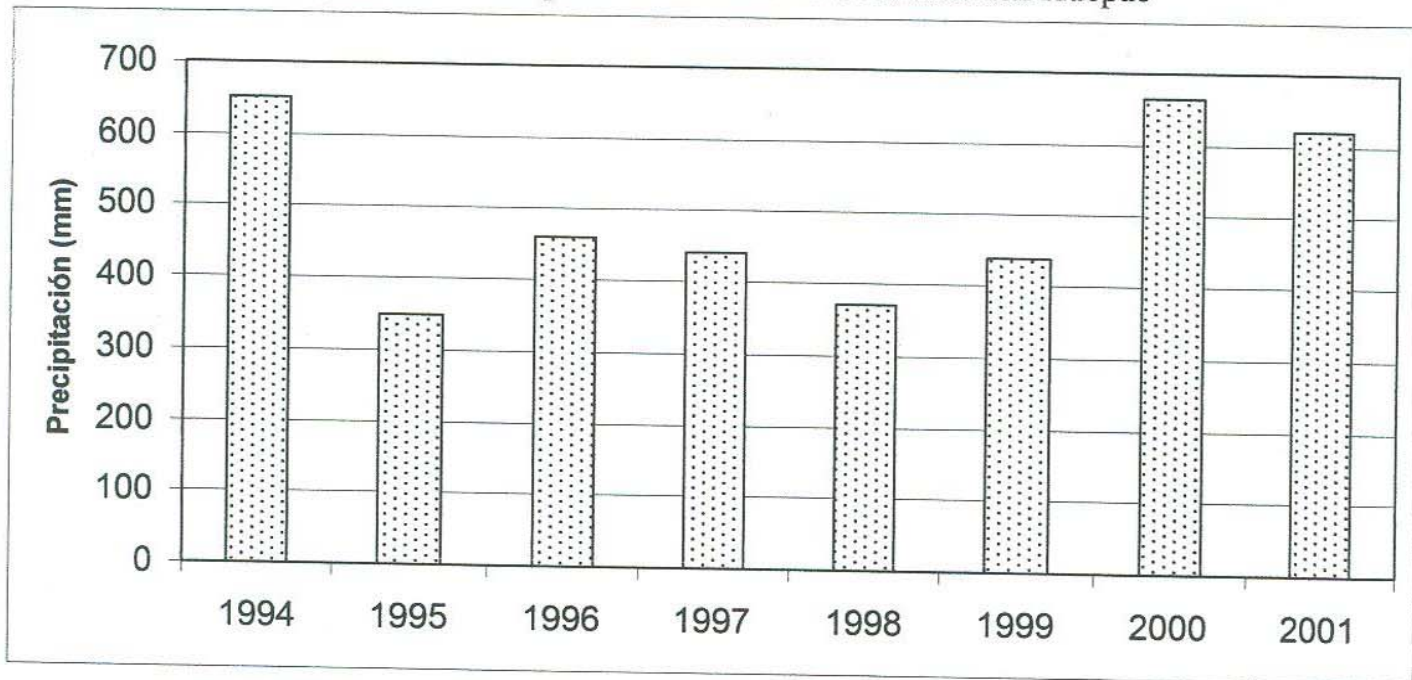


Figura 5.36. Evaporación total media en la Estación Huépac

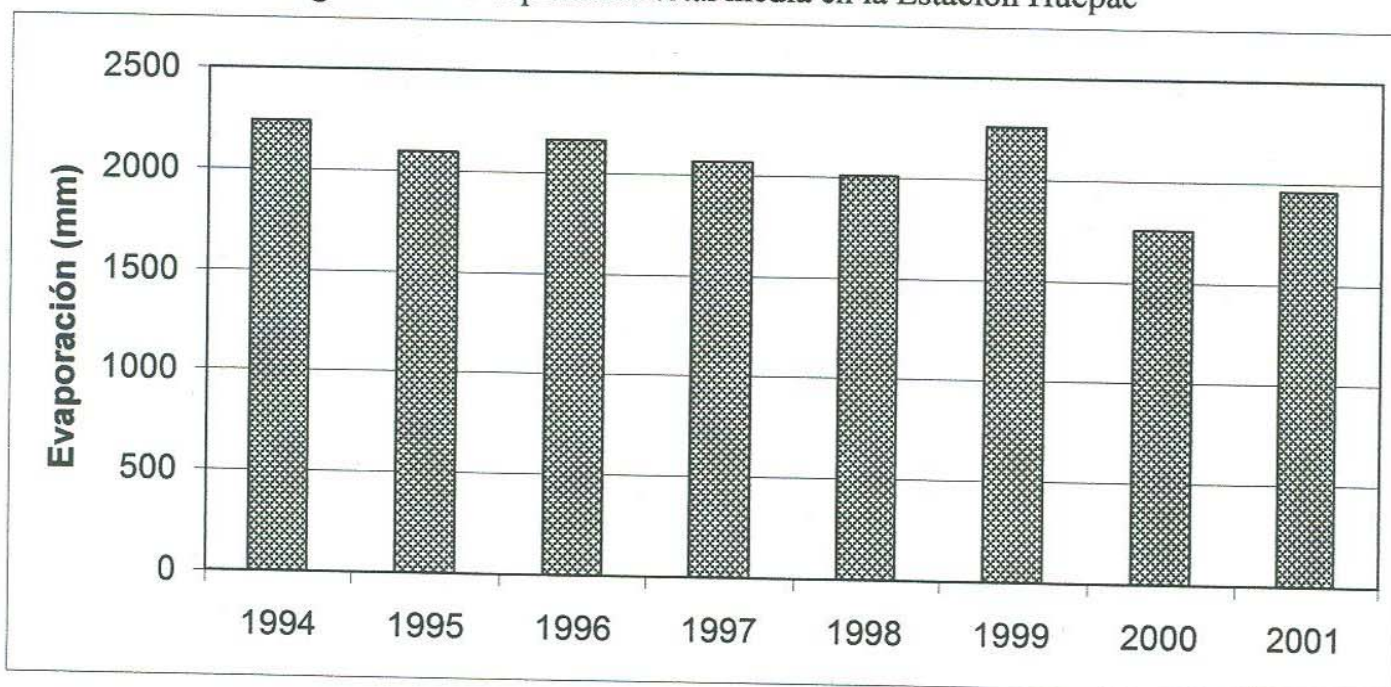
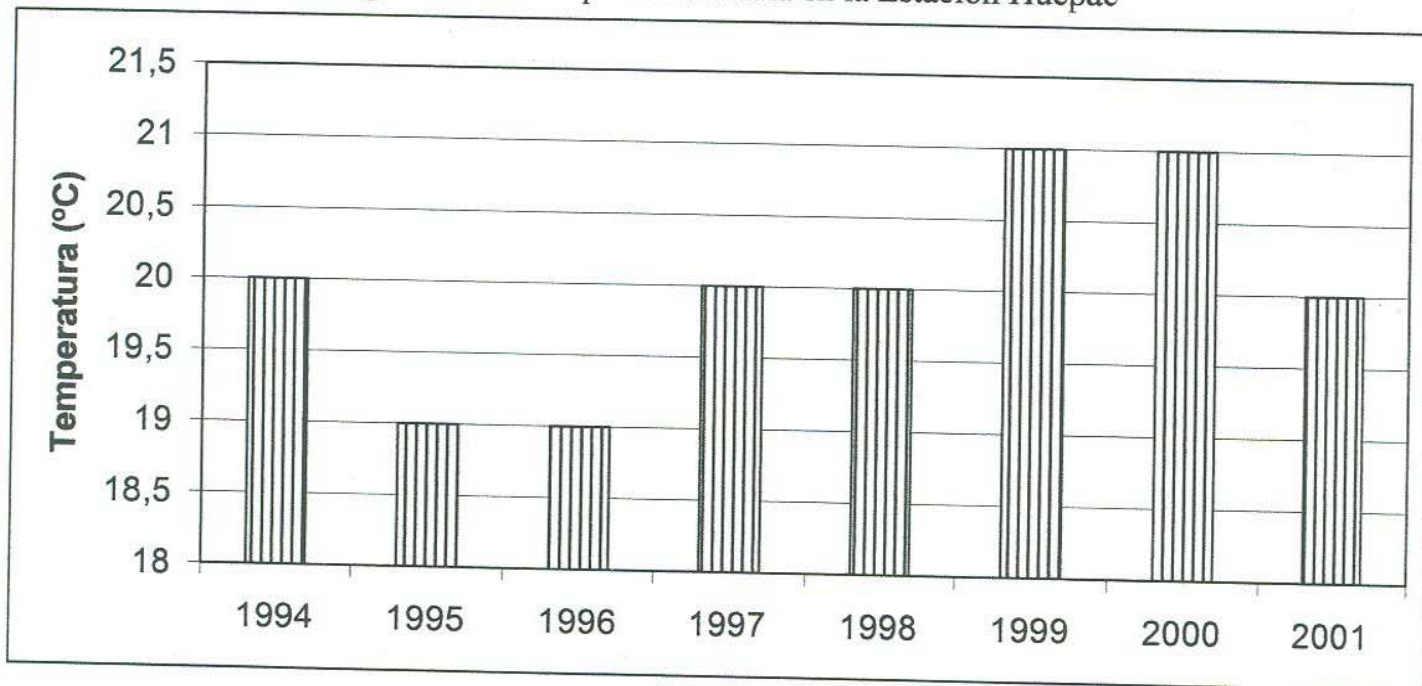


Figura 5.37. Temperatura media en la Estación Huépac



5.10. Rayón

La Estación Rayón se localiza dentro del municipio del mismo nombre con las siguientes coordenadas geográficas: Latitud 29°42'38" N, Longitud 110°34'14" W, a una altitud de 560 msnm.

El período de registro de temperatura, precipitación y evaporación para esta estación comprende los años: 1977 – 1984.

La precipitación total media de los años con datos de dicha estación es de 559 mm, la temperatura media es de 21 °C y la evaporación total media es de 1,943 mm. En esta estación se observa que se evapora 6 veces más de lo que precipita (Figura 5.38).

La precipitación total mínima de 303 mm ocurrió en 1979; la máxima de 616 mm fue en 1978. Como puede observarse las láminas de lluvia han sido muy variables en el tiempo en esta región (Figura 5.39).

La evaporación total mínima de 1,827 mm ocurrió en 1984; la máxima de 2,323 mm fue en 1982. Como se mencionó antes, la evaporación excede por mucho a la precipitación (Figura 5.40).

La temperatura media máxima de 21 °C ocurrió en el periodo comprendido por los años: 1977 - 1981; la mínima de 18 °C, se presentó en el año 1983. (Figura 5.41).

