

31  
29.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

INTRODUCCION AL ESTUDIO HIDROGEOGRAFICO  
Y BALANCE HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL  
RIO SONORA HASTA LA ESTACION  
HIDROMETRICA "EL OREGANO".

## T E S I S A

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A

ELOY INFANTE BLANCO



ASESORA: DRA. LAURA ELENA MADEREY



MEXICO, D. F.

1998.

263286

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

A mis profesores:

Dra. Laura Elena Maderey R.

Lic. Francisco Cruz N.

Mtro. Víctor Manuel Martínez L.

Mtro. Arturo Jiménez R.

Mtro. Cuauhtémoc Torres R.

A mis familiares

A mis compañeros

# **TESINA**

**INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO HIDROGEOGRÁFICO  
Y BALANCE HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL  
RÍO SONORA HASTA LA ESTACIÓN  
HIDROMÉTRICA “EL ORÉGANO”**

# ÍNDICE

	Pag.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA (LOCALIZACIÓN, LÍMITES Y EXTENSIÓN).	4
III. CARACTERÍSTICAS DE LOS FACTORES FISICOGEOGRÁFICOS DE LA CUENCA.	6
3.1	Relieve.
3.2	Geología.
3.3	Clima.
3.4	Suelos.
3.5	Vegetación.
IV. ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS DE LA CUENCA.	12
4.1	Temperatura.
4.1.1	Temperatura media anual
4.1.2	Temperaturas máximas y mínimas
4.2	Precipitación
4.2.1	Precipitación media anual
4.2.2	Precipitación de la época húmeda y de la época seca.
4.3	Vientos dominantes.
V. HIDROGRAFÍA DE LA CUENCA.	17
5.1	Río Sonora: Generalidades
5.2	Red hidrográfica de la cuenca del río Sonora hasta la estación hidrométrica "El Orégano".
5.3	Ciclo Hidrológico: Generalidades.
5.4	Fases del ciclo hidrológico y balance del agua de la cuenca.
5.4.1	Precipitación
5.4.1.1	Cálculo de la precipitación media anual (P)
5.4.2	Evapotranspiración
5.4.2.1	Cálculo de la evapotranspiración media anual (E)

5.4.3	Escurrimiento	
5.4.3.1	Cálculo del escurrimiento medio anual (Q)	
5.4.3.2	Relación entre precipitación y escurrimiento.	
5.4.4	Infiltración.	
5.4.4.1	Cálculo de la infiltración (I)	
5.4.5	Balance Hidrológico	
5.5	Aguas subterráneas	
5.5.1	Análisis y panorama de las características del agua subterránea en la cuenca del río Sonora.	
VI.	EL CICLO HIDROLÓGICO Y LAS ACTIVIDADES HUMANAS.	38
6.1	Distrito de riego No. 51, Hermosillo, Sonora.	
VII.	CONCLUSIONES.	42
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	43
	FIGURAS Y GRÁFICA COMPLEMENTARIAS	

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo comprende la Introducción al estudio Hidrogeográfico y Balance Hidrológico de la Cuenca del Río Sonora hasta la Estación Hidrométrica “El Orégano”. Dicha estación funge como límite de la regionalización hidrotopográfica en este trabajo.

Las aguas de lluvia o de cualquier otra fuente al escurrir por los declives del terreno, van formando arroyos y éstos al juntarse con otros más grandes forman una corriente principal, como es el caso del río Sonora. Este conjunto de corrientes forman una cuenca hidrográfica, que se determina por la superficie de la cual capta las aguas. Por lo regular los grandes ríos desembocan en el mar; el río Sonora se pierde en la planicie costera del Estado de Sonora.

La ordenación de una cuenca supone la planeación para el aprovechamiento de todos los recursos naturales de la misma y su entorno, de manera que beneficie a todos sus habitantes, tanto en el presente como en el futuro lejano. Entre los beneficios que acarrea se encuentran, el control de ríos para evitar inundaciones, la prevención de la erosión del suelo y por ende frena el éxodo creciente de agricultores hacia las grandes urbes, entre otros.

Este estudio, por lo tanto, resulta importante para el conocimiento del volumen de agua de la cuenca para su mejor aprovechamiento. Sobre todo porque se trata de una región del noroeste de la República Mexicana en donde los escurrimientos son escasos y el clima es árido. Es por esto que la cuantificación del balance hidrológico de la zona es relevante para la racional utilización del recurso agua.

En base al concepto de cuenca se establecen las características de los factores fisicogeográficos de la cuenca de estudio como son: relieve, geología, clima, suelos y vegetación. También, se analizan los elementos climáticos de la cuenca como: temperatura media anual, temperaturas máximas y mínimas, precipitación media anual, precipitación de la época húmeda y de la época seca, así como los vientos dominantes. Esta información se obtuvo a través de las cartas temáticas de

estos aspectos de la S.P.P. y del INEGI, cuya fuente se precisa en cada figura de los temas mencionados.

En lo que respecta a la hidrografía de la cuenca, se describen algunas generalidades del río Sonora, así como también se mencionan ciertos aspectos de la red hidrográfica de la cuenca en cuestión.

Como parte inherente en este trabajo, se comentan ciertas características del proceso del ciclo hidrológico en un contexto general ( océano - atmósfera - tierra - océano). El conocer parte de las leyes que rigen en el ciclo hidrológico es de suma importancia para la mejor utilización del recurso agua y sobre todo, para un desarrollo armónico entre el hombre y el vital líquido.

Por lo anterior, en el presente trabajo se determinan y cuantifican las fases del ciclo hidrológico dentro de la cuenca de estudio, como son: precipitación, evapotranspiración, escurrimiento e infiltración.

Posteriormente, se hace referencia a las aguas subterráneas, ya que este recurso cobra especial valor dentro de la cuenca, debido a que es uno de los principales aprovisionamientos para el desarrollo de las actividades humanas. Así mismo, también se establece la relación de los acuíferos de la zona con las fases del ciclo hidrológico, principalmente con la infiltración y el escurrimiento.

En donde la cantidad de agua infiltrada (recarga de los acuíferos) más el escurrimiento (registrado por la estación hidrométrica), forman una sola unidad, que es el escurrimiento total; esto se debe a que los acuíferos están a poca profundidad, lo que indica que alimentan al río y éste los alimenta a ellos.

Finalmente, se hace notar la importancia del ciclo hidrológico de la cuenca de estudio dentro de las actividades humanas. Así como también, se mencionan algunos de los principales problemas que hay con respecto a la sobreexplotación de los mantos acuíferos que subyacen al Distrito de Riego No. 51, a pesar de que dicho complejo agrícola no pertenece a la zona de estudio, pero si a



la cuenca general del río Sonora y además, de que, de alguna manera, recibe el escurrimiento superficial generado en la cuenca de estudio.

## II. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA (LOCALIZACIÓN, LÍMITES Y EXTENSIÓN).

La cuenca del río Sonora se encuentra enclavada en la parte centro - septentrional del estado de Sonora y se encuadra dentro de las coordenadas  $28^{\circ} 52'$  -  $31^{\circ} 00'$  de latitud norte y en los  $109^{\circ} 45'$  -  $110^{\circ} 45'$  de longitud oeste (Figura 1 y 2). Tiene una superficie de  $11,800 \text{ km}^2$  hasta la estación hidrométrica "El Orégano", la cual funge como límite de regionalización hidrotopográfica para este trabajo.

El estado de Sonora comprende las siguientes regiones hidrológicas, de acuerdo a la división de la República Mexicana, realizada en base a las cuencas naturales (Dirección General de Geografía del Territorio Nacional - INEGI), que originalmente fueron establecidas por la Dirección de Hidrología de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, hoy Comisión Nacional del Agua: 7, río Colorado; 8, Sonora Norte; 9, Sonora Sur; 10, Sinaloa; y 34, Cuencas Cerradas del Norte (Figura 3). Dichas regiones pertenecen a la Vertiente Occidental de la Sierra Madre Occidental que drena en el océano Pacífico, a excepción de la última que corresponde al sistema de regiones que conforman la vertiente interior.

De las anteriores regiones hidrológicas resalta por su importancia la número 9, Sonora Sur, pues da cabida a los principales ríos de la entidad (Mayo, Yaqui, Mátape, Sonora y Bacoachi), de sus cuencas se capta el 98.9% del volumen total de almacenamiento del estado. El principal uso del agua es el agrícola, en segundo término el doméstico y comercial y finalmente el pecuario e industrial.

De forma contraria, la región de menor relevancia es la número 34, ello resulta como consecuencia de la pobre extensión dentro del Estado y por la escasa repercusión económica que le presenta.

La región hidrológica 9, Sonora Sur, abarca las porciones noreste, este, centro y sur de Sonora (Figura 3), tiene una superficie en territorio mexicano (Sonora y Chihuahua), de  $137,504$

Km<sup>2</sup>, de los cuales 117,363 se encuentran dentro de la entidad, lo que representa el 64.5% de la extensión estatal. Está conformada por las cuencas de los ríos Mayo, Yaqui, Mátape, Sonora y Bacoachi, consolidándose como la región hidrológica de más importancia del estado, como se dijo, dadas las características específicas de cada una de las cuencas que la conforman.

### III. CARACTERÍSTICAS DE LOS FACTORES FISICOGEOGRÁFICOS DE LA CUENCA.

#### 3.1 Relieve.

El relieve de la cuenca de estudio es accidentado, existe un desnivel altitudinal de un poco más de 2000 m, cuya gradual elevación va de sur a norte, encontrándose la mayor diferencia altitudinal del centro a la parte boreal de la cuenca. La altitud más baja es de 500 m y la más alta de 2650 m (Figura 2).

Esta región hidrotopográfica se encuentra dentro de las siguientes provincias fisiográficas (clasificación de la Secretaría de Programación y Presupuesto, esc. 1:000000): Sierra Madre Occidental y Llanura Sonorense, principalmente, y Sierra y Llanuras del Norte. La primera abarca aproximadamente el 75% de la cuenca; a su vez dentro de esta provincia se encuentra la subprovincia fisiográfica Sierras y Valles del Norte. En la parte norte de la cuenca encaja una pequeñísima cuña de la subprovincia Llanuras y Medanos del Norte, perteneciente a la provincia Sierras y Llanuras del Norte. Por otro lado, dentro de la provincia Llanura Sonorense se encuentra la subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses, abarcando ésta junto con la provincia Sierras y Llanuras del Norte, el 25% restante de la cuenca (Figura 4).

En lo que respecta a la subprovincia Sierras y Valles del Norte, se encuentran en su mayoría sierras altas. Por el lado este se encuentran las siguientes: Sierra Las Palomas, Sierra El Bellotal, Sierra Del Carmen; al noreste: Sierra Buenos Aires y Sierra los Ajos; por el oeste las sierras: Aconchi, Los Hornitos y San Antonio; en el noroeste se encuentra la Sierra Azul; al norte: la Sierra El Manzanal y Sierra Cananea o Elenita, donde, en ésta última nace el río Sonora. En el interior de las sierras del este y del oeste se localizan lomeríos y valles intermontanos, siendo en estos sistemas de topofomas donde se asientan las poblaciones de Mazocahui, Baviacora, Aconchi, Huepac, Banamichi y Arizpe; y por donde escurre el río Sonora. Al poniente y al oriente de la sierra El Manzanal, también se encuentran dos valles intermontanos, el del río Bacanuchi (afluente del Sonora) y el de la parte norte del río Sonora. En el valle que se encuentra al oriente de dicha

sierra, se localiza la cabecera municipal de Bacoachi. Hacia el norte se encuentra Cananea, población que queda situada dentro de lo que es el sistema de sierras altas (Figura 2 y 4).

Al noreste del municipio de Cananea encaja una pequeña cuña dentro de la cuenca, constituida por valles con laderas tendidas, de la subprovincia de Llanuras y Medanos del Norte, perteneciente a la provincia Sierras y Llanuras del Norte.

En lo que concierne a la porción de la subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses, de la provincia Llanura Sonorense, está representada por una serie de sierras con asociaciones de lomeríos de no gran relevancia, siendo la más significativa la Sierra Mazatán, que se encuentra al suroeste de la cuenca de estudio. También se encuentran algunos lomeríos y bajadas en las inmediaciones a las sierras. Por último, en la parte más baja, destaca una llanura aluvial que va dejando a su paso el río Sonora, en la cual se asienta el municipio de Ures.

### **3.2 Geología.**

Las formaciones geológicas de esta zona están bastante diversificadas, ya que son reflejo de la gran actividad geológica que ha prevalecido en esta región. Sobresalen en mayor proporción las rocas sedimentarias como los conglomerados del Terciario, siguen las rocas ígneas intrusivas ácidas del Cretácico y en menor proporción se encuentran las rocas ígneas extrusivas del Terciario (Figura 5).

Por lo que respecta a los conglomerados del Terciario, éstos se distribuyen en casi toda la cuenca, alternando con ígneas extrusivas del Terciario y en pequeñas proporciones conjugándose también lutitas y areniscas del Jurásico Superior y Cretácico Inferior. En la parte noreste alternan junto con todas las anteriores, rocas calizas del Paleozoico y rocas ígneas intrusivas del Mesozoico. En una estrecha franja, diagonal al sur del valle central de la cuenca, afloran rocas ígneas intrusivas del Cretácico. Por el lado suroeste de la cuenca aparecen los conglomerados del Terciario junto con rocas ígneas extrusivas, también del mismo periodo.