Figura 5.38. Climatología de la Estación Rayón

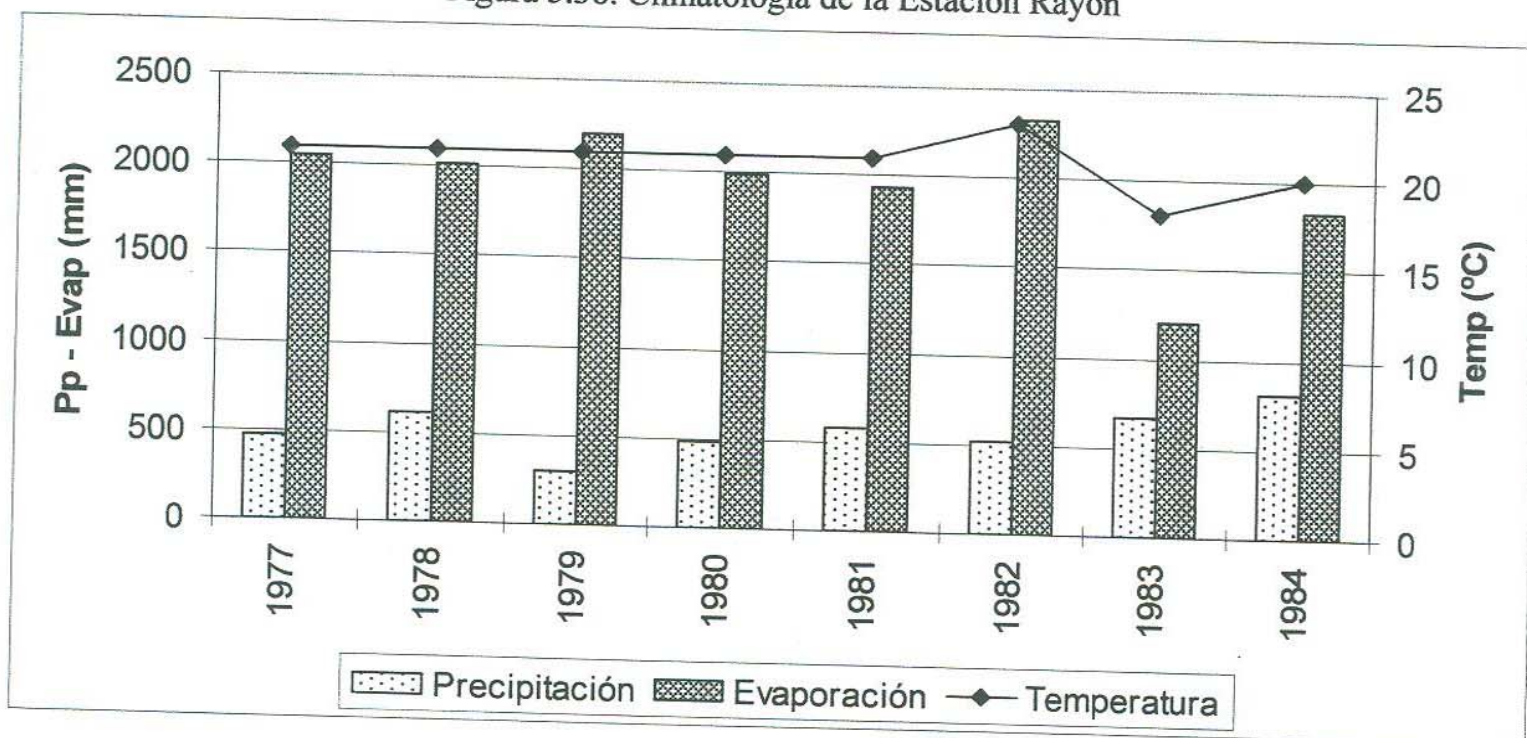


Figura 5.39. Precipitación total media en la Estación Rayón

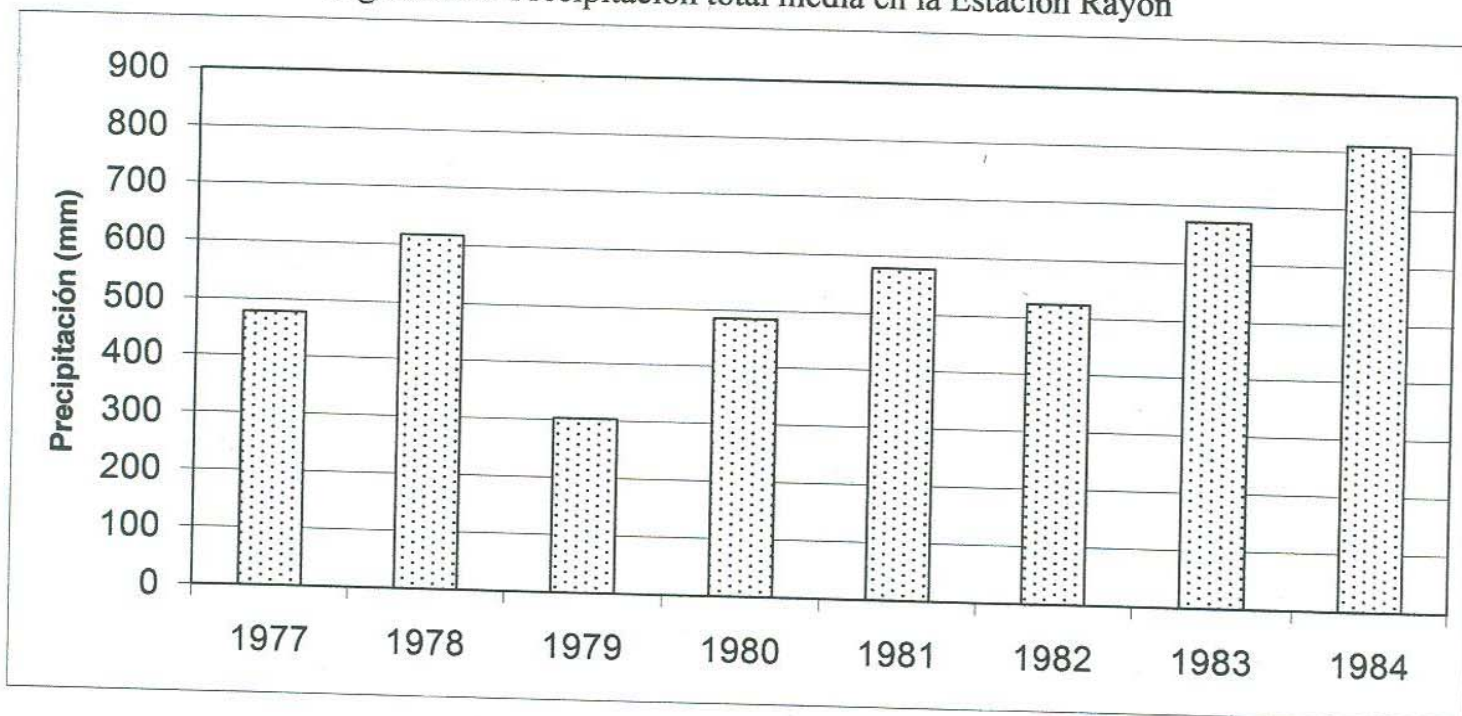


Figura 5.40. Evaporación total media en la Estación Rayón

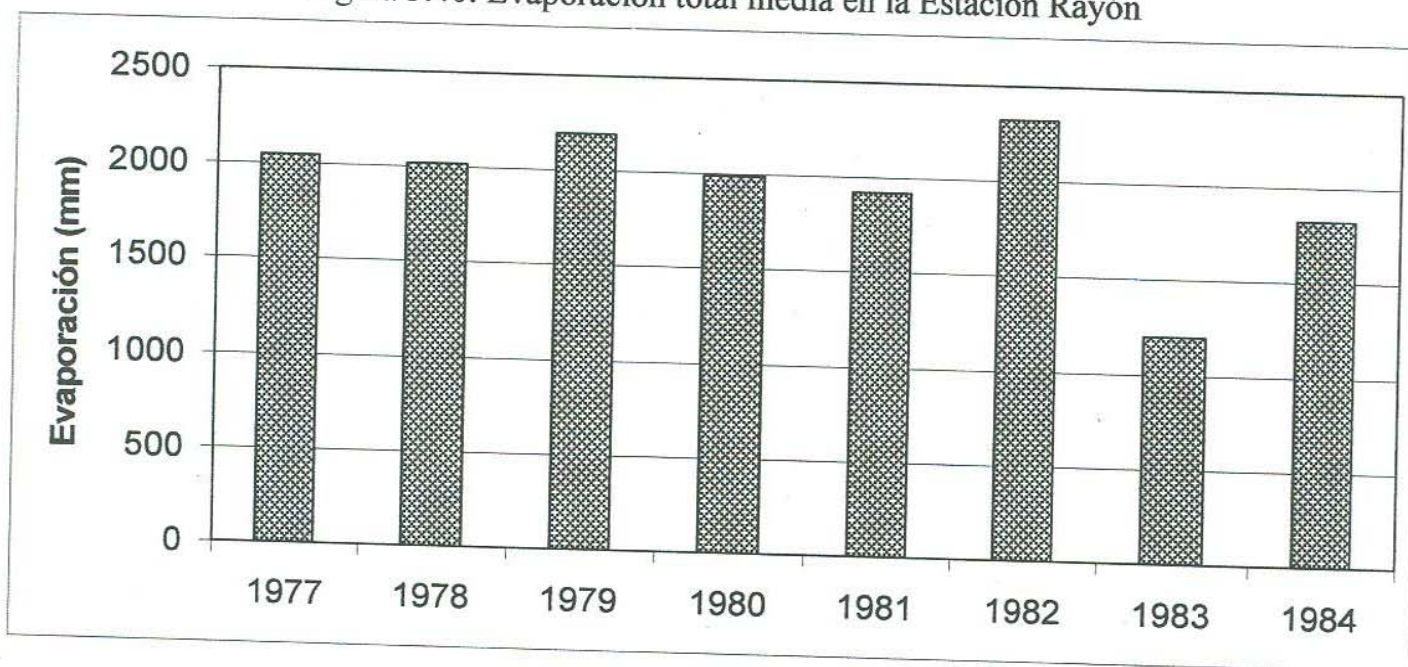
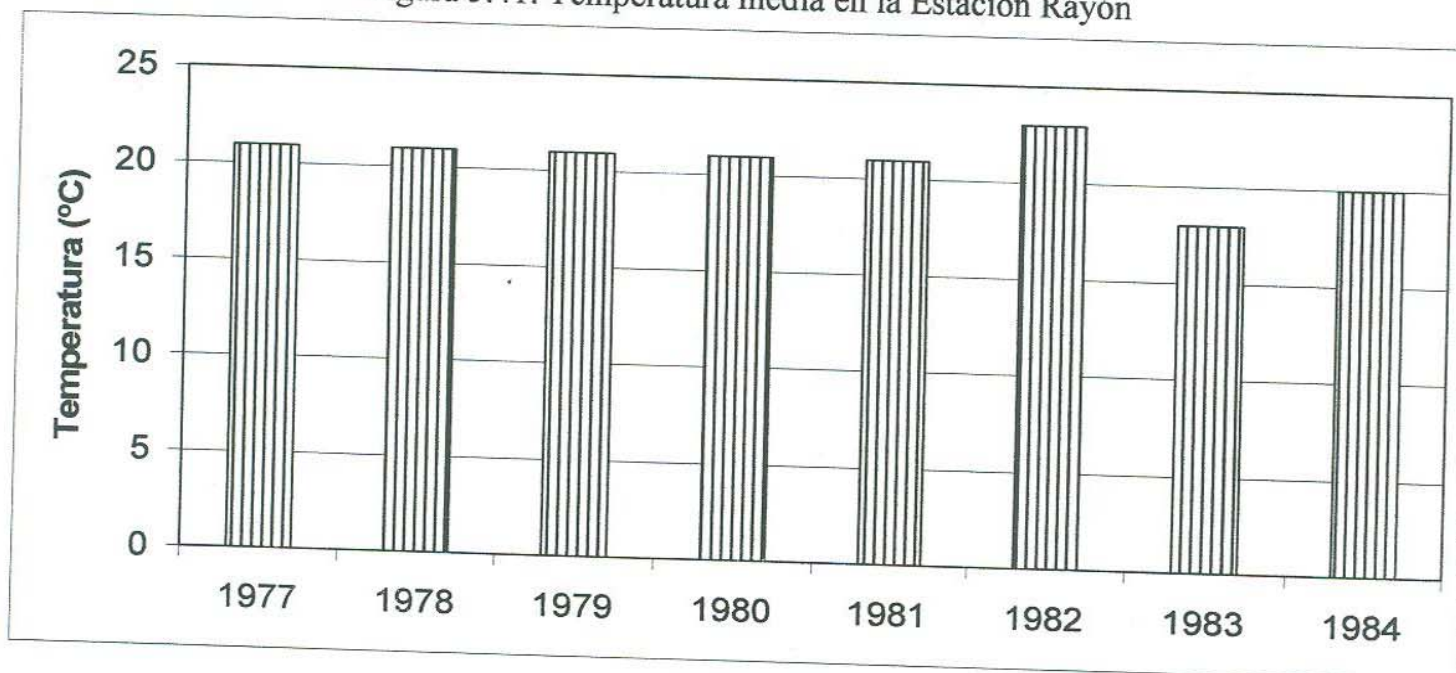


Figura 5.41. Temperatura media en la Estación Rayón



VI. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

6.1. Ciclo hidrológico

Se pudiera admitir que la cantidad total de agua que existe en la Tierra, en sus tres fases: sólida, líquida y gaseosa, ha sido reciclada desde antes de la aparición de la Humanidad.

El movimiento del agua en el ciclo hidrológico es mantenido por la energía radiante del sol y por la fuerza de gravedad.

El ciclo hidrológico es un agente modelador de la corteza terrestre debido a la erosión y al transporte y deposición de sedimentos por vía hidráulica. Condiciona la cobertura vegetal y de una forma más general, la vida en la Tierra.

Su fundamento es que toda gota de agua, en cualquier momento en que se considere, recorre un circuito cerrado, por ejemplo, desde el momento en que es lluvia, hasta volver a ser lluvia.

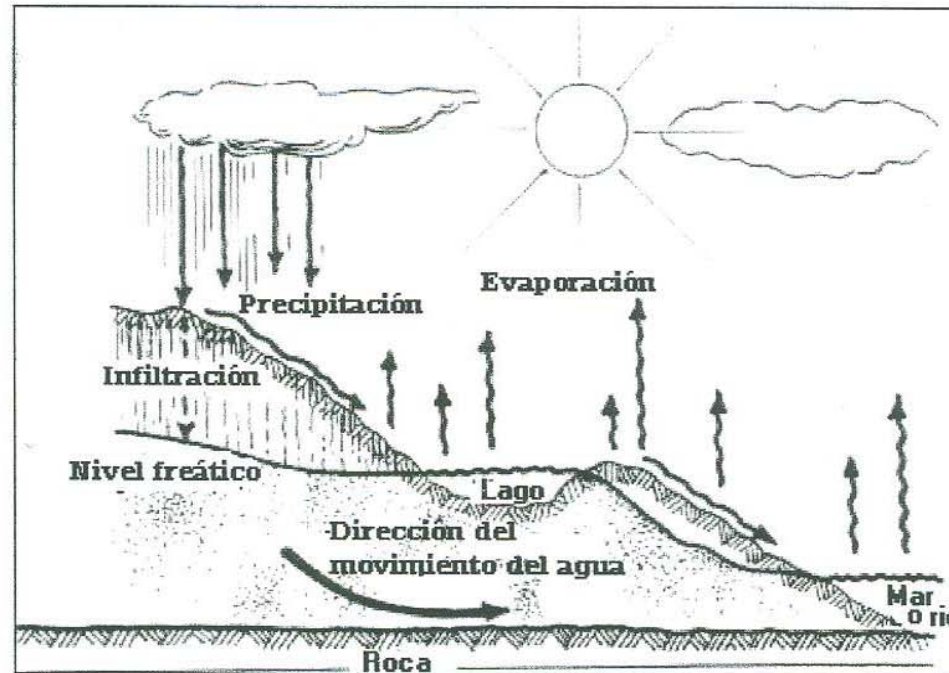
El ciclo hidrológico (Figura 6.1) comienza con la evaporación del agua desde la superficie del océano. A medida que se eleva, el aire humedecido se enfría y el vapor se transforma en agua (condensación). Las gotas se juntan y forman una nube. Luego, caen por su propio peso (precipitación). Si en la atmósfera hace mucho frío, el agua cae como nieve o granizo. Si es más cálida, caerán gotas de lluvia.

Una parte del agua que llega a la tierra será aprovechada por los seres vivos; al caer sobre las plantas, queda interceptada en las superficies vegetales desde donde se evapora (evapotranspiración), otra escurrirá por el terreno hasta llegar a un río, un lago o el océano (escorrentía). Otro poco del agua (la que supere las fuerzas de adhesión y cohesión del suelo) se filtrará a través del suelo, y se acumulará en la llamada zona de saturación para formar un depósito de agua subterránea, cuya cima se conoce como nivel freático ("water table"). En condiciones normales, el nivel freático crece de forma intermitente según se va rellenando o recargando el acuífero, y luego declina como consecuencia del drenaje continuo en desagües naturales como son los manantiales.

Por último, el agua desde la superficie del mar y desde las demás superficies líquidas tendrá el retorno a la atmósfera por evaporación.

Al evaporarse, el agua deja atrás todos los elementos que la contaminan o la hacen no apta para beber (sales minerales, químicos, desechos). Por eso el ciclo del agua nos entrega un elemento puro.

Figura 6.1. Ciclo del agua



6.2. Balance hidrológico superficial

Pueden establecerse dos tipos de balances, los generales o integrales (aguas superficiales y subterráneas), y los parciales (solo aguas superficiales o solo aguas subterráneas). Se debe tener cuidado al relacionar los balances parciales con el resto del ciclo del agua, y evitar contabilizar dos veces el mismo componente, o en sus caso olvidar otros (Custodio y Llamas, 1996).

En general el balance establecido para un cierto intervalo de tiempo es:

$$\textit{Agua entrada} - \textit{agua salida} = \textit{agua acumulada}$$

El agua acumulada es positiva si la reserva aumenta y negativa si disminuye.

El balance hidrológico superficial sirve para cuantificar la disponibilidad de agua con que se cuenta en la superficie del terreno para las diversas actividades humanas.

La ecuación de balance hidrológico superficial es:

$$Pp - Esc - Et - Inf = \pm \Delta S$$

Donde:

$$Pp = \text{Precipitación (mm, m}^3\text{)}$$

$$Esc = \text{Esgurrimiento superficial (mm, m}^3\text{)}$$

E_t = Evapotranspiración (mm, m³)

I_{nf} = Infiltración o recarga del acuífero (mm, m³)

$\pm \Delta S$ = Cambio de almacenamiento (mm, m³)

Los datos de precipitación son recolectados por la CNA a través de estaciones climatológicas distribuidas a todo lo largo del territorio. El escurrimiento se obtiene con datos de aforos o medición de gastos en estaciones hidrométricas, utilizando el método de análisis de hidrogramas o la NOM. La evapotranspiración se calcula con los métodos de Blaney-Criddle, Thornthwaite, Turc, etc. La infiltración se mide por medio de infiltrómetros o simuladores de lluvia o por métodos indirectos como el Criterio del índice de infiltración media. El cambio de almacenamiento considera el cambio en el volumen de agua de lagos, presas, ríos, hielos y nieves, en el suelo, en acuíferos y acuitardos.

6.2.1. Lluvia

La lluvia (del latín *pluvia*) es un fenómeno atmosférico iniciado con la condensación del vapor de agua contenido en las nubes provocada por los núcleos de condensación; es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua.

El volumen de lluvia se obtiene mediante la ecuación:

$$V_p = h_p * A$$

Donde:

V_p = Volumen precipitado (m³)

h_p = Lámina precipitada (mm)

A = Área (km²)

Para calcular la lluvia media de una cuenca que tiene varias estaciones climatológicas, se usan varios métodos: Promedio aritmético, Método de las Isoyetas y los Polígonos de Thiessen. En este trabajo se decidió utilizar los Polígonos de Thiessen debido a que es un método muy aceptado por los resultados que ofrece.

Los Polígonos de Thiessen o Método de Thiessen deben su nombre a Alfred H. Thiessen, un meteorólogo nacido en Troy, Nueva York en 1872. Trabajó en el "Weather Bureau" (hoy NOAA) desde 1898. Los polígonos constituyeron su mejor trabajo, el cual fue publicado en 1911; tratan sobre la predicción del clima con un método geométrico

consistente en dividir áreas de terreno. Este método había sido aplicado en trabajos de Dirichlet (1850) y Voronoi (1908), pero aparentemente, nunca se había usado en meteorología para interpolación de mediciones.

Los polígonos requieren del conocimiento de la ubicación de cada estación climatológica dentro o en la periferia de la cuenca para proceder a su aplicación, identificando el área de influencia de cada estación.

Para el trazado de los polígonos, primero se debe de dibujar la denominada red de triángulos irregulares (conocida como TIN por sus siglas en inglés: Triangular Irregular Network) la que se logra uniendo, con segmentos rectos, cada una de las estaciones con otras estaciones más cercanas.

Posteriormente se trazan líneas bisectoras perpendiculares a todos los lados de los triángulos, las que deberán unirse en un punto común dentro de cada triángulo, formando así una serie de polígonos (Figura 6.2) que delimitan el área de influencia de cada estación. El área de influencia de cada estación considerada "Polígono" está comprendida exclusivamente dentro de la cuenca (<http://ing.unne.edu.ar/pub/hidrologia/hidro-tp2.pdf>).

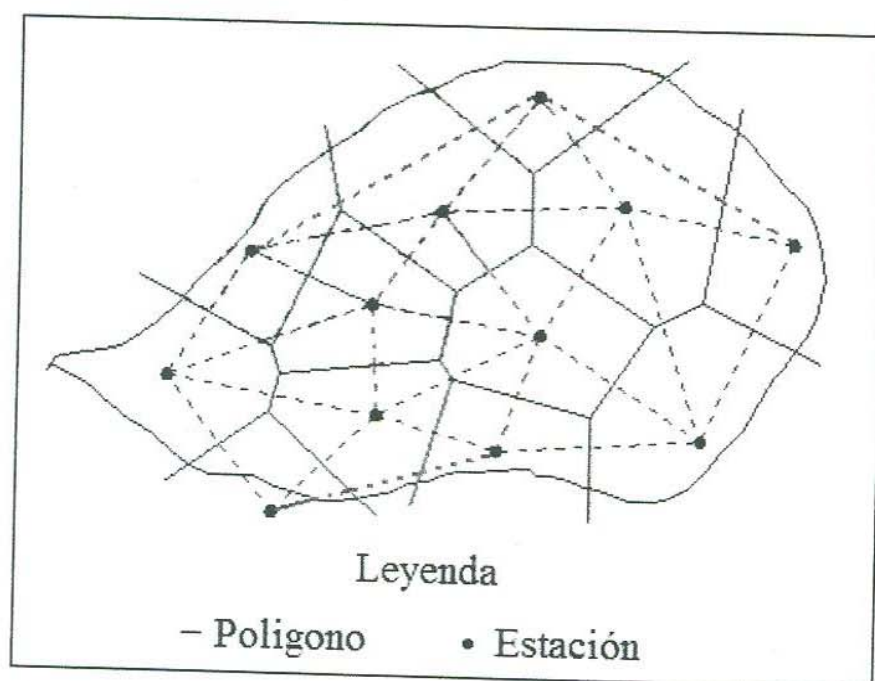


Figura 6.2. Trazado de los Polígonos de Thiessen

6.2.2. Escurrimiento

El escurrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra manera es el deslizamiento virgen del agua, que no ha sido afectado por obras artificiales hechas por el hombre.

Para calcular el escurrimiento de una cuenca la Norma Oficial Mexicana (NOM-011-CNA-2000) propone métodos directos e indirectos. Los métodos directos se aplican, si en la cuenca en estudio se cuenta con suficiente información hidrométrica para un período mínimo de 20 años, en el caso común de tener un sistema de cuencas interconectadas, se debe elaborar un esquema de interconexión de la cuenca hidrológica en estudio con las cuencas vecinas, indicando los nombres de los cauces, dirección del flujo y, en su caso, la ubicación de los embalses naturales y artificiales. Los métodos indirectos se aplican en caso de que en la cuenca en estudio no se cuente con suficiente información de registros hidrométricos o ésta sea escasa, para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural se aplica el método indirecto denominado: precipitación-escurrimiento.

Otros métodos directos usados para calcular el escurrimiento son: hidrogramas y molinete. Un hidrograma es una gráfica de gasto contra tiempo (Figura 6.3). El gasto se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo, proveniente de una lluvia con una determinada duración (Aparicio, 1999).

En un hidrograma el escurrimiento se divide en: escurrimiento base o subterráneo y escurrimiento directo o superficial (Figura 6.3).

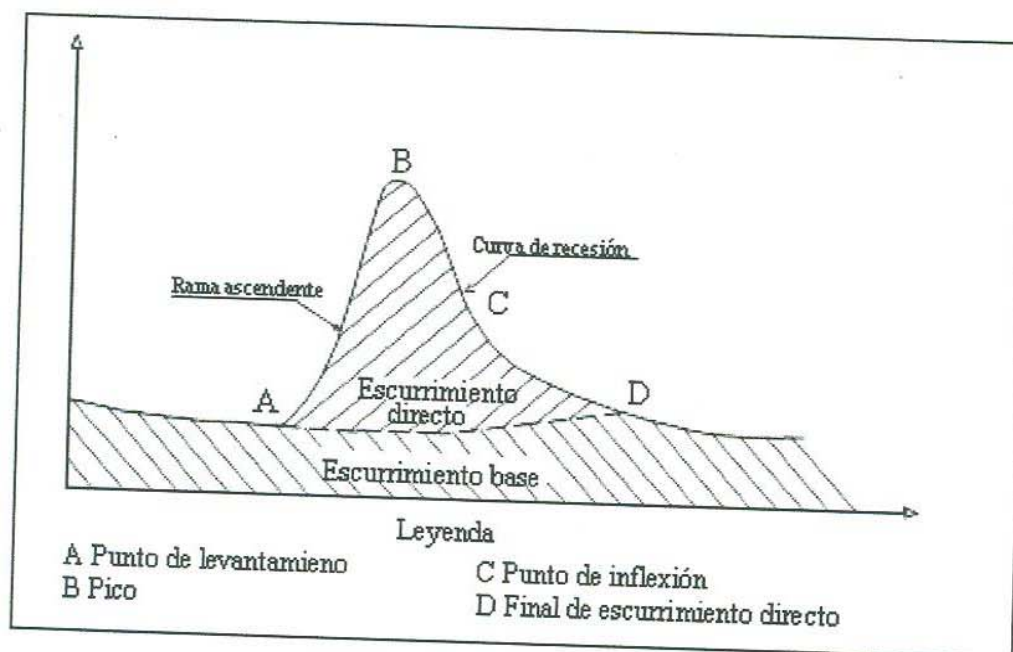


Figura 6.3. Partes de un hidrograma

Si fuera posible que se produjeran dos lluvias idénticas sobre una cuenca hidrográfica cuyas condiciones antes de la precipitación también fueran idénticas, sería de esperarse que los hidrogramas correspondientes a las dos lluvias también fueran iguales. Esta es la base del concepto de hidrograma unitario. En la realidad es muy difícil que ocurran lluvias idénticas; éstas pueden variar su duración, el volumen precipitado, su distribución espacial o su intensidad.

Un molinete (Figura 6.4) consta de una hélice muy sensible, que gira en una velocidad variable en función de la velocidad del flujo y del descenso o ascenso del mismo. Si se introduce en un pozo, puede detectar aportes de aguas subterráneas de otras unidades acuíferas y viceversa. Es de gran utilidad para conocer el funcionamiento de los acuíferos y la existencia de conexión entre ellos.