Por otra parte, los esfuerzos tensionales que afectaron la región en el Mioceno Medio, provocaron una serie de fallamientos normales, que dieron lugar a la formación de fosas tectónicas, en las cuales quedaron emplazados los principales embalses subterráneos, además de que también se formó un sistema de sierras y valles paralelos con orientación norte-sur; en donde este paralelismo se puede constatar con la dirección que guardan los escurrimientos de los ríos Sonora, San Miguel y Zanjón, siendo estos dos últimos afluentes del primero, y que se unen al río Sonora, aguas abajo de la estación hidrométrica "El Orégano" (Figura 3).

Simultáneamente a la génesis de estas estructuras se presentó un volcanismo de carácter esencialmente basáltico, aparejado con el depósito de sedimentos continentales, pertenecientes a la formación Báucarit, que se distribuyen sobre los valles recién originados, como es el caso de los ríos arriba citados (INEGI, 1993. p.41).

Por lo anterior, se puede decir que el factor estructural reviste capital importancia dentro de la cuenca, ya que condicionó la presencia de los mantos acuíferos, así como también la disposición de la red hidrográfica. Además, se puede aseverar de que existe una relación de las corrientes con la dirección del flujo del agua subterránea (INEGI, 1993. op.cit.p.43).

Cabe mencionar que la mayor parte del cauce del río Sonora se desarrolla sobre material reciente del Cuaternario, como son: boleos, gravas, arenas, limos y arcillas. El área de este material se amplía hasta los alrededores de lo que es el Distrito de Riego No. 51, Hermosillo, Son.

En esta región existen importantes yacimientos minerales, lo cual obedece a la dinámica geológica que se ha suscitado en esta área. Así, se pueden encontrar minas de cobre, al norte de la cuenca, cercanas a la población de Cananea; al oeste y al suroeste de la población de Bacoachi se encuentran yacimientos de oro y plata respectivamente; al oriente de Arizpe se encuentran también minas de cobre y plomo; al norte de Banamichi existen yacimientos de plomo y zinc, también al este de esta misma población se encuentran depósitos de oro.

### 3.3 Clima.

Antes de hablar propiamente del clima de la cuenca, cabe mencionar que ésta se encuentra situada alrededor de los 30° de latitud norte, y por lo tanto, queda enclavada dentro de la faja subtropical de altas presiones, por lo que sus vientos son descendentes y secos, y que aunado a la orografía y a la corriente fría marina de California, da por resultado la peculiaridad de climas tanto en la cuenca como todo el noroeste de México.

#### Tipos de climas semisecos BS<sub>1</sub>

Dentro de este tipo se agrupan el subtipo semiseco templado, BS<sub>1</sub> Kw(x') , el cual se caracteriza por tener régimen de lluvias intermedio entre verano e invierno, % de precipitación invernal mayor de 10.2, verano cálido; se localiza en la parte norte de la cuenca y al este y oeste de la parte media de la misma. En menor extensión le sigue, el subtipo semiseco semicalido, BS<sub>1</sub> hw(x'), con régimen de lluvia intermedio entre verano e invierno, % de lluvia invernal mayor de 10.2, invierno fresco; y se identifica al interior de la cuenca (Figura 6).

#### Tipos de climas secos BSo

Este tipo de clima engloba al subtipo seco semicalido, BSo(hw(x') , con régimen de lluvias intermedio entre verano e invierno, % de precipitación invernal mayor de 10.2, invierno fresco; se localiza en el valle central del río Sonora y al suroeste de la cuenca. Dentro de este tipo también se encuentra, el subtipo seco muy cálido y cálido, BSo(h')hw(x'), con régimen de lluvias intermedio entre verano e invierno, % de precipitación invernal mayor de 10.2, cálido; se identifica en toda la planicie aluvial de Ures y lugares contiguos.

#### Tipos de climas muy secos BW

Pertenece a este, el subtipo muy seco muy cálido y cálido, BW(h')hw(x'), con régimen de lluvias intermedio entre verano e invierno, % de precipitación invernal mayor de 10.2, cálido; se

identifica al norte y sur de Babiacora y en las inmediaciones a la estación hidrométrica "El Orégano".

### Grupo de climas templados C

Dentro de este grupo se encuentra el grupo templado subhúmedo, C(Wo)(x'), con régimen de lluvias intermedio entre verano e invierno y % de lluvia invernal mayor de 10.2; se localiza al noreste de la cuenca, en la Sierra Los Ajos, a una altitud por arriba de los 2000m.

## 3.4 Suelos

Los tipos de suelos que se tienen en esta región son: Regosoles, Litosoles, Cambisoles, Xerosoles, Feozem y Luvisoles. Una de las características en común de todos estos suelos, es que se pueden encontrar por lo general en casi todos los climas, además, de que son muy susceptibles a la erosión (Figura 7).

Los regosoles eútricos ocupan toda la cuenca, conjugándose con los otros tipos de suelo que conforman la región. Su textura es mediana y gruesa.

Siguen por su extensión en la cuenca, los litosoles, que se encuentran en las partes elevadas del norte de la cuenca y al sur de la misma, en la Sierra Mazatán. No presentan un gran desarrollo y su textura es mediana.

Los cambisoles eútricos y crómicos quedan ubicados al sur de Cananea hasta al población de Banamichi a lo largo del río Sonora, interrumpiéndose en un tramo al sur de Arizpe; localizándose también en el valle del arrollo Bacanuchi que se encuentra al noroeste de la cuenca. Son suelos jóvenes y de textura mediana.



Por último se tiene, en menor proporción que todos los anteriores, los luvisoles crómicos, los cuales se localizan en el sureste de la cuenca; son suelos que pueden estar sujetos a la erosión debido a que se encuentran en pendientes. Su textura es mediana.

### **3.5 Vegetación .**

La vegetación que prevalece en la cuenca de estudio es de climas secos y semisecos. Además, la flora de la cuenca tiene un gradual cambio que va de norte a sur o viceversa; este cambio obedece a la topografía y al clima (Figura 8).

De esta manera, en el norte de la cuenca se tiene: pastizal natural con encino bajo, bosque de pino, y en los dos valles que se encuentran al oriente y poniente de la Sierra El Manzanal (el del río Sonora y el del arrollo Bacanuchi respectivamente), se combina la vegetación de pastizal inducido con mezquital y matorral espinoso. Por elevación del relieve en la Sierra de Los Ajos se tiene la comunidad de vegetales de pino-encino.

En el centro de la cuenca, en lo que es el valle central, el tipo de vegetación que más abunda, es el matorral subtropical, alternándose con comunidades de mezquital. En menor proporción al este y oeste del mismo valle, se encuentran bosques de pino y pequeñas zonas de pino-encino como consecuencia del cambio de topografía de la zona.

Al sur de la cuenca el tipo de vegetación dominante es el mezquital, en menor proporción se encuentra el matorral subtropical y el matorral sarcocaulé. En la parte alta de la Sierra Mazatán se encuentra vegetación de pino.

Por otra parte, aunque el clima es seco, prospera una gran línea de agricultura de riego comprendida en los terrenos aluviales del río Sonora. Se consideran como las zonas de mayor importancia agrícola el valle central de la cuenca y los lugares aledaños del municipio de Ures.

## IV. ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS DE LA CUENCA.

### 4.1 Temperatura.

La temperatura del aire es un elemento importante que se debe tener en cuenta en el análisis de los elementos meteorológicos y su influencia en el régimen de las aguas terrestres. Influyen en el régimen de evaporación de las precipitaciones, en el escurrimiento y en embalses naturales y artificiales.

#### 4.1.1 Temperatura media anual.

Para efectos de este estudio, corresponde analizar la temperatura media anual (TMA), la cual se deriva de las temperaturas medias mensuales.

La temperatura atmosférica es la cantidad de calor que hay en la atmósfera y que proviene principalmente del sol (radiación solar) y en forma irradiada de la superficie terrestre. Se mide en grados centígrados (°C).

Entre los factores que condicionan la temperatura en la zona de estudio se encuentran: las llamadas calmas descendentes, la orientación y topografía (altitud) del terreno, así como la vegetación.

La temperatura disminuye con el aumento en la altitud y, lógicamente, aumenta al disminuir la altitud (Figura 9). Es por esto que las poblaciones de Baviacora, Ures y demás lugares aledaños situados a una altitud menor de 1000 m, en la parte baja de la cuenca, tienen temperaturas de 22 a 24 °C. Aumentando de 24 a 26 °C en las inmediaciones a la estación hidrométrica "El Orégano", donde la altitud es menor a 500 m. Por otro lado, en lo que corresponde al valle central de la cuenca, se encuentran temperaturas de 20 a 22 °C, disminuyendo en proporción con la altitud hacia ambos lados de esta parte de la cuenca, hasta los 16 °C. En lo que respecta al norte de esta

región hidrotopográfica, continua la disminución de la temperatura conforme aumenta el relieve, llegando de los 16 hasta los 12°C en lo que corresponde la Sierra los Ajos y en la Sierra de Cananea o Elenita, donde la altitud aumenta hasta 2000m.

#### **4.1.2 Temperaturas máximas y mínimas promedio.**

Antes de abordar el análisis de estos parámetros cabe recordar que la mayor parte de la cuenca del río Sonora se encuentra dentro de la zona templada del país y en la zona extratropical, por lo que, las diferencias de temperatura se encuentran bien marcadas a lo largo de las estaciones del año.

Como se ha venido mencionando anteriormente, la temperatura en el área de estudio, aumenta o disminuye en relación al relieve.

En la época húmeda (mayo-julio), las temperaturas máximas promedio oscilan entre los 27 y 36 °C, localizándose la isoterma de 36 en el suroeste de la cuenca, englobando poblaciones como Ures y lugares aledaños a la estación hidrométrica "El Orégano" (Figura 10 A); la de 27 se localiza en las estribaciones de la Sierra Los Ajos y Sierra Elenita. En contraste, las isotermas mínimas promedio fluctúan entre los 9 y los 18 °C, identificándose la de 9 en las Sierras Los Ajos y Cananea; la de 18 se ubica en el valle central de la cuenca y en las faldas de la Sierra Mazatán.

En la época seca (noviembre-enero), las temperaturas máximas promedio oscilan entre los 15 y los 24 °C, localizándose la isoterma de 15 en las elevaciones de las sierras Los Ajos y Elenita (Figura 10 B); la de 24 se identifica al oeste de Mazocahui y suroeste de la cuenca, en las faldas de la Sierra Mazatán. En contraste, las isotermas mínimas promedio de esta época oscilan entre los 0 y 6 °C, encontrándose la isoterma de 0 en las partes bajas de las sierras: El Bellotal, Del Carmen, Buenos Aires, Los Ajos, El Manzanal, Azul, San Antonio, Los Hornitos y Aconchi; la de 6, se localiza en el suroeste de la cuenca.

Por lo visto en los párrafos anteriores se deduce que la máxima promedio más alta es mayor de 36 °C y se localiza al suroeste de la cuenca en la parte más baja. La mínima promedio más baja se encuentra en las partes más altas de la cuenca, en su parte norte y media; su valor es menor de los 0 °C.

## **4.2 Precipitación.**

### **4.2.1 Precipitación media anual.**

Debido a que la cuenca de estudio se encuentra al norte del trópico de cáncer, alrededor de los 30° de latitud norte, se presenta la influencia de las calmas tropicales, en donde viajan los vientos secos de la alta atmósfera que dificultan o impiden las lluvias. La zona norte es por lo tanto, la zona de lluvias escasas del país.

Otro aspecto importante que influye en que no existan abundantes lluvias en la región, es la corriente marina de California, que es fría, y que no favorecen ni la evaporación ni la precipitación. En consecuencia, las costas del pacífico y lugares aledaños son menos húmedos.

Por lo anterior, y por lo registrado en la carta de precipitación media anual, se desprende que la mayor parte de la cuenca tiene una precipitación de 400 a 500 mm, es decir, que su volumen es escaso y el régimen de lluvias es semiárido. Sólo se presentan lluvias de origen convectivo en el verano y debido a algunas perturbaciones subtropicales y aun extratropicales en el seno de los vientos del oeste, en el invierno.

Por otra parte, la precipitación disminuye hasta los 300-400 mm en las inmediaciones a la estación hidrométrica "El Orégano" y en el sur del valle central de la cuenca (las zonas más bajas). En las elevaciones a la periferia de la cuenca, la lluvia se incrementa, teniendo una precipitación media anual que varía de 500 a 600 mm. Aumenta de 600-700 mm en una pequeña parte que co-

responde a la Sierra Los Ajos, ya que este aumento se debe a lluvias de tipo orográfico, en donde generalmente la precipitación aumenta con la altitud (Figura 11).

#### **4.2.2 Precipitación de la época húmeda y de la época seca.**

Como en casi todo el territorio nacional de México, la temporada de lluvias corresponde a las estaciones de verano y otoño. La lluvia que recibe la cuenca de estudio es mayor dentro de estas estaciones. Además, cabe señalar que la precipitación en la cuenca es escasa, por lo que su régimen de lluvias es semiárido. La causa de esta aridez, como se mencionó, es la posición geográfica de la región.

En relación a la época húmeda (mayo-octubre), la mayor parte de la cuenca se encuentra entre los 325-400 mm de precipitación media; teniendo su mayor valor en las sierras: Los Ajos, Azul, Cananea, San Antonio, con un registro de 400 a 475 mm (Figura 12).