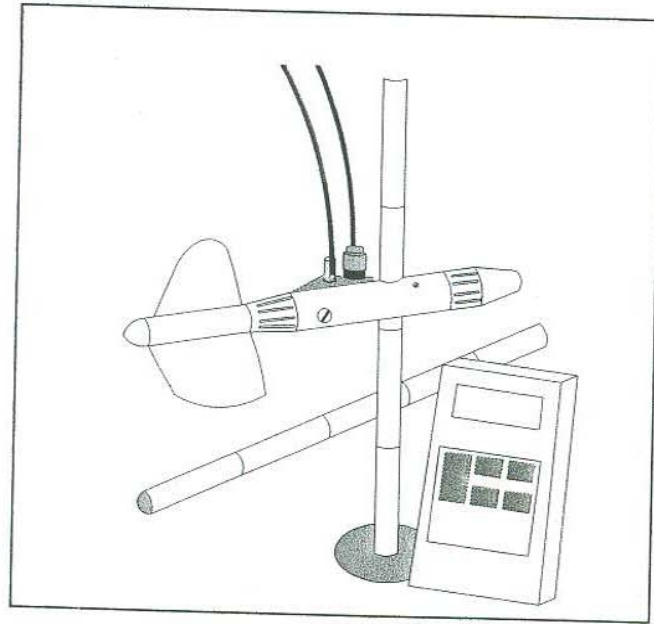


Figura 6.4. Molinete digital ("flowmeter")

En el presente trabajo se utilizó la metodología propuesta por la Norma Oficial Mexicana (NOM-011-CNA-2000) para métodos indirectos, que calcula el Coeficiente de Esgurrimiento a partir del valor del parámetro K en función del tipo y uso de suelo (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Valores de K, en función del tipo y uso de suelo

Tipo de suelo	Características
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad, loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas

Tabla 6.1. Valores de K, en función del tipo y uso de suelo (Continuación)

Uso del suelo	Tipo de suelo		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0,26	0,28	0,30
<u>Cultivos:</u>			
En Hileras	0,24	0,27	0,30
Legumbres o rotación de pradera	0,24	0,27	0,30
Granos pequeños	0,24	0,27	0,30
<u>Pastizal:</u>			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% - Poco -	0,14	0,20	0,28
Del 50 al 75% - Regular -	0,20	0,24	0,30
Menos del 50% - Excesivo -	0,24	0,28	0,30
<u>Bosque:</u>			
Cubierto más del 75%	0,07	0,16	0,24
Cubierto del 50 al 75%	0,12	0,22	0,26
Cubierto del 25 al 50%	0,17	0,26	0,28
Cubierto menos del 25%	0,22	0,28	0,30
Zonas urbanas	0,26	0,29	0,32
Caminos	0,27	0,30	0,33
Pradera permanente	0,18	0,24	0,30

Si en la cuenca en estudio existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas.

Una vez obtenido el valor de K, el coeficiente de escurrimiento anual (C_e), se calcula mediante las fórmulas de la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Obtención del coeficiente de escurrimiento

K: Parámetro que depende del tipo y uso de suelo	Coeficiente de escurrimiento anual (C_e)
Si K resulta menor o igual que 0.15	$C_e = K (P_p - 250) / 2000$
Si K es mayor que 0.15	$C_e = [K (P_p - 250) / 2000] + [(K - 0.15) / 1.5]$

Donde:

C_e = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

P_p = Precipitación anual (mm)

La norma sugiere que las fórmulas de la Tabla 6.2 serán válidas para valores de precipitación anual entre 350 y 2,150 mm. También señala que la evapotranspiración está incluida en el coeficiente de escurrimiento.

Una vez obtenido el coeficiente de escurrimiento, se obtiene el Volumen de escurrimiento directo con la siguiente fórmula:

$$\begin{array}{l} \text{VOLUMEN} \\ \text{ANUAL DE} \\ \text{ESCURRIMIENTO} \\ \text{NATURAL DE LA} \\ \text{CUENCA} \end{array} = \begin{array}{l} \text{PRECIPITACIÓN} \\ \text{ANUAL DE LA} \\ \text{CUENCA} \end{array} * \begin{array}{l} \text{ÁREA DE LA} \\ \text{CUENCA} \end{array} * \begin{array}{l} \text{COEFICIENTE} \\ \text{DE} \\ \text{ESCURRIMIENTO} \end{array}$$

6.2.3. Evapotranspiración

La evaporación es una de las variables hidrológicas más importantes al momento de establecer el balance hídrico de una cuenca hidrográfica o parte de ésta.

La evaporación es un proceso físico que consiste en el pasaje lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, en función de un aumento natural o artificial de la temperatura, lo que produce influencia en el movimiento de las moléculas, agitándolas. Con la intensificación del desplazamiento, las partículas escapan hacia la atmósfera transformándose, consecuentemente, en vapor.

Transpiración es el agua que se despiden en forma de vapor de las hojas de las plantas. Esta agua es tomada por las plantas, naturalmente del suelo.

Evapotranspiración se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación, es decir, es la combinación de evaporación y transpiración (<http://www.digeo.cl/asignaturas/h-h/Evapotranspiracion2.pdf>).

Para calcular la evapotranspiración existen métodos directos e indirectos (Tabla 6.3). Los primeros proporcionan directamente el consumo total del agua requerida, utilizando aparatos e instrumentos para su determinación. Los segundos obtienen los consumos de agua a través de todo el ciclo vegetativo de la planta, de forma indirecta y bajo la utilización de fórmulas empíricas.

Tabla 6.3. Algunos métodos para calcular la evapotranspiración

Métodos directos	Métodos indirectos
Método del lisímetro	Método de Thornthwaite
Evapotranspirómetro de Thornthwaite	Método de Blaney y Criddle
Atmómetro de Livingstone	Método de Turc
Método gravimétrico	Método de Coutagne

En el presente trabajo se usaron los métodos indirectos de Turc y de Coutagne, por su sencillez y facilidad de aplicación, asimismo porque se cuenta con información de los parámetros que utiliza (precipitación y temperatura).

Turc desarrolló en Europa, esta fórmula basada en estudios estadísticos de 254 cuencas alrededor del mundo, relacionando evaporación, precipitación y temperatura.

El volumen de evapotranspiración se obtiene por medio de la siguiente ecuación (Flores, 1978):

$$Et = \frac{Pp}{\sqrt{0.9 + (Pp / I_T)^2}}$$

Donde:

Et = Evapotranspiración real anual (mm/año)

Pp = Precipitación media anual (mm/año)

I_T = $300 + 25 T + 0.05 T^2$

T = Temperatura media del aire (°C)

El Método de Coutagne trata con fórmulas establecidas empíricamente comparando las precipitaciones y la escorrentía total de numerosas cuencas. Su ecuación es:

$$Et = Pp - \lambda Pp^2$$

Donde:

Et = Evapotranspiración real anual (m/año)

Pp = Precipitación media anual (m/año)

λ = $1/(0.8 + 0.14 T)$

T = Temperatura media anual (°C)

La fórmula sólo es válida para valores de Pp (en metros/año) comprendidos entre $1/8\lambda$ y $1/2\lambda$.

6.2.4. Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua superficial procedente de las precipitaciones se introduce en las capas internas del suelo y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo debido básicamente a las fuerzas gravitatorias, aunque

también intervienen fuerzas de tipo capilar así como otras de naturaleza más compleja como química, etc. (<http://html.rincondelvago.com/infiltracion-y-retencion-del-terreno.html>)

El agua infiltrada puede llegar a los acuíferos, ríos, lagos o al mar, o bien puede quedar retenida en el suelo y volver a la atmósfera por fenómenos de evaporación y/o transpiración.

La infiltración depende de:

- a) Las características del suelo, permeabilidad y estado de humedad del mismo.
- b) Las características de la cubierta vegetal.
- c) La intensidad y duración de la lluvia.
- d) El estado de la superficie del suelo, laboreo, etc.
- e) Las características del agua, temperatura, impurezas, etc.

Entre los métodos directos que existen para medir la infiltración están los infiltrómetros y los simuladores de lluvia, los cuales determinan la capacidad de infiltración en pequeñas áreas cerradas, aplicando artificialmente agua al suelo.

Los infiltrómetros consisten de dos anillos concéntricos, usándose el interior, de 23 cm de diámetro para determinar la velocidad de infiltración, mientras que el exterior de 35 cm se inunda a las mismas profundidades para disminuir los efectos de frontera en el anillo interior. Los anillos se insertan en el suelo a la profundidad mínima necesaria para evitar las fugas de los mismos.

Los simuladores de lluvia aplican agua en forma constante reproduciendo lo más fielmente el acontecer de la precipitación. Las gotas son del tamaño de las de la lluvia y tienen una energía de impacto similar, comparándose los efectos. Los simuladores varían en tamaño, cantidad de agua necesaria y método de medición. El área de lluvia es variable entre 0,1 m² y 40 m². La diferencia entre precipitación y escorrentía representa la valoración del volumen infiltrado.

Los métodos indirectos determinan la capacidad de infiltración considerando una cuenca perfectamente controlada, con datos precisos de precipitación, evaporación y escorrentía.

La infiltración se puede conocer a través del balance hídrico de una cuenca, a partir de la ecuación del ciclo hidrológico:

$$Pp = Esc + Inf + Evap \pm \Delta S$$

Se despeja la infiltración:

$$Inf = Pp - Esc - Evap \pm \Delta S$$

Donde:

Inf = Infiltración (mm)

Pp = Precipitación (mm)

Esc = Escurrimiento (mm)

$Evap$ = Evaporación (mm)

$\pm \Delta S$ = Cambio de almacenamiento (mm)

En algunos casos se considera la evapotranspiración en lugar de la evaporación.

VII. RESULTADOS

7.1. Precipitación

Aunque en la Cuenca del Río Sonora existen algunas estaciones climatológicas, en este trabajo se seleccionaron y usaron 10 estaciones ubicadas estratégicamente dentro de la cuenca (Figura 5.1). Los datos de precipitación en mm de los años elegidos, se pueden ver en el Anexo I.

La administración de las estaciones (mantenimiento, captura de datos, etc) la lleva a cabo el Servicio Meteorológico Nacional dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007), cuyo personal a través del Ing. Gilberto Lagarda Vásquez y el Fis. Martín Barrón Félix, gentilmente nos proporcionaron la información climatológica que aquí se presenta.

Los años de registro de las estaciones usadas varían de 1970 a 2001. Debido a que no coinciden los años de registro de una estación a otra, se obtuvo la **precipitación promedio anual** (Tabla 7.1), como el promedio aritmético de las precipitaciones totales anuales de los años de registro seleccionados (Anexo I).

Tabla 7.1. Precipitación promedio anual por estaciones

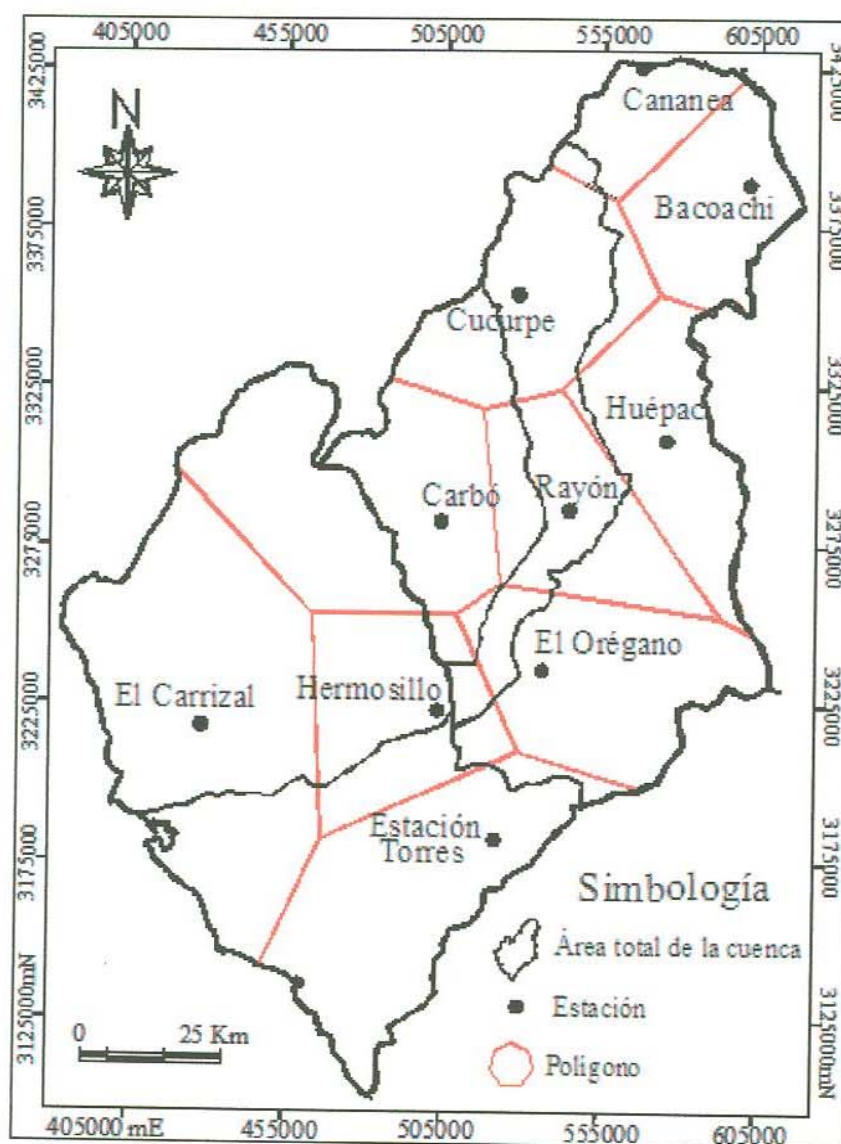
Estación	Coordenadas geográficas		Años de registro	Precipitación promedio anual (mm)
	X	Y		
Bacoachi	601,451	3'388,805	1977-1984	584
Cananea	566,500	3'424,883	1970-1977	495
Carbó	503,670	3'282,306	1989-1996	531
Cucurpe	527,281	3'354,020	1989-1996	591
El Carrizal	428,108	3'217,721	1975-1982	126
El Orégano	537,309	3'235,209	1980-1987	402
Estación Torres	521,049	3'182,042	1990-1997	409
Hermosillo	504,174	3'222,924	1987-1994	465
Huépac	575,721	3'307,822	1994-2001	499
Rayón	545,230	3'285,873	1977-1984	559

Fuente: CONAGUA (2007)

Debido a que se tiene una precipitación promedio anual de cada estación (Tabla 7.1) y a que se consideraron 10 estaciones en la cuenca, al momento de hacer el balance hidrológico deberá contarse con un solo valor de precipitación que represente la media de toda la cuenca. Por consiguiente, para obtener la precipitación media anual de la Cuenca del

Río Sonora, se usó el método de los Polígonos de Thiessen, cuyo trazado y resultados pueden verse en la Figura 7.1 y en la Tabla 7.2.