En contraste, durante la época seca (noviembre-abril), los valores que se presentan en la mayor parte de la cuenca son de 100-125 mm. Encontrándose la menor precipitación de 75-100 mm, en el suroeste de la región y en centro del valle de la misma; quedando aquí comprendidas las poblaciones de Banamichi, Huepac y Ures.

#### **4.3 Vientos dominantes.**

Como se ha comentado, la cuenca de estudio se encuentra dentro de las calmas subtropicales, situación que condiciona la carencia de precipitaciones pluviales.

Durante la mitad caliente del año con el desplazamiento hacia el Norte de la zona subtropical de alta presión, la zona de los alisios aumenta en intensidad, latitud y altura, por lo que el área de estudio se ve favorecida por este fenómeno.

Durante la mitad fría del año, tanto la faja subtropical de alta presión como la zona de los alisios se desplaza hacia el sur, dominando los vientos del oeste en la cuenca de estudio. En el invierno, la influencia del frente polar ocasiona situaciones meteorológicas que se manifiestan en precipitaciones.

Para observar el comportamiento del viento dominante durante el año dentro de la cuenca de estudio, se tomaron como referencia dos observatorios. Hermosillo y Nacozari (Atlas Nacional de México, UNAM), mismos que se encuentran en los alrededores del área de estudio. El primero cubre una altitud de 200-1000 m y se ubica al sur de la cuenca, en donde el viento sopla en las direcciones: N, NE, E, SE, SW y W, para todos los meses del año, salvo en el NE(sopla de enero a marzo y de septiembre a diciembre) y SW (sopla de marzo a octubre y diciembre); la frecuencia y velocidad es en general de 5% y 2 a 4 m/s respectivamente. En este observatorio se registra un 62% de calmas.

El otro observatorio se localiza al noreste de la cuenca, cubre una altitud de 1000 a 2000 m en donde el viento sopla en las direcciones: N, SE, S, SW y NW; en el N y S el viento incide en todos los meses del año, con frecuencias de hasta 25 y 45% respectivamente y velocidades en el sur de 4-6 m/s. En los demás puntos cardinales el viento sopla con una frecuencia en promedio de 6 %, ausentándose en algunos meses de la primavera y verano; las velocidades son de 2 a 4 m/s. Registrándose en este observatorio un 6% de calmas.

## V. HIDROGRAFÍA DE LA CUENCA.

### 5.1 Río Sonora: Generalidades.

El río Sonora ocupa el tercer lugar en la ya mencionada región hidrológica No. 9, en cuanto a extensión de cuenca y magnitud de aportaciones, las que se almacenan y regularizan en la presa Abelardo L. Rodríguez, lugar por donde se le une por la margen derecha su afluente, el río San Miguel de Horcasitas, y hasta donde se tiene una área de captación de 21,900 km<sup>2</sup> (Figura 13). El río recorre 294 km. hasta vertir sus aguas en la presa.

Aguas abajo de la presa el río discurre por zonas planas hasta su desembocadura en el estero Tastiota del Golfo de California (Figura 13). En este último tramo el curso del río es indefinido y los escasos volúmenes que se escurren generalmente se infiltran en zonas arenosas antes de llegar a su desembocadura. En esta zona baja, los principales afluentes del río Sonora son: el arroyo La Manga, por la margen derecha y los arroyos La Poza y del Bajío por la margen izquierda, que cruza el Distrito de riego Hermosillo, donde se utilizan sus aguas antes de que descarguen en el colector general.

Como afluente importante al río principal se tiene, el río San Miguel de Horcasitas, el cual nace al norte de la población de Cucurpe, tiene una longitud de 166 km, con pendiente media de 0.77% (INEGI, 1993.op.cit.p.63) y dirección norte-sur hasta las cercanías de Rayón donde cambia al suroeste hasta la ciudad de Hermosillo. El afluente de mayor relevancia es el río Zanjón, captado por la margen derecha. El río San Miguel tiene una cuenca de 8,427 km<sup>2</sup>, que representa el 40% del área drenada hasta la presa.

## **5.2 Red Hidrográfica del río Sonora hasta la estación Hidrométrica “El Orégano”.**

La cuenca de estudio esta situada en la parte centro-septentrional del estado de Sonora y en el oeste de la región hidrológica No. 9 (Figura 3), cubre una extensión de 11,800 km<sup>2</sup> ubicados totalmente dentro de la entidad, posee una precipitación media anual de 424.1 mm y una pendiente general que va de fuerte, en el extremo norte, a baja, en el suroeste de la cuenca.

Por el norte colinda con la cuenca Bacanora-Mejorada (perteneciente a la región hidrológica No. 7); por el norte y oriente con las cuencas de los ríos Bavispe y Moctezuma, afluentes del Yaqui; por el suroriente con el río Mátape y el arroyo La Bandera; por el norponiente con la cuenca del río concepción; por el oeste con la cuenca del río San Miguel; y por el surponiente con la presa Abelardo L. Rodríguez y la ciudad de Hermosillo (Figura 3).

La topografía de la cuenca es accidentada. Existe en ésta un desnivel altitudinal de un poco mas de 2000 m, cuya gradual elevación va de sur a norte. La altitud máxima se localiza en la Sierra Los Ajos a una elevacion de 2600 m y la mínima se identifica en el suroeste de la cuenca alrededor de los 500 m.

El rasgo hidrográfico más notable es el río Sonora que nace en la Sierra Elenita o Cananea y recorre 250 km hasta la estación hidrométrica “El Orégano”. Durante su desarrollo, el río conserva una pendiente media de 0.38% (INEGI, 1993.op.cit.p.62) y dirección preferencial norte-sur hasta Mazocahui, donde cambia al suroeste hasta la Cd. de Hermosillo.

Como se mencionó, el río Sonora nace en la Sierra Elenita o Cananea, su rumbo general de la cuenca alta es hacia el sur, donde recibe como único afluente de importancia al río Bacanuchi, el que se origina en la Sierra Elenita y en la Sierra Azul, a una elevación de 2000 y 1500 msnm respectivamente, y confluye por el lado oeste a la corriente principal. Por el lado noreste de la cuenca se unen al río Sonora los arroyos Los Nogales y Los Álamos, que nacen en la Sierra Los Ajos y Sierra Buenos Aires respectivamente. Aguas arriba de Ures confluye el río Sunibiate, esto es, por



es, por el lado oeste al escurrimiento principal. Al sur se encuentra el afluente San Francisco, el cual proviene de la Sierra Mazatán y cuya cuenca de captación es de gran amplitud (Figura 14).

Por otra parte, la cuenca general a la cual pertenece esta región de estudio es exorreica. En general, la red fluvial que describe la cuenca en cuestión es de tipo dendrítica, salvo en la parte media de la misma, en donde la configuración de la red es paralela, constituido todo el sistema fluvial por numerosos ríos y arroyos de carácter intermitente, es decir, que solo llevan agua en la temporada de lluvias, excepto el río sonora que se considera de régimen permanente.

### 5.3 Ciclo hidrológico.

El agua es uno de los grandes recursos que ofrece la naturaleza y al mismo tiempo es una de las riquezas indispensables para la vida del hombre y para sus actividades productivas. Acertadamente se ha dicho que “Nuestra Tierra es hija del Sol y del Agua”.\*

El ciclo hidrológico es la manera o el proceso mediante el cual se realiza el abastecimiento de agua para los seres vivos en la Tierra. Su fundamento es que cualquier gota de agua en cualquier momento recorre un circuito cerrado y este circuito o círculo puede cerrarse por distintas vías.

Como resultado de la acción de energía solar sobre las superficies libres de agua y en las tierras emergidas, se evaporan anualmente unos  $577.10^3 \text{ km}^3$  de agua.\*\* De este volumen una gran parte ( $458.10^3 \text{ km}^3$ ) se evapora directamente de los océanos y mares y regresa a éstos en forma de precipitaciones. Este recorrido se repite ininterrumpidamente y es conocido como ciclo hidrológico simple (oceano-atmósfera-oceano).\*\*\*

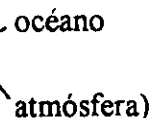
---

\* Gorsky, citado por Bassols B. A., 1980. p.128

\*\* González Piedra Ivan, 1984. p.19

\*\*\* González P.I. op.cit.p.cit.

El contenido de humedad atmosférica proveniente del océano se precipita en el continente en forma de lluvia, nieve, rocío, escarcha y granizo. Al precipitarse el agua sobre la tierra puede entonces seguir variados recorridos. Así, la lluvia o nieve que cae sobre la tierra, puede en parte volverse a evaporar, otra parte puede ir a parar a los cuerpos de agua como son las presas, lagos y ríos; estos últimos pueden desembocar en mares y océanos y otra parte más puede penetrar dentro del suelo, donde suministra la humedad al terreno, y se infiltra también hacia los mantos freáticos. El agua infiltrada puede volverse a emerger en las fuentes y otra parte penetra más profundamente. Por otra parte, las plantas absorben agua por las raíces y la expulsan por los estomas mediante la transpiración. Así mismo, los animales beben agua y la expulsan como vapor por la respiración y como líquido por el sudor y la orina. Los microorganismos absorben y desalojan el agua a través de su membrana celular. Finalmente para concluir, estos volúmenes de agua, regresan en su mayor parte al océano por distintas vías y distintos lapsos de tiempo, haciendo posible la repetición constante del proceso, tanto en tierra como en el océano. Y a este proceso se le conoce en la ciencia hidrológica como ciclo hidrológico complejo\* (océano-atmósfera-tierra



Ahora bien, la expresión matemática del ciclo hidrológico se llama ecuación hidrológica cuya representación es la siguiente:

$$P = E + Q + I \dots [ 1 ]$$

En la cual:

- P Es la precipitación
- E Es la evaporación
- Q Es el escurrimiento superficial
- I Es la infiltración

---

\* González P. I. op.cit. p.20

## **5.4 Fases del Ciclo Hidrológico y Balance de Agua de la Cuenca.**

Como se explicó, al conjunto de todos los procesos de transformación térmica del agua en la Tierra se le llama ciclo hidrológico. A continuación se analizan sus fases en la cuenca de estudio:

### **5.4.1 Precipitación.**

La precipitación, a la vez que es un elemento principal del clima, resulta muy importante en el análisis del balance hidrológico de las cuencas, ya que constituye uno de los parámetros esenciales en la cuantificación del recurso agua.

Todos los abastecimientos de agua, incluyendo aguas superficiales de lagos, ríos, pantanos, manantiales y las que existen o que circulan a través de los estratos del subsuelo, derivan esencialmente de la precipitación. Por tal motivo, es importante el estudio de las lluvias, ya que están relacionadas directamente con el escurrimiento superficial y el flujo de las aguas subterráneas.

La lluvia y su distribución se relacionan también con problemas de agricultura, riego, drenaje, abastecimientos públicos y privados, protección contra las inundaciones, regulación de las avenidas, ríos, etc.

En general, la fuente principal de la precipitación es el agua evaporada del océano y de las superficies húmedas.

Los océanos, que cubren las tres cuartas partes de la superficie de la tierra, constituyen la fuente principal de la humedad atmosférica que posteriormente da lugar a la precipitación.

La mayor parte de la lluvia se produce por el enfriamiento expansivo del aire húmedo, cuando asciende debido a la circulación ciclónica, a la presencia de una barrera orográfica o por convección. Por lo tanto, la precipitación varía de acuerdo a la localización del área considerada, con respecto a la circulación de la atmósfera y el relieve.

En la cuenca de estudio, como se vio anteriormente, la época de lluvias es en verano y en otoño, aunque en invierno también llueve. Las lluvias de verano son de origen convectivo y debido a algunas perturbaciones subtropicales y aun extratropicales en el seno de los vientos del oeste, en el invierno.

Las escasas precipitaciones que se presentan en la cuenca son debido a que ésta se encuentra dentro de la faja subtropical de altas presiones, por lo que sus vientos dominantes son descendentes y secos, que dificultan o impiden las lluvias.

Durante la mitad caliente del año (verano) con el desplazamiento hacia el norte de la zona subtropical de alta presión, la zona de los alisios aumenta en intensidad, latitud y altura \* por lo que prácticamente todo el país queda bajo la influencia de los vientos alisios que soplan con una dirección original de NE a SW en su superficie o de E a W en las alturas, recogiendo humedad del Golfo de México. Es por esta razón que las precipitaciones aumentan en el verano en la cuenca de estudio.

#### **5.4.1.1 Cálculo de la Precipitación Media Anual (P).**

El método más exacto para estimar los valores medios de los distintos fenómenos de la cuenca es a través de las isolíneas. En este caso, también se hizo el cálculo con la estación meteorológica Banamichi, que se localiza en el centro de la cuenca. Esto, con el objeto de calificar que tan válido resulta utilizar los datos de dicha estación hacia el fenómeno que interesa.

Para obtener este dato se consultó la carta de precipitación media anual de la S.P.P. esc. 1:1000000, la cual cuenta con la información pluviométrica de la zona de estudio. Así, de las ocho estaciones meteorológicas existentes en la cuenca, se creyó pertinente tomar en cuenta la estación Banamichi, debido a que geográficamente se encuentra en el centro de la cuenca, y que

---

\* García, E. Apuntes de Climatología, 1985. p.93

por lo tanto, los datos que aporta, resultan representativos de las condiciones medias del área de estudio.

La estación propuesta registra una lámina de precipitación media anual de 424.1 mm. (Cuadro 1). Para avalar lo anterior, al efectuar el cálculo de la precipitación media anual por medio del método de isoyetas, se obtuvo una cantidad de 458.3 mm, la cual es muy semejante a la de la estación meteorológica propuesta .

CUADRO 1. TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL DE LA CUENCA DE ESTUDIO

CLAVE: 26-078; NOMBRE DE LA ESTACIÓN: BANAMICHI; LAT. 30° 00', LON. 110° 13'; 1050 m.s.n.m.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
T14	13.3	14.6	16.5	20.2	24.5	29.0	29.3	28.3	27.3	23.0	17.3	13.7	21.4
P14	20.9	13.3	13.2	1.9	5.1	16.5	166.2	104.9	31.7	17.6	9.6	23.2	424.1

Para calcular el volumen medio de agua llovido en toda la cuenca de estudio, se empleo la siguiente ecuación:

$$V = (P) (A_i) \dots [2]$$

donde:

V = Volumen medio anual

P = Precipitación media anual

$$A_i = 11,800 \text{ km}^2$$

A<sub>i</sub> = Área de influencia

Sustituyendo los valores en la ecuación [2], se tiene que el volumen medio anual precipitado es de 5004.3 millones de m<sup>3</sup>.

#### 5.4.2 Evapotranspiración.

La evapotranspiración es otro elemento que forma parte en la interacción del ciclo hidrológico y por ende, constituye otro parámetro esencial en la ecuación del balance hídrico. Su importancia resulta trascendente, porque como bien se sabe, aproximadamente las dos terceras partes del agua que se precipita en el territorio mexicano, se pierde por evaporación y transpiración. Si a

todo lo anterior se le agrega que la zona de estudio se encuentra dentro del predominio de climas secos, se agudiza más este aspecto.

En hidrología se habla de evapotranspiración, cuando los dos efectos ( evaporación y transpiración) se engloban en una sola variable.

La evaporación es el paso del estado líquido al gaseoso del agua. El fenómeno de la evaporación se origina de cualquier superficie húmeda y de las superficies de agua que estén en contacto con aire no saturado de humedad. La evaporación se puede verificar desde: el suelo, de las corrientes de los ríos u otros cuerpos de agua, en las superficie de nieves y hielos (sublimación), entre otros. La transpiración se da a través del follaje de las plantas.

Existen dos tipos de evaporación: la meteorológica o potencial y la hidrológica o real. La evaporación hidrológica es la que interesa para efectuar el balance hidrológico.

La cuenca de estudio es una región seca debido a que llueve muy poco. Se caracteriza porque el aumento de la precipitación corresponde aun aumento de la evaporación. Esto indica que, de la cantidad total de agua que se precipita en la cuenca, regresa nuevamente a la atmósfera una cantidad casi igual. Lo anterior pone de relieve la importancia del poder evaporante de la atmósfera.

#### **5.4.2.1 Cálculo de la Evapotranspiración (E).**

Como se mencionó, el método más exacto para determinar este valor es a través de las isolinneas, no obstante, se determino este parámetro por medio de otros métodos explicados más adelante. Lo anterior se debe a la inconveniente distribución de las estaciones meteorológicas dentro y fuera de la cuenca.

Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizaron dos procedimientos. Uno, que es a través de la fórmula de Turc, cuyos datos para este método se tomaron de la estación meteorológica Banamichi (cuadro I), que como se dijo, resultan representativos de las condiciones medias del área de estudio. El otro método utilizado para calcular este parámetro fue a través de la fórmula más simple del ciclo hidrológico ( $P = E + Q$ ), despejando  $E = P - Q$ , dado que se ajusta a las condiciones hidrológicas de la cuenca, en donde la infiltración es omitida debido a que no se aprecia este fenómeno como tal, dentro de la cuenca, salvo en los acuíferos que subyacen al río Sonora, esto, a causa de las condiciones del clima (seco) que prevalecen en ella. Por lo que respecta a la precipitación y al escurrimiento, se cuenta con los datos de escurrimiento total y volumen precipitado en la cuenca.

El total de agua que se evapora en un territorio, incluyendo la que se lleva a cabo desde el suelo desde superficies líquidas, desde la nieve y el hielo (volatilización o sublimación) y por transpiración, se denomina evapotranspiración o evaporación total.

Para el cálculo de esta fase del ciclo hidrológico en la cuenca de estudio se utilizó el método de Turc (para valores medios anuales), que emplea la siguiente fórmula:

$$Et = \frac{P}{\sqrt{\frac{0.9 + P^2}{L^2}}}$$

donde:

Et = Evapotranspiración real anual (mm)

P = Precipitación media anual (mm)

$L = 300 + 25t + 0.05t^3$

Se escogió el método de Turc, debido a que solo se cuenta con datos de temperatura media anual y precipitación media total anual. Otros métodos requieren de otra información meteorológica como: radiación, insolación, etc.

Los datos empleados para el cálculo con la estación se encuentran en el cuadro I. Al sustituir éstos valores en la ecuación de Turc se obtuvo una evapotranspiración real de 423.5 mm, que multiplicada por el área de la cuenca (11,800 km<sup>2</sup>), da un volumen evapotranspirado de 4,997.3 millones de m<sup>3</sup>, cifra que comparada con la del volumen medio anual llovido en la cuenca, que es de 5,004.3 millones de m<sup>3</sup> (424.1 mm), muestra la importante cantidad de agua que absorbe este elemento dentro del ciclo hidrológico, y que por lo tanto resta contenido a las demás fases del ciclo, afectando así, principalmente, al agua de escurrimiento.

Maderey, 1977.p.40, considera que la fórmula de Turc da resultados más aproximados en las zonas calidohúmedas que en las zonas secas en las que, inclusive, conduce a valores de cero escurrimiento, en lugares donde si existe dicho fenómeno.

En el caso de la cuenca de estudio, de la diferencia de los valores arriba mencionados, entre lo llovido (424.1 mm) y lo evapotranspirado (423.58 mm, según Turc), da una cantidad de 7.0 millones de m<sup>3</sup> (0.6 mm) destinada al escurrimiento principalmente, y en menor proporción quizá, si es que existe, a la infiltración. Ahora bien, esta cantidad para la parte escurrida resulta irregular en relación al volumen captado por la estación hidrométrica "El Orégano", que es de 114'639,295 m<sup>3</sup> (9.7 mm). Situación que conlleva a abordar este análisis desde otra perspectiva.

Para cuantificar la evapotranspiración de manera más aproximada se optó por determinar ésta a partir de la fórmula más simple del ciclo hidrológico, la cual se expresa:  $P = Q + E$ , en la que P es la precipitación media anual, Q es el escurrimiento medio anual y E las pérdidas de agua por evaporación.

Despejando E, la ecuación queda de esta manera:



$$E = P - Q \dots\dots[3]$$

Datos :                   \*Nota: ver el capítulo sobre infiltración, en donde se explica que la suma del volumen medio de agua escurrido en la cuenca (registrado por la estación hidrométrica) más el volumen de recarga de los acuíferos que subyacen al río, forman una sola unidad que es el escurrimiento total.

P = 424.1 mm

\*Q = 24.6 mm

Sustituyendo los datos en la ecuación [3], se tiene que el volumen medio anual evaporado es de 4,714.1 millones de m<sup>3</sup> (399.5 mm).

Para finalizar, cabe enfatizar que el método de Turc muestra un panorama general del volumen de agua evapotranspirado en la cuenca, en base a los datos que lleva implícita la fórmula (temperatura y precipitación), mientras que el último procedimiento empleado para calcular la misma, es más aproximado a la realidad.

### 5.4.3 Escurrimiento.

Otro de los parámetros necesarios en la cuantificación del balance hídrico es el escurrimiento, y para entender éste, se parte del análisis de su concepto y de ciertas características del mismo, para posteriormente concretar en el escurrimiento de la cuenca de estudio.

El escurrimiento superficial viene a ser aquella parte de la lluvia que no se pierde por evaporación, ni se infiltra; es la parte de la lluvia que aparece en las corrientes superficiales.

El agua que forma a las corrientes procede de dos fuentes:

1. Aquella parte de la lluvia que va directamente a las corrientes superficiales
2. Aquella porción de la lluvia que penetra al subsuelo para aflorar posteriormente como manantiales y correr sobre la superficie, la cual, en general, es la fuente principal de las corrientes en tiempo de sequía. Una parte de esta agua infiltrada puede penetrar a los estratos profundos y alejarse del área de desagüe, reapareciendo en valles inferiores o áreas distintas, o aun en el mar.

De las condiciones físicas de una cuenca, especialmente de su naturaleza geológica, depende la constancia o intermitencia del régimen de las corrientes que alimenta. Las formaciones volcánicas, cuando tienen grandes cantidades de lavas porosas y arenas, regularizan mucho el régimen de estiaje, debido a que durante la época de aguas estas formaciones almacenan gran cantidad de agua, que van liberando poco a poco, siendo en ocasiones muy bajo el escurrimiento de avenidas.

En cuanto a las corrientes alimentadas por manantiales, sus aguas pueden proceder indirectamente de la lluvia, que en general es la fuente principal, o bien de aguas juveniles, que provienen del interior de la litosfera.

El mayor o menor carácter torrencial de las corrientes depende de muchos factores, especialmente los debidos a la climatología, geología y a la forma de la cuenca. En una cuenca de naturaleza impermeable, el escurrimiento será, en condiciones semejantes, mucho mayor y más rápido que en una de naturaleza permeable. Cosa semejante se puede decir de una cuenca de vertientes escarpadas por fuertes pendientes, comparada con otras que presente llanos, lagos o pantanos, donde las aguas se regularizan más, se pierde por evaporación o infiltración, disminuyendo en general el escurrimiento.

La mayor o menor población forestal tiene también gran influencia en el escurrimiento superficial, pues los bosques regularizan en parte dicho escurrimiento, además de la defensa que constituye contra los fenómenos erosivos.

#### **5.4.3.1 Cálculo del Escurrimiento (Q).**

En apartados anteriores se establecieron las características de los principales factores que afectan al escurrimiento en una cuenca. A continuación se describe el cálculo para la determinación del escurrimiento superficial de la cuenca de estudio.

Para determinar el escurrimiento superficial medio anual en el área de estudio, se utilizaron los datos de aportaciones mensuales anuales de la estación hidrométrica "El Orégano" (C.N.A.), la cual funge como limite en la regionalización hidrotopográfica de este análisis. Posteriormente a partir de dicha información se obtuvo el escurrimiento medio mensual y anual para el período 1942-1990 (Cuadro 2).

Los datos generales son los siguientes:

**Cuadro 2**

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA GERENCIA DE AGUAS SUPERFICIALES E INGENIERÍA DE RÍOS												
ESTACIÓN: "EL ORÉGANO" CORRIENTE: RÍO SONORA CUENCA: RÍO SONORA COORDS.: LAT. 29° 13', LONG. 110° 42'; ALT. 272 m.s.n.m. ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL Y ANUAL EN m <sup>3</sup> PERIODO 1942-1990										CLAVE: 09017 REGIÓN: 09 SONORA SUR ESTADO: SONORA		
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
7178040	4049408	3425710	4635350	221877	360040	27431850	4643670	12243610	5542930	1103080	6182530	114'639,295

En la determinación del escurrimiento en un área de estudio, lo más adecuado es el empleo de la información que se registra en las estaciones hidrométricas (Langbien, citado por L. E. Maderey, 1977.p.39), es decir valores reales, pero desafortunadamente no en todos los casos es posible únicamente su utilización, pues muchas veces existen desviaciones y aprovechamientos del líquido, aguas arriba de la estación, que impiden que los datos en ella registrados, sean en realidad los que corresponden a los generados por la cuenca que se trate.

En el caso de la cuenca de estudio, si existen aprovechamientos en el transcurso del río, por lo que la estación hidrométrica no registra el volumen real escurrido. Además de que, también, se extrae agua subterránea, que se emplea junto con el agua de escurrimiento para las diversas actividades humanas que se desarrollan en la zona.

En el valle del río Sonora existen acuíferos (Figura 15), que se encuentran en depósitos aluviales de poco espesor, en los cuales, la mayoría de los aprovechamientos se hacen a través de norias y algunos pozos, cuya principal fuente de recarga la constituye, principalmente, la infiltración fluvial del río Sonora; y según la carta hidrológica de aguas subterráneas (S.P.P.), se conside-

ra que la descarga de estos acuíferos es sobre el río Sonora. Por lo que se puede decir en este caso, que no existe percolación del agua que llegue a formar verdaderos mantos acuíferos. Por lo tanto, el agua de escurrimiento superficial (río) como la del escurrimiento subterráneo, forman un solo conjunto, que es el escurrimiento total.

Para cuantificar el volumen real escurrido de la manera más aproximada, al volumen de agua registrada en la estación se le sumó el volumen de recarga que alimenta a los acuíferos, quedando el escurrimiento total de la manera siguiente:

Escurrimiento registrado en la estación hidrométrica "El Orégano"	= 114.6 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
* Recarga de los acuíferos por infiltración fluvial del río Sonora	= 176.0 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Escurrimiento total	= 290.6 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>

#### 5.4.3.2 Relación entre precipitación y escurrimiento.

Cabe recordar que las condiciones climáticas que imperan en la región de estudio no son muy prósperas, lo cual se pone de manifiesto en la poca precipitación y en los altos índices de evaporación, en donde este último aspecto se traduce en la existencia de un escaso escurrimiento superficial del agua. Así, de esta forma, todos estos factores hacen de la región, una zona árida.