Figura 7.1. Polígonos de Thiessen del área de estudio



Fuente: Propia

Una vez realizados todos los cálculos de la precipitación media anual por subcuencas (Tabla 7.2), se obtuvo que en el período estudiado, la lluvia más abundante de 554.420 mm/año ocurrió en la Subcuenca del Río San Miguel, mientras que la menor de 302.406 mm/año se presentó en la Costa de Hermosillo-Zona Centro.

Tabla 7.2. Precipitación media anual por subcuencas

Subcuenca	Polígono/ Estación	Pp promedio anual (mm)	Área (km ²)	Pp * Área (mm*km ²)	Pp media anual (mm)
Río Zanjón	Cucurpe	591	917.836	542,440.970	
	Rayón	559	630.749	352,588.926	
	Carbó	531	2,451.611	1'301,805.664	
	El Orégano	402	80.316	32,286.919	
	Hermosillo	465	309.838	144,074.493	
Subtotal			4,390.350	2'373.196	540.548
Río San Miguel	Cananea	495	153.578	76,021.044	
	Cucurpe	591	2,218.828	1'311,327.624	

Subcuenca	Polígono/ Estación	Pp promedio anual (mm)	Área (km ²)	Pp * Área (mm*km ²)	Pp media anual (mm)
	Huépac	499	113.245	56,509.438	
	Rayón	559	1,335.614	746,608.263	
	El Orégano	402	426.755	171,555.537	
	Hermosillo	465	76.419	35,534.913	
Subtotal			4,324.440	2'397,556.818	554.420
Río Sonora	Cananea	495	1,391.143	688,615.877	
	Bacoachi	584	2,525.925	1'475,140.016	
	Huépac	499	2,922.871	1'458,512.622	
	Rayón	559	1,049.363	586,594.189	
	El Orégano	402	3,521.519	1'415,650.552	
	Hermosillo	465	333.271	154,971.148	
	Estación Torres	409	337.358	137,979.253	
Subtotal			12,081.450	5'917,463.656	489.797
Costa de Hermosillo-	Carbó	531	3,140.725	1'667,725.064	
Zona Centro	Hermosillo	465	1,757.714	817,336.902	
	El Carrizal	126	5,689.981	716,937.614	
Subtotal			10,588.420	3'201,999.579	302.406
Costa de Hermosillo-	Estación Torres	409	4,683.324	1'915,479.448	
Zona Sur	Hermosillo	465	842.478	391,752.053	
	El Carrizal	126	1,923.829	242,402.408	
Subtotal			7,449.630	2'549,633.909	342.250
Total			38,834.290		

Fuente: Propia

La lámina de precipitación media (hp) y el volumen precipitado (Vpp) en las Subcuencas del Río Sonora fueron de:

Subcuenca	hp (mm/año)	Vpp (Mm ³ /año)
Río Zanjón	540.548	2'373.196
Río San Miguel	554.420	2'397.556
Río Sonora	489.797	5'917.463
Costa de Hermosillo-Zona Centro	302.406	3'201.999
Costa de Hermosillo-Zona Sur	342.250	2'549.633

7.2. Escurrimiento

Para determinar el escurrimiento en un área dada, se deben conocer las unidades geohidrológicas, porque de su permeabilidad dependerá si el agua se infiltra o escurre. Si el material es permeable, el agua se infiltrará y por tanto, no escurrirá; en cambio, si el material es impermeable, el agua no se infiltrará y escurrirá.

Para conocer las unidades geohidrológicas de la Cuenca del Río Sonora, se consultaron las siguientes cartas hidrológicas de aguas subterráneas del INEGI (escala 1:250,000):

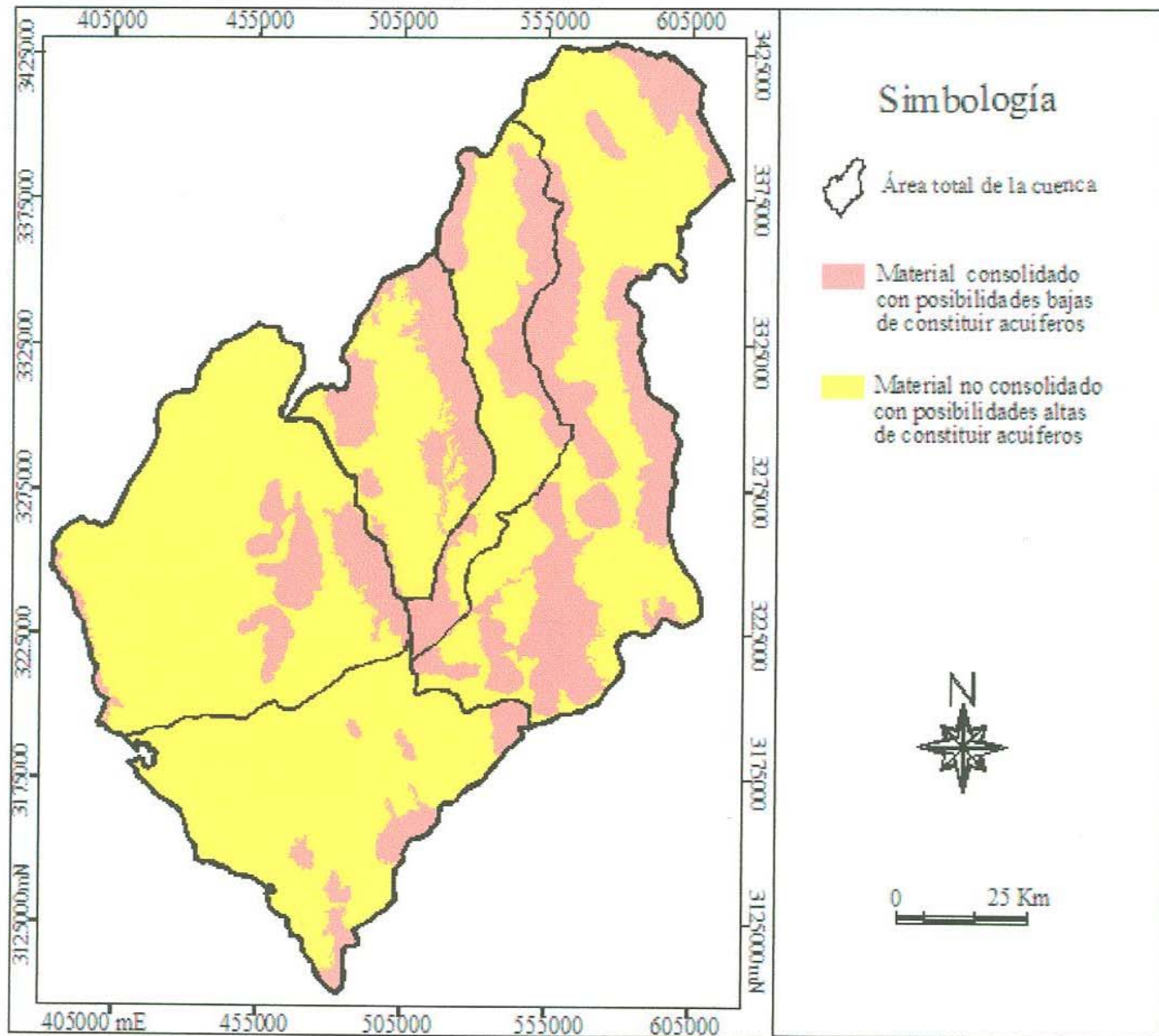
- H12-11 Sierra Libre
- H12-8 Hermosillo
- H12-5 Cananea

De acuerdo al tipo de material (consolidado y no consolidado) y de sus posibilidades de contener agua (alta, media, baja), se encontraron dos unidades geohidrológicas en el área de estudio (Figura 7.2):

1. **Material consolidado con posibilidades bajas de constituir acuíferos.** Consiste de montañas formadas de rocas ígneas (granito, granodiorita, riolita, etc) y rocas sedimentarias (conglomerados, calizas, areniscas, etc). De acuerdo a sus características primarias de formación y permeabilidad secundaria, se considera que quedan limitadas para contener agua, aunque existen algunos pozos de gastos pequeños en esta unidad. En el presente trabajo se les asignó un tipo de suelo "C" (impermeable), de acuerdo a la clasificación de la NOM-011-CNA-2000 (Tabla 6.1).
2. **Material no consolidado con posibilidades altas de constituir acuíferos.** Se localiza en la planicie de la Costa de Hermosillo y en los valles intermontanos de los ríos Sonora, San Miguel y Zanjón. Esta unidad está constituida de clásticos que varían en su granulometría de limos a gravas, y en su grado de compactación, de poco a medianamente compactados. Constituyen acuíferos libres en los cuales hay una gran cantidad de pozos en explotación. En la Costa de Hermosillo los niveles estáticos de agua se encuentran hasta la cota -60 mbnm (metros bajo el nivel del mar). Los flujos subterráneos naturales han sido modificados por la extracción excesiva de agua, por lo que los gradientes hidráulicos están invertidos. El agua se destina principalmente para riego agrícola y actividades domésticas. En el presente trabajo se les asignó un tipo de suelo "A" (permeable), de acuerdo a la clasificación de la NOM-011-CNA-2000 (Tabla 6.1).

Para delimitar estas unidades y plasmarlas en un mapa (Figura 7.2), se utilizaron imágenes de satélite tomadas de “Google Earth”. Sobre las imágenes de satélite se trazaron los contactos entre las diferentes rocas y de acuerdo a su permeabilidad se les asignó una letra, A, B o C (Tabla 6.1).

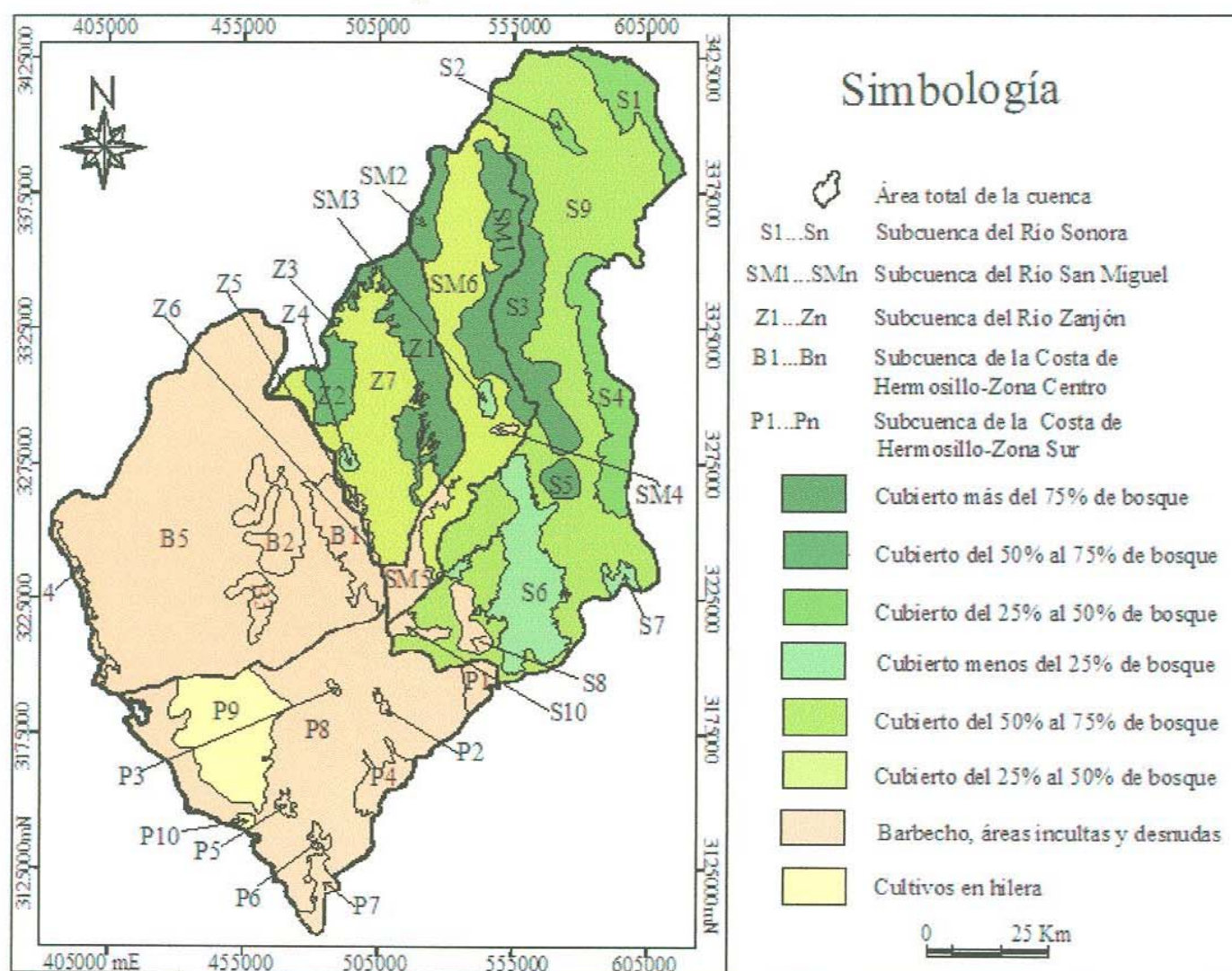
Figura 7.2. Unidades geohidrológicas en la Cuenca del Río Sonora



Fuente: INEGI (1981) Mod.