Para tener una idea más clara de la cantidad de agua que se precipita y de la que escurre dentro de la cuenca de estudio, se representaron en una gráfica estos parámetros del ciclo hidrológico (Gráfica 1). Para ello, se utilizaron los datos medios mensuales del escurrimiento, en milímetros, de la estación hidrométrica "El Orégano", durante el periodo 1942-1990. Se consideró además, la información sobre precipitación media mensual, en milímetros, de la estación meteorológica Bananmichi, pues, como se ha expuesto, los datos que aporta la misma resultan representativos para toda el área de estudio.

---

\* Gerencia de Aguas Subterráneas (C.N.A.)

Al analizar la gráfica, se observa que, el escurrimiento es considerablemente mínimo en comparación con el volumen precipitado. La lamina de escurrimiento de mayor importancia se presenta en los meses de julio, agosto y septiembre; siendo en agosto cuando alcanza su mayor altura que es de 3.9 mm, pese a que la mayor precipitación se presenta en el mes de julio. Aunque mínima, también se observa una lámina de escurrimiento en diciembre y enero, en el invierno.

Lo anterior se explica debido a que, cuando se presentan las lluvias en la cuenca, lo hacen de manera torrencial (suficiente), siendo el mes de julio el de mayor precipitación. Así, durante este mes, el suelo queda relativamente saturado de humedad y por lo tanto, a partir de este momento principia el escurrimiento, lo cual se puede visualizar en la barra de la gráfica durante el mes de agosto, cuya precipitación, es menor que la del mes precedente. Por otra parte, en invierno se tiene la influencia de los frentes fríos que producen precipitación en la cuenca, tan importante como en septiembre y octubre, final de la época de lluvias. Esta lluvia de invierno produce la pequeña lámina de escurrimiento de esta estación.

#### **5.4.4 Infiltración.**

La infiltración es otro componente en la ecuación del balance hídrico.

La infiltración es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Es un importante proceso que provee agua para casi todas las plantas terrestres y para muchos animales; alimenta el agua subterránea y a la vez a la mayoría de las corrientes de agua en el período de estiaje, reduce las inundaciones y la erosión del suelo. Por lo tanto, la infiltración es un proceso de gran importancia económica.

##### **5.4.4.1 Cálculo de la infiltración (I).**

Como se mencionó, la región se caracteriza por su aridez, la cual se refleja en el tipo de vegetación o en la falta de humedad de los suelos, debido a la escasa precipitación que existe y a los altos índices de evaporación que se dan en la zona.

Si se atiende a la fórmula de Turc (como se comentó en el capítulo de evapotranspiración), se puede constatar que la evapotranspiración absorbe la mayor cantidad de agua (423.4 mm) en relación a la cantidad precipitada (424.1 mm), afectando de esta manera al escurrimiento y por ende a la infiltración, traduciéndose esta última variante en una cantidad nula.

Para demostrar lo anterior, de la ecuación [1] se despeja I (infiltración), quedando la nueva ecuación de esta manera:

$$I = P - (Q + E) \dots\dots\dots [ 4 ]$$

#### DATOS

P = 424.1 mm ( Precipitación media para toda la cuenca)

Q = 9.7 mm ( Estación hidrométrica)

E = 423.5 mm ( Según Turc).

Sustituyendo los datos en la fórmula, da como resultado la cantidad de - 9.1 mm, lo que viene a corroborar la nula infiltración que se suscita en el área de estudio. Ahora bien, esta cantidad negativa no quiere decir de que no exista tal fenómeno, pero si se puede afirmar de que esta fase resulta intrascendente a comparación con las demás fases del ciclo hidrológico. Lo anterior se debe a que la infiltración se presenta en la parte superior del suelo, donde el agua retorna a la atmósfera por medio de la evaporación, debido al movimiento capilar o por medio de la transpiración de las plantas. Además, cabe aclarar que la fórmula de Turc es empírica, es decir, no es un método exacto, más sin embargo, da una idea de la cantidad de agua que se evapotranspira.

En el caso de la cuenca de estudio, solamente en los acuíferos que se localizan en el valle del río Sonora es donde se aprecia el fenómeno de la infiltración. Cuya alimentación de dichos embalses proviene principalmente, de la infiltración fluvial, es decir, del mismo río; así como también, la descarga de estos acuíferos se efectúa sobre el río Sonora, esto debido, al poco espesor del material de relleno ( aluvial ) que cubren las fosas donde se asientan los mantos acuíferos y al afloramiento de roca basal que impide la infiltración a niveles inferiores. De esta manera, como se dijo,

el agua que corre por el río como la de los acuíferos constituye un solo conjunto, que es el escurrimiento total, debido al intercambio constante del líquido.

Así la cantidad de agua infiltrada en la cuenca corresponde a la recarga fluvial, que según los datos aportados por la gerencia de aguas subterráneas ( C.N.A. ), el volumen anual es de 176.0 millones de m<sup>3</sup> (cuadro 2). Esta última cifra más el escurrimiento registrado en la estación hidrométrica " El Orégano", 114.6 millones de m<sup>3</sup>, dió como resultado el escurrimiento total, que es de 290.6 millones de m<sup>3</sup> (24.6mm).

#### 5.4.5 Balance Hidrológico.

##### BALANCE HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "EL ORÉGANO"

CUENCA	mm.	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	% de la (P)
Área = 11,800 Km <sup>2</sup>			
Precipitación (P)	424.1	5,004.3	100.0
Evapotranspiración (E)	399.5	4,714.1	94.2
Escurrimiento superficial (Q)	24.6	290.6	5.8
Infiltración (I)	0	0	0
Acuíferos (Recarga)	14.9	176.0 /anual	3.5
(Extracción)	13.8	164.0 /anual	
Escurrimiento E.Hidrométrica "El Orégano"	9.7	114.6	2.3

La precipitación media anual se calculó a través de la estación meteorológica Banamichi, la cual representa las condiciones medias de la cuenca y cuyo resultado no difiere mucho del obtenido a través del método de Isoyetas, el cual no convino utilizar por carecer de estaciones meteorológicas en las partes altas de la cuenca, lo que impide el cálculo de la precipitación media correspondiente a las zonas limitadas por la isoyetas máximas de 500mm y 600mm.

La evapotranspiración media anual se infirió a partir de la fórmula más simple del ciclo hidrológico ( $P = E + Q$ ), en donde  $E = P - Q$ . Esta fórmula se ajusta a las condiciones de la cuenca, debido a que no hay infiltración por ser una zona seca.

El escurrimiento medio anual resultó de la suma del escurrimiento registrado en la estación hidrométrica "El Orégano" más la recarga de los acuíferos que subyacen a dicho río y los acuíferos (que se encuentran a poca profundidad) y que finalmente se integra al escurrimiento.

La infiltración en la zona cobra poco valor como consecuencia del clima predominantemente seco, lo cual es reflejado en los altos índices de evapotranspiración.

## **5.5 Aguas Subterráneas.**

### **5.5.1 Análisis y panorama de las características del agua subterránea en la cuenca del río Sonora.**

Los principales embalses subterráneos en el estado de Sonora se generaron a raíz de la tectónica distintiva del Mioceno. Además, durante la era Cenozoica, a la cual pertenece este último periodo, se encuentra también representada por eventos volcánicos ácidos del Terciario medio y por el depósito de sedimentos areno-conglomeráticos que rellenaron las fosas tectónicas, originadas en esta época (carta hidrológica de aguas subterráneas, INEGI, 1:250000).

Existen 41 zonas geohidrológicas registradas por la Comisión Nacional del Agua (C.N.A.) para el estado de Sonora, de estas, 17 son las más importantes, ya que descargan el 93.3% de las extracciones de agua ocurridas en la entidad ( INEGI, 1993. op.cit.p.78). Y dentro de éstas últimas se incluye la zona río Sonora, la cual es de incumbencia de este tema de estudio.

Los acuíferos en la cuenca de estudio son de tipo libre y se localizan en depósitos Terciarios y Cuaternarios; están constituidos principalmente por conglomerado, grava, arena y arcilla. Se



sitúan en el área tres embalses, siendo el principal el acuífero Sonora, de menor dimensión se encuentran el Bacanuchi y Bacoachi (Figura 15).

El acuífero Sonora está constituido por el valle del río Sonora, ubicado en una fosa tectónica rellena en su base por sedimentos de la formación Baucarit del Terciario medio y cubierto por depósitos aluviales recientes de poco espesor, como son: boleos, gravas, arenas, limos y arcillas.

El valle del río Sonora presenta una forma alargada de orientación norte-sur, suroeste, lateralmente esta rodeado por elevaciones impermeables entre las que sobresalen las sierras Bellotal y Verde, en el extremo este, y la de Aconchi en el oeste.

Los acuíferos del área, que como se mencionó, son de tipo libre, tienen valores de transmisibilidad que varían entre  $1 \times 10^{-3}$  y  $8 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{seg}$  (INEGI 1993. op.cit.p.97), emplazados en depósitos aluviales recientes. El nivel estático medio del acuífero Sonora es de 4.5m, los de Bacanuchi y Bacoachi tienen 7.8m y 11.5m respectivamente.

La explotación del agua subterránea, se efectúa con el auxilio de 640 aprovechamientos (Cuadro 2) en su gran mayoría norias, se extrae un volumen medio de 164 millones de  $\text{m}^3$  con caudales promedios de 33 l.p.s., para cada obra, y en el caso de los pozos los diámetros de tubería de descarga fluctúan entre 5.1 y 25.4 cm.

La principal fuente de recarga del acuífero lo constituye la infiltración fluvial, principalmente del río Sonora, y es del orden de 176 millones de  $\text{m}^3$  anuales, cifra que comparada con la extracción media anual que es de 164 millones de  $\text{m}^3$ , permite visualizar una condición hidrológica equilibrada. Además, cabe señalar que la descarga de estos acuíferos es sobre el río Sonora, debido al poco espesor del material de relleno y al afloramiento de la roca basal, que impide la infiltración a niveles inferiores. Por lo que, tanto el acuífero como el río, formarían una sola unidad, debido al intercambio constante del vital líquido.

De acuerdo con las cotas sobre el nivel del mar de los niveles estáticos, el flujo subterráneo tiene una dirección preferente norte-sur, que coincide con el escurrimiento del río Sonora (carta hidrológica de aguas subterráneas, INEGI, 1:250000).

En general, la calidad del agua es buena con ligera tendencia a tolerable, ya que la concentración de sólidos totales disueltos está entre 400 y 800 mg/l, la relación de Ph revela la existencia de aguas agresivas e incrustantes, predominando la familia calco-sódica, magnésica-bicarbonatada, sulfatada, según el método de Chase Palmer. En el sur de Cananea (acuífero Bacoachi) existe la excepción a este respecto, pues la calidad del agua varía de tolerable a salada; como consecuencia de la contaminación por las aguas de desecho de la obra minera.

Debido a la escasez de recursos hidráulicos superficiales en el área de estudio, la explotación del agua subterránea tiene una gran demanda. Los principales usos a los que se destina este recurso son en orden de importancia: agrícola, público, doméstico e industrial (Cuadro 3).

CUADRO 3. DATOS GRALES. DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CUENCA DE ESTUDIO

REGIÓN	CLAVE GEOH.	ZONA GEOHIDROLÓGICA	ACUÍFERO	REGIÓN HIDROLÓGICA	CUENCA	APROVECHAMIENTOS ACTIVOS	RECARGA (Mm <sup>3</sup> /año) R	EXTRACCIÓN (Mm <sup>3</sup> /año) E	DIFERENCIA R-E (Mm <sup>3</sup> /año)
II	SON24	RÍO SONORA-SAN MIGUEL	SONORA	09	RÍO SONORA	538	157.00	150.00	7.00
II	SON27	RÍO SONORA-SAN MIGUEL	BACOACHI	09	RÍO SONORA	52	11.00	8.00	3.00
II	SON28	RÍO SONORA-SAN MIGUEL	BACANUCHI	09	RÍO SONORA	50	8.00	6.00	2.00
<b>TOTAL</b>						<b>640</b>	<b>176.00</b>	<b>164.00</b>	<b>12.00</b>

FUENTE: GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, C.N.A.

CUADRO 4. USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CUENCA DE ESTUDIO.

ACUÍFERO	AGRÍCOLA (Mm <sup>3</sup> /año)	PÚBLICO (Mm <sup>3</sup> /año)	DOMESTICO (Mm <sup>3</sup> /año)	INDUSTRIAL (Mm <sup>3</sup> /año)
SONORA	108.00	41.00	1.00	0.00
BACOACHI	7.00	1.00	0.00	0.00
BACANUCHI	6.00	0.00	0.00	0.00

FUENTE: GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, C.N.A.

## VI. EL CICLO HIDROLÓGICO Y LAS ACTIVIDADES HUMANAS.

Como se apuntó, la cantidad de agua más importante en la cuenca de estudio para el desarrollo de las actividades humanas, se encuentra en los mantos acuíferos, ya que la disponibilidad de agua superficial en la zona es reducida, debido a la escasa precipitación que se presenta. Aunque también existen aprovechamientos hidrológicos superficiales como son bordos, abrevaderos y una pequeña presa en el arroyo la Junta, además de que, las aguas del río Sonora son utilizadas para riego de sus márgenes.

En el transcurso del río existen áreas donde se desarrolla la agricultura, principalmente en las planicies del Ures y Aconchi; también existen vegas de anchura variable en las riveras del mismo, entre 250 y 2500 m, aptas para llevar a cabo tal practica; además, los suelos que predominan en estas partes son muy fértiles para obtener excelentes cosechas. En general, en toda el área, los principales cultivos son: trigo, maíz, frijol, alfalfa, sorgo, cartamo, ajonjolí, cebada, soya, chile, avena, papa, ajo, nogal, cacahuete y hortalizas; además de que hasta en Ures se produce caña de azúcar, frutas y tabaco; esto, debido a la presencia de un microclima con características de zonas tropicales, y que es generado como consecuencia de la topografía peculiar del lugar.

También en la zona se practica la actividad pecuaria, principalmente se cría ganado: bovino, equino, mular, caprino y porcino.

La minería es otro de los oficios que se desarrollan en la zona, en donde el recurso agua forma parte de los insumos básicos para el desarrollo de la misma. Entre los lugares donde se lleva a cabo tal práctica se encuentran: Cananea, donde se extrae cobre y sus derivados; en San Felipe de Jesús, que cuenta con un establecimiento de minería mediana, donde se procesan metales como el plomo, zinc; además de que también se extrae oro, plata y cobre en menor cantidad.

Finalmente se destaca que, por fortuna, los acuíferos de la cuenca de estudio no han presentado problemas de abatimiento, a comparación con el valle de Hermosillo, en donde el problema se agudiza con la intrusión de agua marina, según los datos aportados por la C.N.A., existe un equili-

brio hidrológico en los embalses subterráneos de la cuenca, ya que la extracción del agua (164.0 millones de m<sup>3</sup>) es superada por la recarga (176.0 millones de m<sup>3</sup>).

### **6.1 Distrito de riego No. 51, Hermosillo Son.**

El distrito de riego No. 51 no se localiza dentro de la cuenca de estudio, no obstante se considero importante comentar algunos aspectos de éste, puesto que una parte del complejo agrícola queda emplazado en la cuenca general del río Sonora y además recibe el escurrimiento superficial generado en la cuenca de estudio.

El distrito citado, es una planicie ubicada al suroeste de Hermosillo, delimitada hacia el este por serranías de poca altura que no rebasan los 250 msnm; hacia el norte se extiende la llanura aluvial y hacia el sur y oeste se encuentra el Mar de Cortés. Los aprovisionamientos de agua para el complejo agrícola son los acuíferos y la presa Abelardo L. Rodríguez, la cual capta los escurrimientos del río Sonora, que son utilizados para el riego del valle (Figura 14).

Desde 1948, con la llegada de los primeros colonos a la región, se inicio la explotación del agua subterránea en forma intensiva, para impulsar la agricultura de riego que dio tanto empuje a la vida económica de esta región del Estado de Sonora. Desde entonces, los volúmenes que se utilizan para regar el Distrito de Riego, se han venido incrementando, llegando a extraerse en el ciclo agrícola 1990 alrededor de 448.6 millones de m<sup>3</sup> a través de 498 pozos profundos, con un caudal específico de 116 lt/s para una superficie cultivada de 80,000 Ha.\*

Los volúmenes de agua extraídos superan significativamente los volúmenes de recarga del acuífero, lo que se ha traducido en severos efectos de intrusión salina en gran parte de la zona agrícola localizada hacia la zona costera, reduciendo significativamente el área de siembra.

---

\* (Rodríguez y Pérez), citado por E.L. VEGA y J.A. SAIZ-H., 1995, p.95.

### 6.1.1 Características superficiales.

El acuífero de la Costa de Hermosillo se localiza en la Región Hidrológica 9, Sonora Sur, Cuenca E Río Bacoachi, subcuenca b arrollo La manga.

La región cuenta con un clima seco, predominando el subtipo seco semicálido, con lluvias en verano. Las temperaturas medias anuales varían de los 22 a los 24 °C. Las lluvias se presentan durante los meses de junio a septiembre, siendo los meses con mayor precipitación julio y agosto. La precipitación varía de los 75 a los 200 mm cruzando la isoyeta 200 por la zona, en un patrón paralelo a línea de costa.

### 6.1.2 Características subterráneas.

La zona explota el agua de dos acuíferos: el superior y el inferior (INEGI, 1993. op. cit. p.100). Actualmente el acuífero superior representa la principal fuente de agua y alcanza un volumen medio de 566 Mm<sup>3</sup>/año.

La magnitud probable de recarga media fue estimada en 350 Mm<sup>3</sup>/a (Ariel Construcciones, S.A., 1968).<sup>\*</sup> Alrededor de un 22% proviene del flujo horizontal desde las partes altas de las cuencas de los ríos Bacoachi y Sonora. El 78% restante proviene de agua aportada por el acuífero inferior que atraviesa un manto de arcillas suprayacentes.

Datos tomados de planos generales (Escala 1:100000) de la S.R.H., ahora C.N.A., muestran que los abatimientos de agua de 1960 a 1991 han variado de -11 a -55 m.<sup>\*\*</sup> Además de que, en esta región se tiene que el gradiente hidráulico se ha invertido, permitiendo que el agua de mar invada el continente.

---

<sup>\*</sup> Citado por E.L. Vega-G y J.A. Saiz-H., op.cit.p.97

<sup>\*\*</sup> E.L. Vega-G y J.A. Saiz-H., op.cit. p.cit.

Finalmente para concluir este análisis se hace notar que, durante el ciclo agrícola 86-87 se hizo un estudio hidrológico global (Vega y Saiz, 1995) del área, en donde se estimó que el sistema tuvo una pérdida de 303.12 millones de m<sup>3</sup>. El acuífero tuvo una entrada de agua (entre dulce y salada) de 318.13 millones de m<sup>3</sup>, pero se bombearon 610, lo que constituyen 292.27 millones de m<sup>3</sup> de pérdidas equivalentes a un 91.87% de sobreexplotación. Situación que permite reflexionar sobre el asunto.

## CONCLUSIONES

- 1.- A través del análisis de los elementos climáticos de la cuenca como son temperatura, precipitación y evapotranspiración, se confirma la sequedad de la zona. Lo anterior se debe a la posición geográfica del área con respecto a la circulación general de la atmósfera y a la topografía. La mayor parte de la cuenca tiene una precipitación media anual de 400 a 500 mm, es decir, que su volumen es escaso y el régimen de lluvias es semiárido.
- 2.- Por medio del balance del agua de la cuenca, se manifiesta también, objetivamente, la aridez del área de estudio, en donde por la evapotranspiración se pierde el 94.2% del volumen total de agua precipitado en la cuenca, restando contenido a las demás fases del ciclo hidrológico, principalmente al escurrimiento. Por lo tanto, el valor de la evapotranspiración resulta muy alto, considerando que esta fase en situación normal, absorbe las tres cuartas partes del agua disponible.
- 3.- En vista de lo mencionado en los puntos anteriores, se deduce que el agua de escurrimiento superficial es escasa, por lo que adquiere una gran importancia el agua subterránea, que como se dijo, abastece todas las necesidades humanas dentro de la cuenca objeto de estudio.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Bassols Batalla, Ángel. Recursos naturales de México. 1980. México, Ed. Nuestro Tiempo, S.A.
2. Benassini, Aurelio. "Potencialidad Agrícola de la Región Costera de los estados de Sonora y Sinaloa". Revista de Irrigación en México, México, vol. 6, No. 6, 1933.
3. Bethemont, J. Geografía de la utilización de las Aguas Continentales. 1979 Barcelona, Ed. Oikos tau.
4. Chorley, R. J. (Editor). 1) Introduction to Physical. 2) Introduction to Fluvial Processes. 3) Introduction to Geographical Hydrology. 1964. New York, Mc. Graw Hill Company.
5. García, Enriqueta. Apuntes de Climatología. 1989. 6a. ed. México, D.F.
6. García, Enriqueta. Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Köppen (Para adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana). 1987. 4a ed. México.
7. González Piedra, Julio Ivan. 1988. Hidrología practica. Habana, Ed. Pueblo y Educación
8. INEGI, 1993. Estudio Hidrológico del Estado de Sonora, México. 186p.
9. Kramer Malinowsky, Dieter. et. al. "Proyectos Sonora, programa de estimulación de lluvias". Revista Recursos Hidráulicos, México, vol. VI, No. 4.
10. Linsley, R.K. y Franzini, J.S. Ingeniería de los Recursos Hidráulicos. 1976. México. Cía. Ed. Cont., S.A. (CECSA).
11. Llamas, José. Hidrología General (principios y aplicaciones). 1989. México, U.A.E.M.

12. Maderey Rascón, Laura Elena. Las Aguas Subterráneas en México. 1977. Instituto de Geografía, U.N.A.M., México.
13. México, S.R.H. D.G.E. Boletín Hidrológico No. 9 Sonora Sur. 1970. Tomo I.
14. México, S.R.H. D.G.E. Boletín Hidrológico No. 9 Sonora Sur. 1970. Tomo III.
15. Moreno Jardines José Luis. "Los Distritos de Riego por Bombeo del Centro y Norte de Sonora". Revista de Recursos Hidráulicos, México, Volumen 5, No. 1, 1976.
16. Remenieras, G. Tratado de Hidrología Aplicada. 1971. Barcelona. Editores Técnicos Asociados, S.A.
17. Atlas del Agua de la República Mexicana. 1976. México, D.F.
18. Strahler, A.M. Geografía Física. 1980. Barcelona, Ed. Omega.
19. Tamayo, J. Geografía General de México. 1962. México. Tomos I y II.
20. Tamayo, J. Datos para la hidrología de la República Mexicana. 1946. México, D.F. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
21. Tellez Giron Padilla, Marcio. "Estudio Agrícola Ganadero de un Área del Río Sonora". Revista Recursos Hidráulicos, México, vol. I, No. 4.
22. Vega Granillo, Eva L.; Saiz Hernández, Juan A. Estudio de Balance de Agua de la Zona Agrícola de la Costa de Hermosillo. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, 1995, Vol. 12, No. 2, p. 93-104.

23. Villalobos Jiménez, Ángel. "Condiciones de las Aguas Subterráneas en el Distrito de Riego Num. 51. Costa de Hermosillo, Son". Revista de Ingeniería Hidráulica en México, vol. 19, No. 3, 1965.

## **FUENTES CARTOGRÁFICAS.**

- D.G.G. - I.N.E.G.I. Cartas hidrológicas de Aguas Superficiales y Agua Subterránea escala 1:250 000: H12-2, H12-5, H12-8, H12-3, H12-6, H12-9
- D.G.G. - I.N.E.G.I. Cartas topográficas escala 1:250 000 : H12-2, H12-5, H12-8, H12-3, H12-6, H12-9, H12-11, H12-12
- D.G.G. - I.N.E.G.I. Carta de Efectos Climáticos Regionales (mayo-octubre/Noviembre-abril) escala 1:250 000 : H12-5, H12-8, H12-11
- D.G.G. - I.N.E.G.I. Cartas escalas 1:1000 000, hoja Tijuana, de los siguientes temas:  
S.P.P. Geología, Hidrología Aguas Superficiales, Hidrología Aguas Subterráneas, Climas, Topográfica, Edafologica, Uso de Suelo y Vegetación, Temperatura Media Anual y Precipitación Total Anual.