Una vez obtenido el tipo de suelo, se determinó su uso según la clasificación de la NOM-011-CNA-2000 (Tabla 6.1). El uso de suelo depende de los tipos de vegetación y del porcentaje que cubre de las formaciones geológicas; éstos se observaron en las imágenes de satélite de “Google Earth”. Se encontraron 3 tipos de uso de suelo (bosque, áreas incultas y cultivos en hilera), los cuales se dividieron en 8 subtipos con los que se elaboró el mapa de la Figura 7.3.

Figura 7.3. Uso de suelo en la cuenca



Fuente: Mapa base de INEGI (1981), Subdivisiones: Propias

Con la información de tipo de suelo (A y C) y de uso de suelo (bosque, áreas incultas y cultivos en hilera), se asignaron valores de K a cada área de la Figura 7.3, de acuerdo a lo propuesto en la Tabla 6.1.

Como en cada Subcuenca se tienen varias áreas de escurrimiento diferente y por tanto con diferente valor de K, se debe obtener una sola K ponderada que represente el escurrimiento promedio de cada Subcuenca. Para calcularla se usa la fórmula:

$$K_{pond} = \frac{K_1 A_1 + K_2 A_2 + \dots + K_n A_n}{A_T}$$

Donde:

K_{pond} - K ponderada (adimensional)

$K_1 + K_2 + \dots + K_n = k$ de la 1 a la n (adimensional)

$A_1 + A_2 + \dots + A_n =$ área de la 1 a la n (km^2)

$A_T =$ área total de la cuenca (km^2)

Ya que se obtiene la K_{pond} de todas las subcuencas (Tabla 7.3), se observa si es menor o mayor que 0.15, y se escoge una fórmula para el coeficiente de escurrimiento (Tabla 6.2). Como todas las K_{pond} de las subcuencas del Río Sonora fueron mayores que 0.15, la fórmula de Ce utilizada fue:

$$Ce = [K (Pp-250) / 2000] + [(K-0.15) / 1.5]$$

Se substituyó el valor de la precipitación media anual y de la K_{pond} de cada subcuenca y se obtuvo un valor de Ce para cada una de ellas.

Para calcular el volumen de escurrimiento directo (Ved) se multiplicó la lámina de lluvia (Pp) por el área de la cuenca (A) por el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$Ved = Pp * A * Ce$$

Todos los cálculos se muestran en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3. Cálculos realizados para obtener el coeficiente y el volumen de escurrimiento

Subcuenca	Clave	Area (km ²)	Tipo de suelo	Uso de suelo	K	Área * K (mm* km ²)	K ponderada (adimensional)	Lluvia (mm)	Ce
Río Zanjón	Z1	1,430.631	C	Bosque	0.24	343.351			
	Z2	427.387	C	Bosque	0.26	111.120			
	Z3	44.694	C	Bosque	0.30	13.408			
	Z4	50.766	C	Bosque	0.30	15.230			
	Z5	33.529	C	Bosque	0.30	10.059			
	Z6	2,403.343	A	Áreas incultas y desnudas	0.26	624.869			
Subtotal		4,390.350				1,118.038	0.255	540.548	0.107
Rio San Miguel	SM1	1,488.558	C	Bosque	0.24	357.254			
	SM2	718.573	C	Bosque	0.24	172.457			
	SM3	470.099	C	Bosque	0.30	141.030			
	SM4	431.633	C	Bosque	0.28	120.857			
	SM5	815.823	C	Bosque	0.30	244.747			
	SM6	399.754	A	Bosque	0.17	67.958			
Subtotal		4,324.440				1,104.303	0.255	554.420	0.109
Rio Sonora	S1	641.968	C	Bosque	0.28	179.751			
	S2	96.140	C	Bosque	0.28	26.919			
	S3	1,166.515	C	Bosque	0.24	279.964			
	S4	999.227	C	Bosque	0.28	279.783			
	S5	168.914	C	Bosque	0.24	40.539			
	S6	1,393.414	C	Bosque	0.30	418.024			
	S7	100.423	C	Bosque	0.30	30.127			
	S8	218.297	C	Bosque	0.30	65.489			
	S9	127.362	A	Bosque	0.12	15.283			
	S10	7,169.191	A	Bosque	0.26	1,863.990			

Subcuenca	Clave	Area (km ²)	Tipo de suelo	Uso de suelo	K	Área * K (mm* km ²)	K ponderada (adimensional)	Lluvia (mm)	Ce
Subtotal		12,081.450				3,199.870	0.265	489.797	0.108
Costa de Hermosillo- Zona Centro	B1	520.799	C	Áreas incultas y desnudas	0.30	156.240			
	B2	456.864	C	Áreas incultas y desnudas	0.30	137.059			
	B3	105.031	C	Áreas incultas y desnudas	0.30	31.509			
	B4	82.352	C	Áreas incultas y desnudas	0.30	24.706			
	B5	9,423.375	A	Áreas incultas y desnudas	0.26	2,450.077			
Subtotal		10,588.420				2,799.591	0.264	302.406	0.083
Costa de Hermosillo- Zona Sur	P-B1	227.905	C	Áreas incultas y desnudas	0.30	68.248			
	P-B2	7.283	C	Áreas incultas y desnudas	0.30	2.062			
	P-B3	2.051	C	Áreas incultas y desnudas	0.30	0.492			
	P-B4	255.829	C	Áreas incultas y desnudas	0.30	76.626			
	P-B5	23.392	C	Áreas incultas y desnudas	0.30	6.895			
	P-B6	27.743	C	Áreas incultas y desnudas	0.30	8.200			
	P-B7	164.038	C	Áreas incultas y desnudas	0.30	49.088			
	P-B8	5,295.868	A	Áreas incultas y desnudas	0.26	1,376.819			
	P-B9	1,429.015	A	Cultivos en hileras	0.24	342.865			
	P-B10	20.608	A	Cultivos en hileras	0.24	4.847			
Subtotal		7,449.630				1,936.143	0.260	342.250	0.085
Total		38,834.290							

Fuente: Propia

Una vez encontrados los coeficientes de escurrimiento (C_e) se multiplicarán por la lluvia efectiva para obtener los volúmenes de escurrimiento.

La lluvia efectiva se obtiene restando a la precipitación la evapotranspiración.

7.3. Evapotranspiración

Para determinar la evapotranspiración se usaron 2 métodos: el Método de Turc y el de Coutagne. Ambos requieren la precipitación y la temperatura medias de las subcuencas. La precipitación medial anual para cada subcuenca se obtuvo con los Polígonos de Thiessen (Tabla 7.2). La temperatura media anual de cada estación, se calculó mediante el promedio aritmético de los datos de temperatura anual en los años de registro (Tabla 7.4).

Para obtener una temperatura media más exacta, se calculó para cada Subcuenca usando los Polígonos de Thiessen (Tabla 7.5).

Tabla 7.4. Datos de temperatura de la zona de estudio

Estación	Coordenadas geográficas		Años de registro	Temperatura media anual (°C)
	X	Y		
Bacoachi	601,451	3'388,805	1977-1984	19
Cananea	566,500	3'424,883	1970-1977	16
Carbó	503,670	3'282,306	1989-1996	22
Cucurpe	527,281	3'354,020	1989-1996	20
El Carrizal	428,108	3'217,721	1975-1982	20
El Orégano	537,309	3'235,209	1980-1987	23
Estación Torres	521,049	3'182,042	1990-1997	24
Hermosillo	504,174	3'222,924	1987-1994	25
Huépac	575,721	3'307,822	1994-2001	20
Rayón	545,230	3'285,873	1977-1984	21

Fuente: CONAGUA (2007)

7.3.1. Método de Turc

Para calcular la evapotranspiración por subcuencas, se utilizó el Método de los Polígonos de Thiessen, usando los mismos polígonos previamente trazados para calcular la lluvia media de la cuenca (Figura 7.1).

La evapotranspiración se obtuvo sustituyendo los valores de precipitación y temperatura medias de las Tablas 7.2 y 7.4 en la fórmula de Turc:

$$Et = \frac{Pp}{\sqrt{0.9 + (Pp / I_T)^2}}$$

La evapotranspiración real anual de las Subcuencas del Río Sonora, obtenida con los Polígonos de Thiessen (Figura 7.1) y con el Método de Turc, se puede observar en la Tabla 7.5.

Tabla 7.5. Obtención de la evapotranspiración real anual por subcuencas

Subcuenca	Polígono/ Estación	Temp prom. anual (°C)	Área (km ²)	Temp * Área (°C*km ²)	Temp media anual (°C)	It (adimen- sional)	Pp media anual (mm)	Et real anual (mm)
Río Zanjón	Cucurpe	20	917.836	18,356.716				
	Rayón	21	630.749	13,245.738				
	Carbó	22	2,451.611	53,935.451				
	El Orégano	23	80.316	1,847.262				
	Hermosillo	25	309.838	7,745.941				
Subtotal			4,390.350	95,131.108	21.668	865.181	540.548	475.861
Río San Miguel	Cananea	16	153.578	2,457.246				
	Cucurpe	20	2,218.828	44,376.569				
	Huépac	20	113.245	2,264.907				
	Rayón	21	1,335.614	28,047.895				
	El Orégano	23	426.755	9,815.367				
	Hermosillo	25	76.419	1,910.479				
Subtotal			4,324.440	88,872.464	20.551	834.897	554.420	478.772
Río Sonora	Cananea	16	1,391.143	22,258.291				
	Bacoachi	19	2,525.925	47,992.569				
	Huépac	20	2,922.871	58,457.420				
	Rayón	21	1,049.363	22,036.633				
	El Orégano	23	3,521.519	80,994.932				
	Hermosillo	25	333.271	8,331.782				
	Estación Torres	24	337.358	8,096.582				
Subtotal			12,081.450	248,168.209	20.541	834.628	489.797	439.075
Costa de Hermosillo- Zona Centro	Carbó	22	3,140.725	69,095.954				
	Hermosillo	25	1,757.714	43,942.844				
	El Carrizal	20	5,689.981	113,799.621				
Subtotal			10,588.420	226,838.419	21.423	858.529	302.406	298.830
Costa de Hermosillo- Zona Sur	Estación Torres	24	4,683.324	112,399.772				
	Hermosillo	25	842.478	21,061.938				
	El Carrizal	20	1,923.829	38,476.573				
Subtotal			7,449.630	171,938.283	23.080	903.637	342.250	335.048
Total			38,834.290	830,948.483	21.397	857.824	423.333	395.8740

Fuente: Propia

La lámina de evapotranspiración real anual (het) y el volumen evapotranspirado (Vet) en las Subcuencas del Río Sonora fue de:

Subcuenca	het (mm)	Vet (Mm ³ /año)
Río Zanjón	475.861	2'089.199
Río San Miguel	478.772	2'070.422
Río Sonora	439.075	5'304.664
Costa de Hermosillo-Zona Centro	298.830	3'164.144
Costa de Hermosillo-Zona Sur	335.048	2'495.986

7.3.2. Método de Coutagne

Con el fin de tener más certeza en el valor de evapotranspiración calculado, se obtuvo la evapotranspiración con el Método de Coutagne sustituyendo los valores de lluvia y temperatura medias en su fórmula:

$$Et = Pp - \lambda Pp^2$$

Los resultados de **evapotranspiración real anual** de las Subcuencas del Río Sonora, obtenida con el Método de Coutagne se observan en la Tabla 7.6.