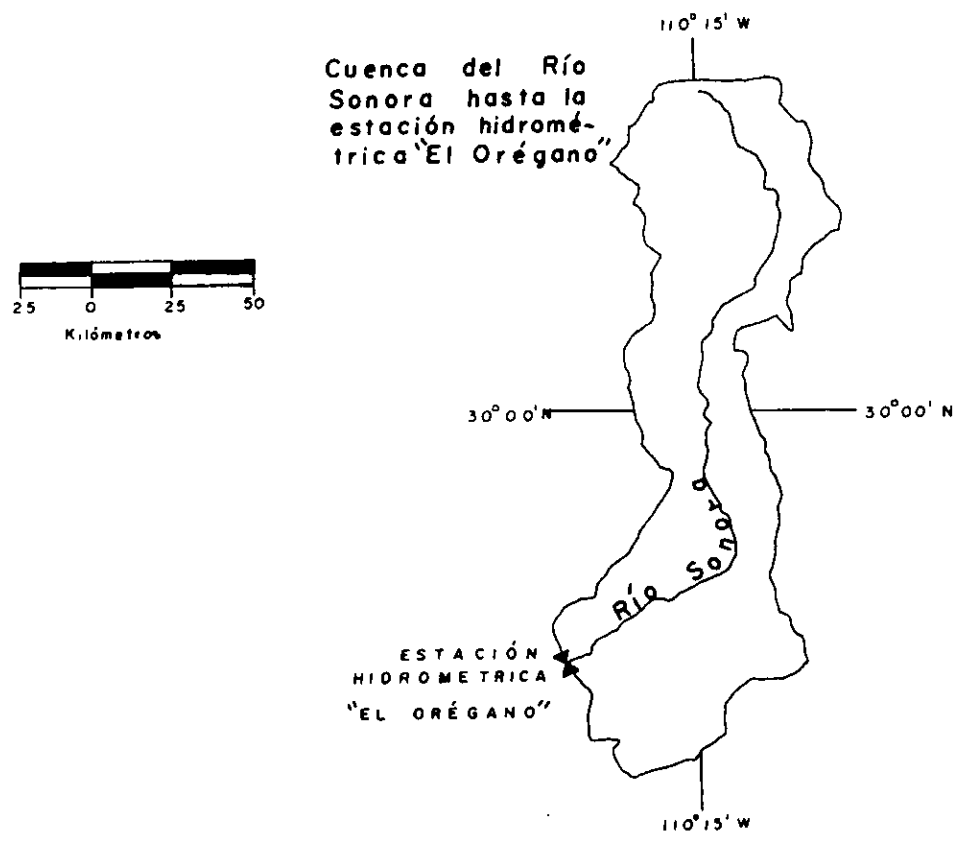
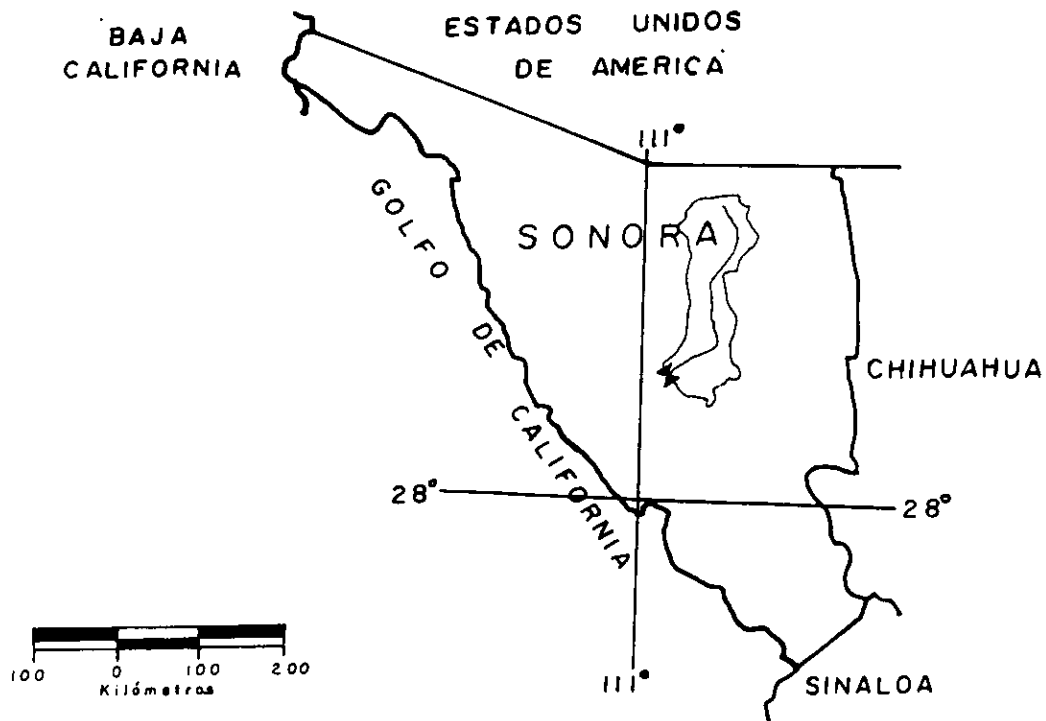
## **FUENTES ESTADÍSTICAS:**

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (C.N.A.)

Gerencia de Aguas Subterráneas

Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos.

## FIGURAS Y GRÁFICA COMPLEMENTARIAS



Elaboró y Dibujó Eloy Infante B.

Figura 1

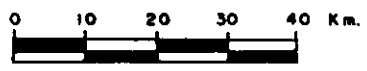
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

**CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "EL OREGANO"**



**SIMBOLOGÍA**

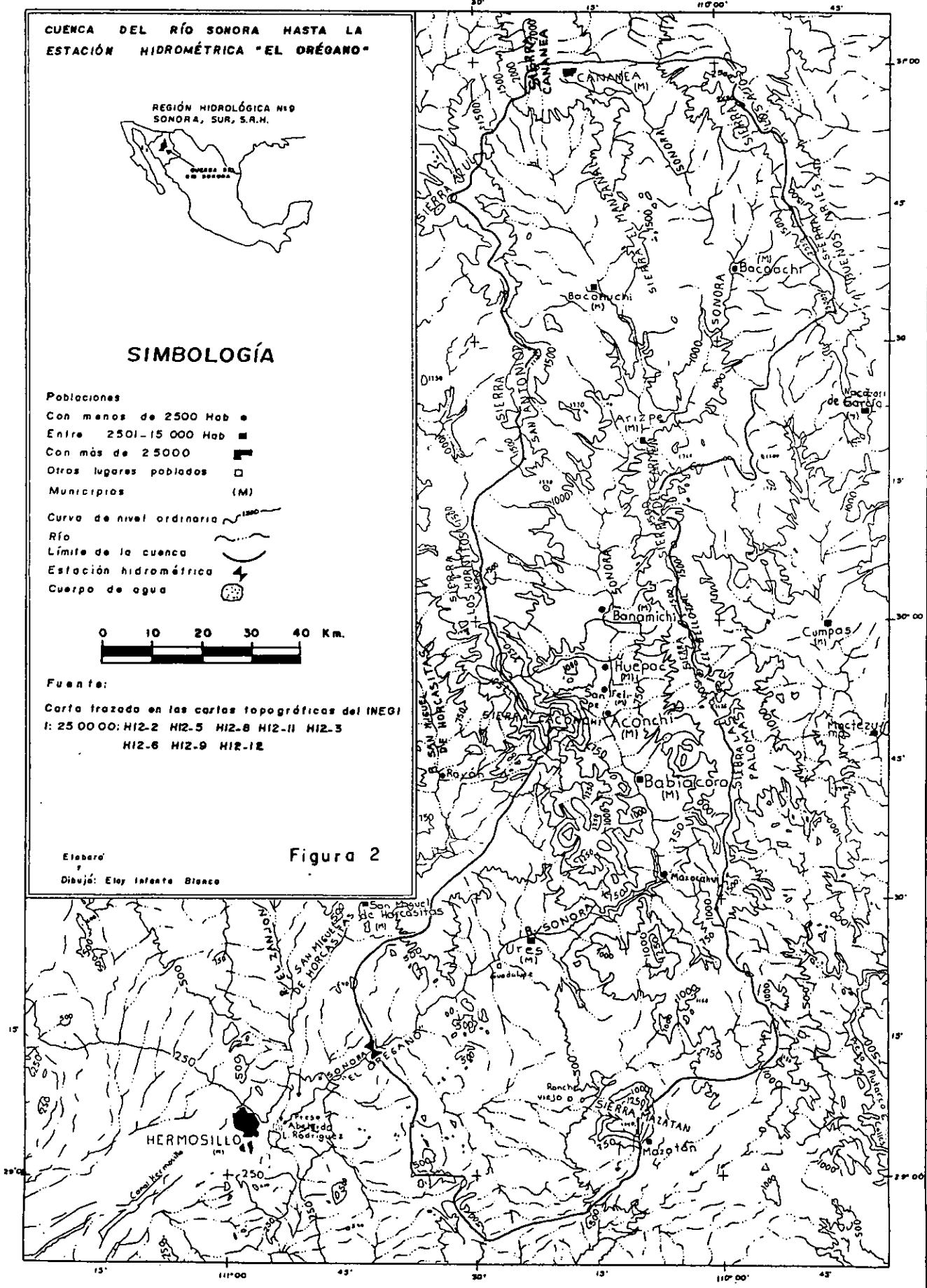
- Poblaciones
- Con menos de 2500 Hab ●
- Entre 2501-15 000 Hab ■
- Con más de 25000 ■
- Otros lugares poblados □
- Municipios (M)
- Curva de nivel ordinaria
- Río
- Límite de la cuenca
- Estación hidrométrica
- Cuerpo de agua



Fuente:  
 Carta trazada en las cartas topográficas del INEGI  
 1: 25 00 00: H12-2 H12-5 H12-8 H12-11 H12-3  
 H12-6 H12-9 H12-12

Elaboró:  
 Dibujo: Eloy Infante Blanco

**Figura 2**



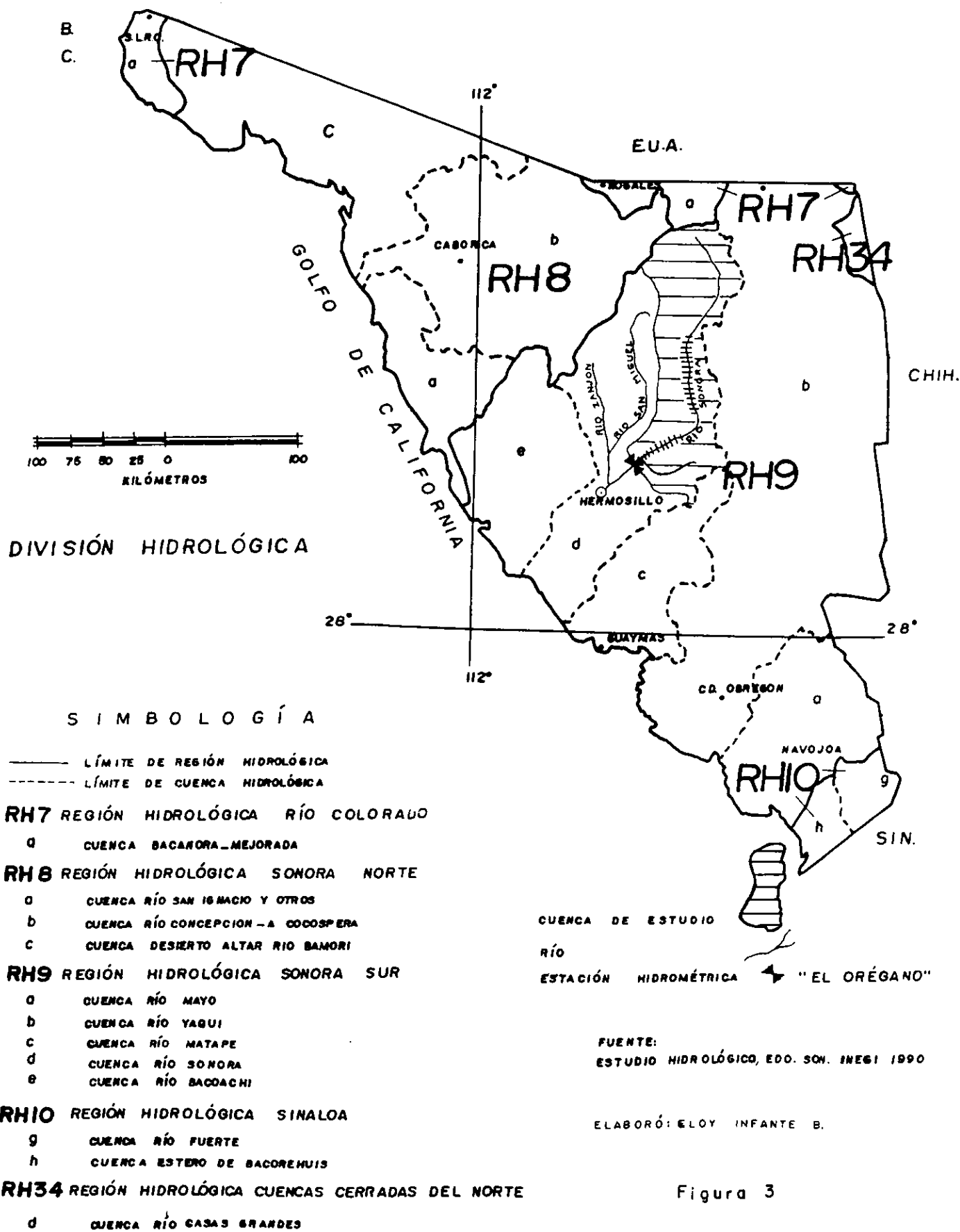
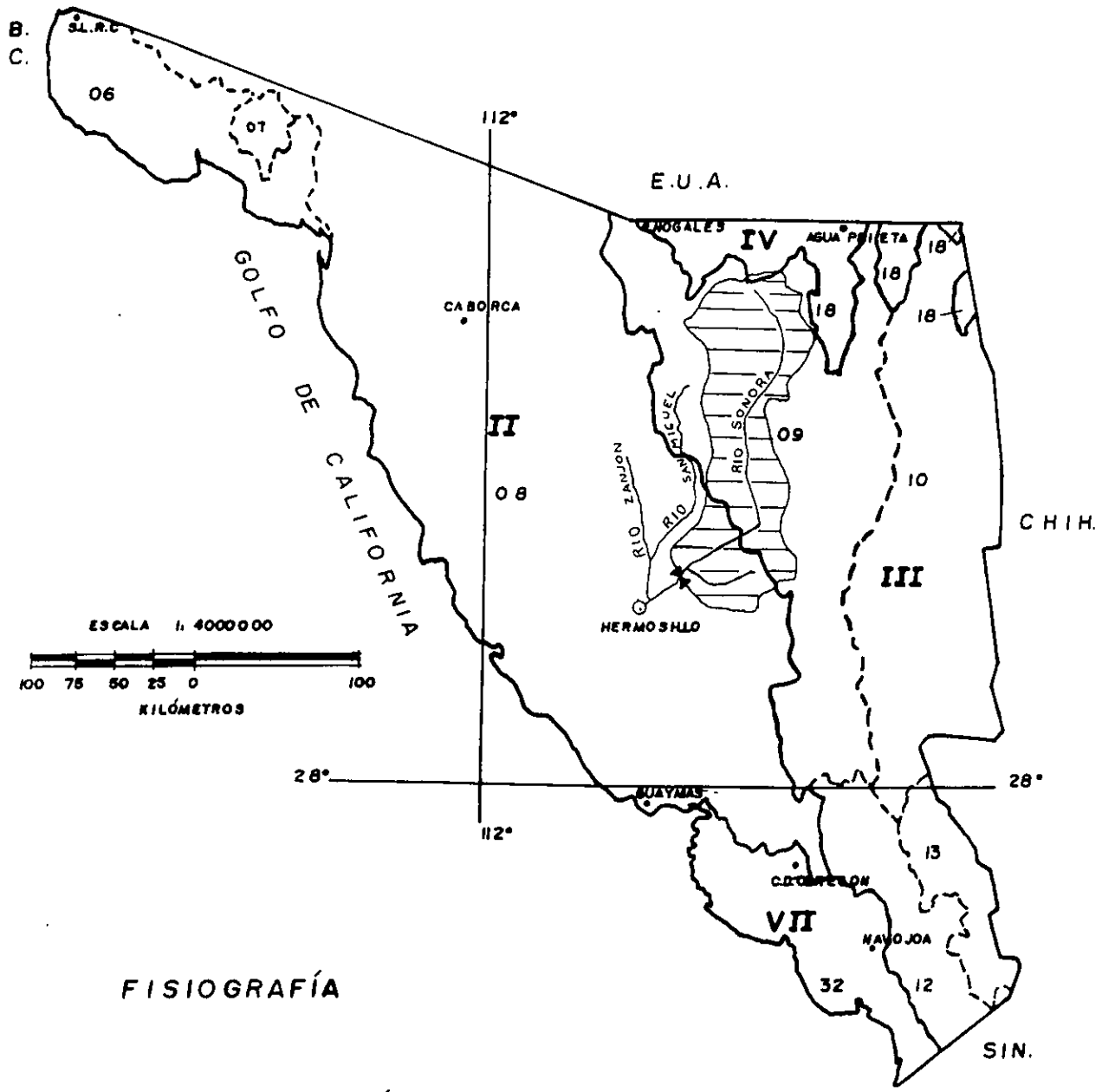