Tabla 7.6. Evapotranspiración real anual por el Método de Coutagne

Subcuenca	Polígono/ Estación	Temp prom. anual (°C)	Área (km ²)	Temp * Área (°C*km ²)	Temp media anual (°C)	λ (adimen- sional)	Pp media anual (m)	Et real anual (m)
Río Zanjón	Cucurpe	20	917.836	18,356.716				
	Rayón	21	630.749	13,245.738				
	Carbó	22	2,451.611	53,935.451				
	El Orégano	23	80.316	1,847.262				
	Hermosillo	25	309.838	7,745.941				
Subtotal			4,390.350	95,131.108	21.668	0.260	0.540	0.464
Río San Miguel	Cananea	16	153.578	2,457.246				
	Cucurpe	20	2,218.828	44,376.569				
	Huépac	20	113.245	2,264.907				
	Rayón	21	1,335.614	28,047.895				
	El Orégano	23	426.755	9,815.367				
	Hermosillo	25	76.419	1,910.479				
Subtotal			4,324.440	88,872.464	20.551	0.271	0.554	0.470
Río Sonora	Cananea	16	1,391.143	22,258.291				
	Bacoachi	19	2,525.925	47,992.569				
	Huépac	20	2,922.871	58,457.420				
	Rayón	21	1,049.363	22,036.633				
	El Orégano	23	3,521.519	80,994.932				
	Hermosillo	25	333.271	8,331.782				
	Estación Torres	24	337.358	8,096.582				
Subtotal			12,081.450	248,168.209	20.541	0.272	0.489	0.424
Costa de Hermosillo- Zona Centro	Carbó	22	3,140.725	69,095.954				
	Hermosillo	25	1,757.714	43,942.844				
	El Carrizal	20	5,689.981	113,799.621				
Subtotal			10,588.420	226,838.419	21.423	0.263	0.302	0.278
Costa de Hermosillo- Zona Sur	Estación Torres	24	4,683.324	112,399.772				
	Hermosillo	25	842.478	21,061.938				
	El Carrizal	20	1,923.829	38,476.573				
Subtotal			7,449.630	171,938.283	23.080	0.248	0.342	0.313
Total			38,834.290	830,948.483	21.397	0.2632	0.544	0.390

Fuente: Propia

Comparando los resultados de los dos métodos (Tabla 7.7), se puede observar que los cálculos de evapotranspiración por el Método de Coutagne son menores, por lo que se decidió usar estos valores en el balance hídrico superficial.

Tabla 7.7. Comparación de resultados de evapotranspiración

Subcuenca	Pp (mm)	Temp (°C)	Et Turc (mm)	Et Coutagne (mm)
Rio Zanjón	540.548	21.668	475.861	464.400
Rio San Miguel	554.420	20.551	478.772	470.827
Rio Sonora	489.797	20.541	439.075	424.530
Costa de Hermosillo-Zona Centro	302.406	21.423	298.830	278.335
Costa de Hermosillo-Zona Sur	342.280	23.083	335.048	313.217

7.4. Cambios de almacenamiento

El balance de agua da como resultado el cambio de almacenamiento, que físicamente consiste en el volumen de agua que representa el déficit o la recuperación del sistema o bien, en el caso de existir cuerpos de agua como presas, lagos o lagunas, el cambio en el volumen de estos cuerpos de agua.

En la Cuenca del Río Sonora se tienen 3 presas: Abelardo L. Rodríguez, El Molinito y El Teópari. Si consideramos las 2 últimas como de control y regulación de avenidas, se tomará en cuenta sólo el almacenamiento de la Abelardo L. Rodríguez (Tabla 7.8).

Tabla 7.8. Almacenamiento de la Presa Abelardo L. Rodríguez

Año	Almacenamiento inicial (Mm ³ /año)
1970	70.080
1971	74.900
1972	105.900
1973	35.410
1974	33.680
1975	61.484
1976	57.754
1977	65.309
1978	119.949
1979	123.649
1980	96.649
1981	101.669
1982	96.649
1983	110.739
1984	233.169
1985	293.489
1986	185.839
1987	189.907

Año	Almacenamiento inicial (Mm ³ /año)
1988	98.049
1989	147.109
1990	121.389
1991	194.479
1992	105.349
1993	205.849
1994	185.839
1995	186.383
1996	221.068
1997	121.869
1998	10.917
1999	0.000
2000	0.000
2001	64.434
Promedio	116.217

7.5. Infiltración

La infiltración o recarga al acuífero se obtuvo despejándola de la ecuación del Ciclo Hidrológico, considerando la evapotranspiración obtenida por el Método de Coutagne:

$$Inf = Pp - Esc - Evap \pm \Delta S$$

Los resultados pueden consultarse en la Tabla 7.9.

Tabla 7.9. Infiltración de las Subcuencas del Río Sonora

Subcuenca	Área (km ²)	Pp media (Mm ³)*	Et real anual (Mm ³)*	Pp-Et (Pp efectiva) (Mm ³)*	Coef. de escurrimiento	Escurrecimiento (Mm ³)*	ΔS	Infiltración (Mm ³)*
Río Zanjón	4,390.350	2,373.196	2,038.879	334.317	0.107	35.772		298.545
Río San Miguel	4,324.440	2,397.556	2,036.063	361.493	0.109	39.403		322.090
Río Sonora	12,081.450	5,917.463	5,128.938	788.525	0.108	85.161	116.217	587.147
Costa de Hermosillo-Zona Centro	10,588.420	3,201.999	2,947.128	254.871	0.083	21.154		233.717
Costa de Hermosillo-Zona Sur	7,449.630	2,549.633	2,333.351	216.282	0.085	18.384		197.898
Total	38,834.290	16,439.847	14,484.36	1,955.49		199.870	116.217	1,639.400

*Millones de metros cúbicos

Fuente: Propia

De la Tabla 7.9 se concluye que si la lluvia representa el 100%, la evapotranspiración sería igual al 88.10%, el escurrimiento al 1.21%, el cambio de almacenamiento equivale a 0.71% y la infiltración resultaría de 9.97%.

7.6. Resumen y comparación de resultados

Una vez obtenidos todos los valores de los procesos del ciclo para las Subcuencas del Río Sonora de este trabajo, se concentraron en la Tabla 7.9.

Con el fin de comparar los resultados de la actual tesis con uno similar elaborado por la Unison (2005), se incluye su tabla de resultados (Tabla 7.10). En dicho trabajo no se incluye la Subcuenca Costa de Hermosillo-Zona Sur; asimismo, como se dividieron las cuencas en subcuencas, se colorearon las tablas 7.9 y 7.10 para poderlas correlacionar.

En general los valores de ambos estudios están en rangos parecidos. Una diferencia es que el estudio de la Unison (2005) no considera el cambio de almacenamiento. Asimismo, los coeficientes de escurrimiento son diferentes, pero en dicha investigación no se explica cómo se obtuvieron. Los períodos de registro de datos de las estaciones climatológicas tampoco se señalan.

Tabla 7.10. Balance hidrológico de las Subcuencas del Río Sonora

Subcuenca	Área m ²	Pp total (Mm ³)*	Et real total (Mm ³)*	Pp efectiva (Mm ³)*	Coef. de escurrimiento	Volumen esc. dir. (Mm ³)*	Infiltración (Mm ³)*
Zanjón	4,318.348	1,737.904	1,685.770	52.140	0.053	2.763	49.377
San Miguel	4,231.157	2,061.074	1,833.137	227.937	0.088	20.058	207.879
Bacanuchi	1,602.314	798.540	694.575	103.964	0.096	9.981	93.984
Arizpe	2,286.307	1,148.081	994.132	153.949	0.079	12.162	141.787
Banamichi Alto	3,642.578	1,839.008	1,631.635	207.372	0.096	19.908	187.465
Banamichi Bajo	1,945.415	873.884	805.466	68.418	0.081	5.542	62.876
La Junta	1,978.838	911.386	835.254	76.133	0.071	5.405	70.727
Hermosillo	1,184.746	450.672	433.456	17.216	0.066	1.136	16.079
La Manga	1,713.164	558.816	545.371	13.445	0.034	0.457	12.988
Bacoachi	2,609.001	677.460	668.233	9.226	0.030	0.277	8.950
Noriega	5,351.420	1,482.985	1,453.901	29.083	0.038	1.105	27.978
TOTAL	30,863.287	10,379.364	9,458.797	929.800	0.073	77.690	880.089

*Millones de metros cúbicos

Fuente: Unison (2005)

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

1. La Cuenca del Río Sonora es una de las más grandes del Estado de Sonora, con una superficie de 38,834.29 km². Entre las poblaciones más importantes dentro de la zona están Hermosillo y Cananea. El área de estudio está comprendida dentro de la Región Hidrológica No. 9 (Sonora Sur), Cuenca D (Cuenca Río Sonora) y Cuenca E (Cuenca Río Bacoachi) (INEGI, 1981). Se encuentra localizada en las provincias Llanura Sonorense y Sierra Madre Occidental. La geomorfología nos indica la ubicación dentro de la Provincia de Sonora, en cuyo relieve predomina una planicie aluvial y de piedemonte, sobre la cual se asientan montañas.
El clima de la región varía de seco, semiseco a semicálido; con sus variantes de tipos cálido, semicálido y templado.
2. La subcuenca con mayor área es la del Río Sonora y la de menor área es la del Río San Miguel. Las áreas fueron medidas con el programa AutoCAD: Río Zanjón 4,390.350 km², Río San Miguel 4,324.440 km², Río Sonora 12,081.450 km², Costa de Hermosillo-Zona Centro 10,588.420 km², y Costa de Hermosillo-Zona Sur 7,449.630 km².
3. Con el método de Alvord se obtuvieron las pendientes de cada una de las subcuencas resultando de: Río Zanjón 2.61%, Río San Miguel 7.29%, Río Sonora 9.65%, Costa de Hermosillo-Zona Centro 1.75% y Costa de Hermosillo-Zona Sur 3.06%.
4. El orden de las subcuencas fue de 3 para el Río Zanjón, San Miguel, Costa de Hermosillo-Zona Centro y Zona Sur y de 4 para la Subcuenca del Río Sonora. Esto significa mayor velocidad de respuesta ante una entrada de agua y por tanto, menor recarga al acuífero.
5. El número de corrientes de las subcuencas fue de: Río Zanjón 16, San Miguel 15, Sonora 36, Costa de Hermosillo-Zona Centro 43 y Costa de Hermosillo-Zona Sur 15. La subcuenca con más corrientes fue la Costa de Hermosillo-Zona Centro, a pesar de que la del Río Sonora tuvo mayor orden de corriente.

6. La densidad de drenaje para cada una de las subcuencas fue de: Río Zanjón 0.08/km, San Miguel 0.108/km, Sonora 0.089/km, Costa de Hermosillo-Zona Centro 0.229/km y Zona Sur 0.046/km, siendo la mayor la de la Costa de Hermosillo-Zona Centro.
7. La densidad de corriente para cada una de las subcuencas fue de: 0.003/km² para el Río Zanjón y San Miguel, 0.0029/km² para el Río Sonora, 0.004/km² para la Costa de Hermosillo-Zona Centro y de 0.002/km² para la Zona Sur.
8. Se usaron datos de precipitación total anual, temperatura media anual y evaporación total anual de 10 estaciones climatológicas a lo largo de la Cuenca del Río Sonora, que varían de 1970 a 2001. La información fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
9. La precipitación promedio anual máxima calculada fue de 591 mm en la Estación Cucurpe y la mínima de 126 mm se registró en la Estación El Carrizal. La temperatura media máxima de 25 °C ocurrió en Hermosillo y la mínima de 16 °C, se presentó en Cananea. La evaporación total mínima de 1,943 mm se registró en la Estación Carbó y la máxima de 2,948 mm fue en la Estación Hermosillo. La evaporación excede por mucho a la precipitación.
10. La precipitación media de la cuenca fue obtenida por el método de los Polígonos de Thiessen. La máxima calculada ocurrió en la Subcuenca del Río Sonora (5,917.463 Mm³/año) y la mínima en Río Zanjón (2,373.196 Mm³/año).
11. La evapotranspiración real anual se obtuvo por el Método de Turc, ocurriendo la máxima en la Subcuenca del Río Sonora (5,304.664 Mm³/año) y la mínima en la Subcuenca del Río San Miguel (2,070.422 Mm³/año). Con el Método de Coutagne, la máxima fue de 5,128.938 Mm³/año y la mínima de 2,036.063 Mm³/año.
12. Se obtuvo la precipitación efectiva restando a la precipitación el valor de evapotranspiración real anual, siendo el valor máximo 788.525 Mm³/año para la Subcuenca del Río Sonora y de 216.282 Mm³/año para la Subcuenca Costa de Hermosillo-Zona Sur.
13. Por medio de la Norma Oficial Mexicana (NOM-011-CNA-2000) se obtuvieron los coeficientes de escurrimiento para cada una de las subcuencas del Río Sonora, a

- partir de una K ponderada, variando de 0.083 (Costa de Hermosillo-Zona Centro) a 0.109 (Río San Miguel).
14. Los coeficientes de escurrimiento obtenidos se multiplicaron por los volúmenes de precipitación efectiva para obtener los volúmenes de escurrimiento. El máximo escurrimiento fue en la Subcuenca Río Sonora ($85.161 \text{ Mm}^3/\text{año}$) y el mínimo en la Costa de Hermosillo-Zona Sur ($18.384 \text{ Mm}^3/\text{año}$).
 15. Se consideró sólo el almacenamiento promedio de la Presa Abelardo L. Rodríguez de los años 1970 a 2001, de $116.217 \text{ Mm}^3/\text{año}$, ya que las otras 2 presas presentes en la cuenca, se consideran de control de avenidas.
 16. La infiltración media de la cuenca en estudio se obtuvo despejando los 3 valores anteriores de la Ecuación del Ciclo Hidrológico. La máxima infiltración ocurrió en la Subcuenca Río Sonora y fue de $587.147 \text{ Mm}^3/\text{año}$, siendo la mínima de $197.898 \text{ Mm}^3/\text{año}$ en la Subcuenca Costa de Hermosillo-Zona Sur.
 17. Se concluye que el **balance hidrológico es positivo** para los años de 1970 a 2001, ya que se extrae menos agua que la que entra al sistema.
 18. En general, la Subcuenca del Río Sonora tiene una mayor área, su drenaje está más ramificado, tiene mayor precipitación media, evapotranspiración real media y escurrimiento medio.
 19. La evaluación hidrológica superficial de la Cuenca del Río Sonora establece que la lluvia representa el 100%, la evapotranspiración representa el 88.10%, el escurrimiento el 1.21%, el cambio de almacenamiento equivale a 0.71% y la infiltración resultaría de 9.97%.

8.2. Recomendaciones

1. Continuar realizando estudios hidrológicos como pruebas de bombeo, medición de niveles, geología a detalle, etc que sienten las bases para mejores interpretaciones y conocimiento de la zona.
2. Realizar balances hidrológicos superficiales y subterráneos cada año, para poder disponer con certeza del agua existente, sin menoscabo del ambiente.

3. Construir obras de recarga natural en los tramos perennes del Río Sonora y San Miguel, para introducir el agua al subsuelo y que no se evapore, ya que la evaporación es muy alta en toda la cuenca.

IX. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- APARICIO MIJARES, FRANCISCO J. 1999, Fundamentos de Hidrología de Superficie, Ed. Limusa Noriega Editores, 303 p.
- BAROJAS, PAUL, 2002, Balance Hídrico integral y alternativas de abastecimiento de agua: Caso Guaymas, Tesis de Licenciatura, Depto. de Geol. Univ. Son., 56 p.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA), 2007, Clasificación Hidrológica Regional Noroeste. Mapa digital propiedad de la Gerencia Estatal en Sonora.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA), 2007, Base de datos de estaciones climatológicas e hidrométricas localizadas en la Cuenca del Río Sonora y Costa de Hermosillo. Información proporcionada por el Ing. Gilberto Lagarda V., Serv. Meteorol. Nal.
- CUEVAS G., MIGUEL, 2002, Efecto de la temperatura diaria y estacional en la eficiencia de remoción de materia orgánica en un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales, en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. Tesis de maestría, Depto. Área de Ingeniería Ambiental Univ. Son., 120 p.
- FLORES W., EMIGDIO Z., 1978, Apuntes de Hidrología Superficial, Ed. Universidad de Sonora, 183 p.
- HERRERA SALAZAR, JOSÉ ENRIQUE, 2007, Propuesta para elaborar un modelo hidrogeológico conceptual y determinar la disponibilidad de aguas en una cuenca intermontana, aplicado a una porción del Río Sonora (Mazocahui – Arizpe), Tesis de Maestría en Ciencias-Geología, Depto. Geol. Univ. Son., 92 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 1981, Cartas Topográfica y Geológica, escala 1:250,000, Hermosillo (H12-8)
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 1993, Estudio hidrológico del Estado de Sonora, Ed. INEGI-Gob. Edo. Son., 186 p.
- LUGO-HUBP, JOSÉ, 1990, El relieve de la República Mexicana, Universidad Nacional Autónoma de México, Revista Inst. Geol., Vol. 9, No. 1, pp. 82-111.
- MARTÍNEZ PARADES, CRISTINA, 2005. Hidrogeología e hidrogeoquímica de los acuíferos Ures y Topahue, Cuenca Río Sonora, Mpio. Ures, Sonora. Tesis profesional. Depto. Geol., 88 p.

MIRANDA R., FRANCISCO ARIEL, 2004. Actualización geohidrológica y modelación de la parte centro – sur del acuífero Río Zanjón, Sonora. Tesis profesional. Depto. Geol., 71 p.

PLAN MUNICIPAL DE DESARROLLO 1997-2000, Tabla 1.1. Tipo y superficie agrícola de la Costa de Hermosillo, <http://www.sonora.gob.mx>.

SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO, 1994. Monografía Geológico-Minera del Edo. de Sonora. Consejo de Recursos Minerales. 220 p.

UNIVERSIDAD DE SONORA (UNISON), 2001, Estudio de cuantificación de la recarga del acuífero “Costa de Hermosillo”, Municipio de Hermosillo, Sonora. Informe final para la Comisión Nacional del Agua. 12 Capítulos.

UNIVERSIDAD DE SONORA (UNISON), 2005, Estudio geohidrológico de las subcuencas de los ríos Sonora, Zanjón, San Miguel, Mesa del Seri – La Victoria y Cuenca Bacoachito. Informe final para la Comisión Estatal del Agua. 11 Capítulos. Tomos I y II.

UNIVERSIDAD DE SONORA (UNISON), 2005, Estudio de piezometría y evolución de niveles, en la cuenca media y alta del Río Sonora y Río Bacoachi. Informe final para la Comisión Estatal del Agua, 10 Capítulos.

UNIVERSIDAD DE SONORA (UNISON), 2006, Estudio para determinar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Nacionales Superficiales en las cuencas de las Regiones Hidrológicas 08 y 09, Sonora Norte y Sur (Río Sonora), Informe final, 18 p.

VALENZUELA SALAS, LUIS HERMAN, 2003, Modelo conceptual hidrogeológico del sistema acuífero Costa de Hermosillo y simulación del flujo subterráneo. Tesis de Maestría en Ciencias-Geología, Univ. Son., 133 p.

WATTS T., C., 2009, Optimizar agua evitará tandeo: Investigador, Periódico El Imparcial, General, 3 de junio de 2009.

CITAS DE INTERNET:

<http://www.agua.uji.es/pdf/leccionHQ02.pdf>

http://www.aguastenerife.org/4_tfeyelagua/4_1_hidrometeorologia/4_1_6.html

Anexo I:

**Precipitación total anual (mm) de estaciones
climatológicas de los años de registro**

Cananea

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1970	5.5	18.9	29.9	18.1	0.0	35.7	114.0	83.2	50.5	12.5	2.1	5.2	376.0
1971	0.0	16.8	0.0	3.6	0.0	10.3	230.0	160.0	97.0	76.8	21.8	41.6	657.8
1972	0.0	0.0	0.0	0.0	38.8	68.8	66.1	69.3	29.0	88.0	18.1	41.5	419.6
1973	27.0	112.0	77.0	0.0	29.5	17.1	87.0	90.5	25.8	0.0	5.2	0.0	471.4
1974	95.5	0.0	4.5	0.0	0.0	12.9	123.0	119.0	24.3	60.5	19.1	0.0	457.8
1975	53.5	5.6	28.1	12.9	0.0	0.0	162.0	31.0	117.0	0.0	28.3	7.5	445.7
1976	9.0	81.7	0.0	40.3	3.5	15.0	117.0	50.5	113.0	25.0	22.7	27.0	504.4
1977	26.5	0.0	2.0	7.2	0.0	26.4	190.0	157.0	37.2	152.0	10.3	22.0	630.0

Carbó

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
1989	30	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	130.0	176.0	154.0	11.3	0.0	6.0	508.0
1990	2.1	41.9	2.58	0.0	0.0	26.23	200.0	105.0	114.0	12.1	31.0	65.0	600.0
1991	2.3	102.0	14.8	0.0	0.0	0.0	92.0	156.0	84.2	6.5	9.09	55.4	522.0
1992	43.6	64.0	73.0	1.19	0.0	0.0	88.0	124.0	71.9	7.34	0.0	148.0	621.0
1993	87.0	26.0	0.0	4.25	15.5	3.1	73.5	154.0	42.4	115.0	23.8	25.1	569.0
1994	0.0	24.4	5.35	0.0	0.0	6.2	80.0	120.0	65.1	2.0	172.0	171.0	645.0
1995	13.5	39.9	0.0	0.0	0.0	0.0	52.5	129.0	119.0	13.1	21.7	0.0	388.0
1996	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	10.3	231.0	135.0	0.0	8.9	0.0	7.5	394.0

Cucurpe

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
1989	32.0	1.0	15.1	0.0	10.0	3.1	204.0	137.0	57.4	58.1	0.0	14.3	532.1
1990	16.3	37.7	1.2	6.2	0.1	29.5	255.0	152.0	179.0	31.0	30.5	81.6	819.4
1991	31.1	66.6	59.0	0.0	0.0	11.9	75.7	148.0	32.0	8.2	21.1	111.0	565.0
1992	40.3	85.7	89.2	10.5	0.3	0.2	116.0	159.0	63.0	5.1	0.0	86.2	655.4
1993	312.0	90.9	12.2	0.1	0.3	4.2	164.0	146.0	39.6	50.3	55.0	25.2	899.9
1994	29.8	46.5	6.6	0.0	0.0	17.8	53.9	90.7	98.5	15.2	193.0	146.0	698.8
1995	29.1	96.4	16.1	0.0	0.0	2.1	41.3	99.4	22.9	49.1	28.0	4.3	388.7
1996	0.1	8.9	0.2	1.0	0.0	2.5	204.0	58.2	52.9	0.1	10.5	0.0	338.2

El Carrizal

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
1975	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.5	5.0	43.9	0.0	0.0	7.2	130.6
1976	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	48.0	12.0	42.4	8.0	10.3	7.0	130.4
1977	5.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	11.0	97.0	3.1	16.0	0.0	2.0	136.1
1978	6.0	68.6	1.0	2.1	0.0	0.0	23.0	36.0	7.2	15.0	14.5	36.0	209.4
1979	25.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	20.0	34.0	34.1	0.0	0.0	0.0	123.1
1980	0.0	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	5.0	18.6	5.0	0.0	7.0	61.0
1981	13.0	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	17.0	66.1	8.5	5.2	0.0	126.1
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	22.0	0.0	0.0	0.0	63.0	90.0

El Orégano

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
1980	7.5	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	93.6	156.0	13.0	0.0	0.0	3.5	285.4
1981	52.4	7.09	18.9	24.9	0.4	17.67	126	35.3	63.7	8.6	12.3	0.0	367.2
1982	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	118.0	92.0	31.6	0.0	27.0	99.2	379.0
1983	43.6	31.8	30.9	7.23	0.0	0.0	103.0	106.0	129.0	25.9	25.5	32.7	535.3
1984	54.4	0.0	0.0	3.3	1.8	28.0	174.0	111.0	77.4	43.8	13.2	111.0	617.7
1985	47.1	22.8	0.8	6.3	0.0	0.0	81.3	101.0	65.5	29.0	0.0	3.4	357.5
1986	2.6	29.7	0.7	27.7	62.9	5.68	125.0	115.0	70.6	1.0	3.92	39.0	483.2
1987	1.3	30.8	0.0	1.13	0.0	0.0	67.7	39.6	9.19	5.5	0.0	36.1	191.3

Estación Torres

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
1990	31.0	1.3	2.5	0.0	0.0	15.0	118.0	165.0	81.3	0.0	17.7	45.5	477.3
1991	1.5	50.3	0.0	0.0	0.0	0.0	29.5	134.0	62.1	0.0	33.6	145.0	456.0
1992	10.0	36.9	58.5	0.3	0.0	0.0	59.0	126.0	24.6	3.0	0.0	6.0	324.3
1993	10.0	21.6	1.0	9.3	3.5	33.1	37.0	43.0	12.9	9.5	10.9	18.0	209.8
1994	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	37.7	18.0	73.5	37.9	1.0	142.0	46.5	358.9
1995	11.0	37.6	3.0	0.0	0.0	0.0	74.5	99.0	86.6	0.5	1.8	0.0	314.0
1996	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	1.0	56.5	107.0	5.1	5.5	0.5	0.0	178.8
1997	0.5	3.3	0.0	0.2	0.0	0.0	55.5	30.5	11.9	3.5	7.2	52.0	164.6

1979	05.5	4.5	12.9	0.0	2.0	5.2	155.0	71.0	8.5	0.0	0.0	0.0	259.4
1980	8.5	68.9	0.0	0.0	0.0	34.9	157.0	107.0	103.0	0.0	0.0	5.0	484.5
1981	96.2	16.0	58.0	16.5	6.0	37.2	175.0	57.5	82.2	5.0	29.0	0.0	578.8
1982	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.0	130.0	1.9	112.0	111.0	49.3	522.9
1983	45.0	24.5	5.5	5.5	7.8	42.9	10.9	254.0	107.0	143.0	26.7	0.0	673.1
1984	51.9	0.0	0.0	6.2	21.0	31.0	284.0	171.0	4.5	33.5	22.2	187.0	811.3