Figura 3



**FISIOGRAFÍA**

**S I M B O L O G Í A**

- LÍMITE DE PROVINCIA FISIOGRÁFICA
- LÍMITE DE SUBPROVINCIA FISIOGRÁFICA
- II** PROVINCIA LLANURA SONORENSE
  - 06 SUBPROVINCIA DESIERTO DE ALTAR
  - 07 DISCONTINUIDAD SIERRA EL PINACATE
  - 08 SUBPROVINCIA SIERRAS Y LLANURAS SONORENSES
- III** PROVINCIA SIERRA MADRE OCCIDENTAL
  - 09 SUBPROVINCIA SIERRAS Y VALLES DEL NORTE
  - 10 SUBPROVINCIA SIERRAS Y CAMPOS DEL NORTE
  - 12 SUBPROVINCIA PE DE LA SIERRA
  - 13 SUBPROVINCIA GRAN MESETA Y CAÑONES CHINAMUESENSES
- IV** PROVINCIA SIERRAS Y LLANURAS DEL NORTE
  - 18 SUBPROVINCIA LLANURAS Y MEDANOS DEL NORTE
- VII** PROVINCIA LLANURA COSTERA DEL PACIFICO
  - 32 SUBPROVINCIA LLANURA COSTERA Y DELTAS DE SONORA Y SINALOA

- CUENCA DE ESTUDIO** 
- RÍO** 
- ESTACIÓN HIDROMÉTRICA** 

**FUENTE:**  
 ESTUDIO HIDROLÓGICO, EDO. SON. INEGI, 1980  
 ELABORO: ELÓY INFANTE B.

Figura 4



**CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "EL OREGANO"**



REGIÓN HIDROLÓGICA N.º 9  
SONORA SUR, S.R.H.

CUENCA DEL  
RÍO SONORA

**SIMBOLOGÍA**

POBLACIONES □ ○  
CAPITAL DEL ESTADO \*  
RÍO ———  
ESTACIÓN HIDROMÉTRICA ⚡

**GEOLOGÍA**

Q. Cuaternario	Rocas ígneas
T. Terciario	Igea. ígnea extrusiva ácida
K. Cretácico	Igeb. ígnea extrusiva básica
Kl. Cretácico inferior.	Igli. ígnea intrusiva intermedia
Js. Jurásico superior.	Igel. ígnea extrusiva intermedia
J. Triásico	Igia. ígnea intrusiva ácida
P. Paleozoico	<b>ROCAS SEDIMENTARIAS</b>
M. Mesozoico	Cg Conglomerado
	Lu-ar Lutitas areniscas
MINA ⚡	Cz. Calizas
	S. Suelos
FRACTURA ———	
FALLA TTTT	

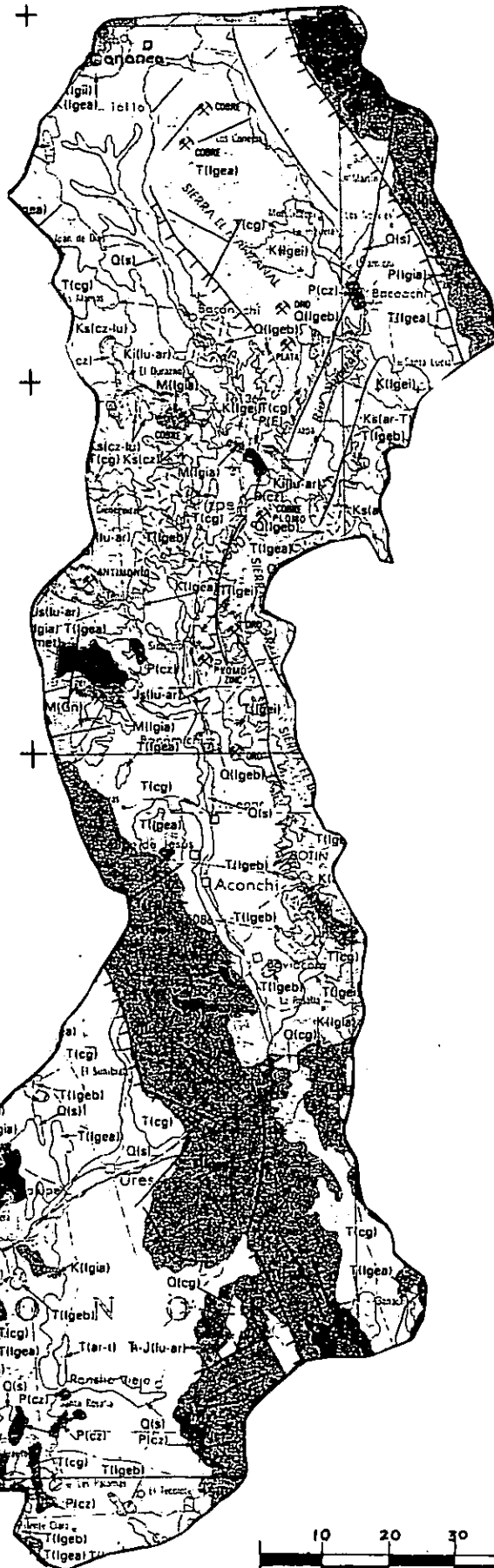
FUENTE: CARTA GEOLÓGICA, S.R.P. Esc. 1:1000 000

**FIGURA 5**

ELABORÓ: ELOY INFANTE B.

"EL OREGANO"

HERMOSILLO



KILÓMETROS

111° 00'

30'

110° 00'

29° 00'

30'

30° 00'

30'

31° 00'

51

**CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "EL ORÉGANO"**



- SIMBOLOGÍA**
- POBLACIÓN ○ □
  - CAPITAL DEL ESTADO \*
  - RÍO ~
  - ESTACIÓN HIDROMÉTRICA ⚡
  - ESTACIÓN METEOROLÓGICA •

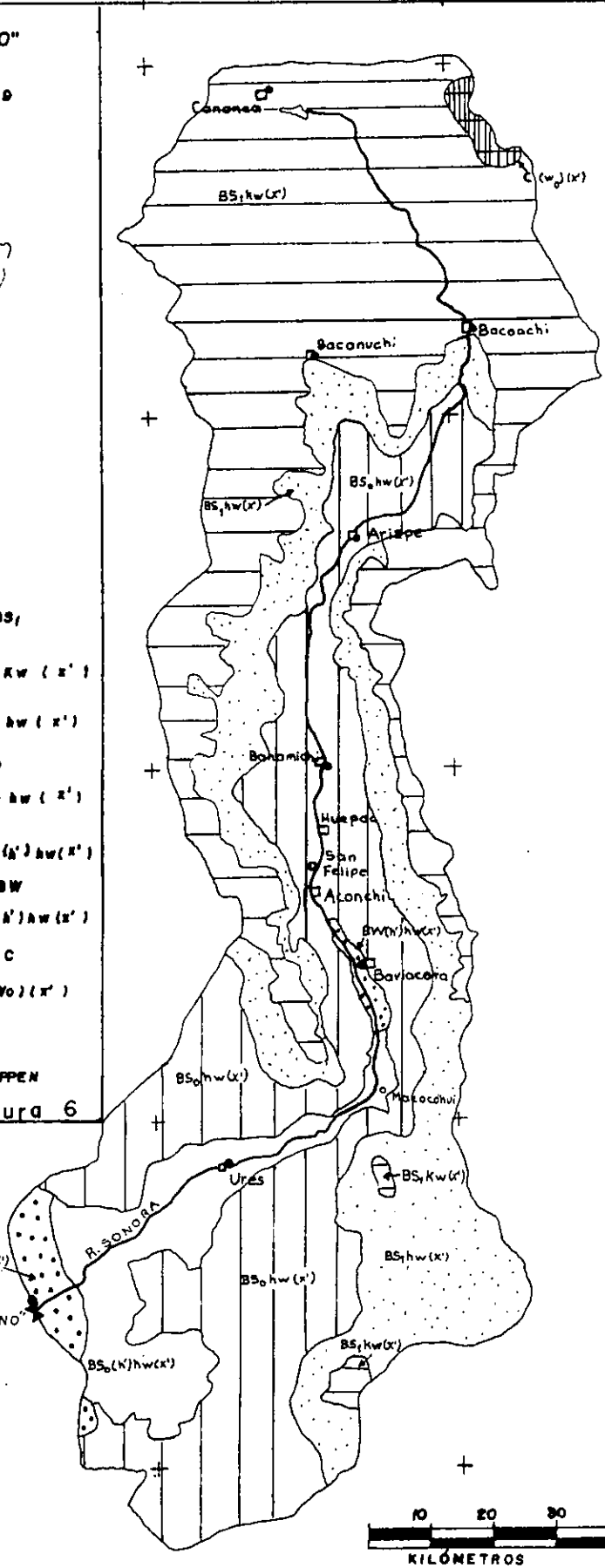
**CLIMAS**

**TIPOS DE CLIMAS SEMISÉCOS BS,**

- SUPTIPO SEMISÉCO TEMPLADO  $BS, kw(x')$
- SUPTIPO SEMISÉCO SEMICÁLIDO  $BS, hw(x')$
- TIPOS DE CLIMAS SECOS  $BS_0$**
- SUPTIPO SECO SEMICÁLIDO  $BS_0 hw(x')$
- SUPTIPO SECO MUY CALIDO Y CALIDO  $BS_0(h')hw(x')$
- TIPOS DE CLIMAS MUY SECOS BW**
- SUPTIPO MUY SECO MUY CALIDO Y CALIDO  $BW(h')hw(x')$
- GRUPO DE CLIMAS TEMPLADOS C**
- TIPO TEMPLADO SUBHÚMEDO CON LLUVIAS EN VERANO  $C(W_0)(x')$

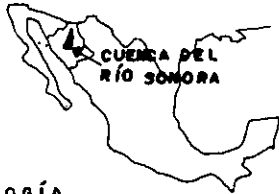
FUENTE: CARTAS DE CLIMAS S.P.P.  
 CLASIFICACIÓN DE CLIMAS SEGÚN KÖPPEN  
 MODIFICADO POR ENRIQUETA GARCÍA  
 TIJUANA, ESC:1000000 **Figura 6**

Elaboró y Dibujó Eloy Infante B.



# CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA ESTACION HIDROMÉTRICA 'EL ORÉGANO'

REGIÓN HIDROLÓGICA N.º 9  
SONORA SUR, S.R.H.



## SIMBOLOGÍA

- POBLACIÓN ○ □
- CAPITAL DEL ESTADO \*
- RÍO ~
- ESTACION HIDROMÉTRICA ⚡

## SUELOS

### REGOSOL

R EÚTRICO Re

### LITOSOL



### CAMBISOL

C EÚTRICO Be  
C CRÓMICO Sc

### XEROSOL

Xc CÁLCICO Xr  
Xc HÁPLICO Xh

### FEZEM

F HÁPLICO Hh

### LUVISOL

L CRÓMICO Lc

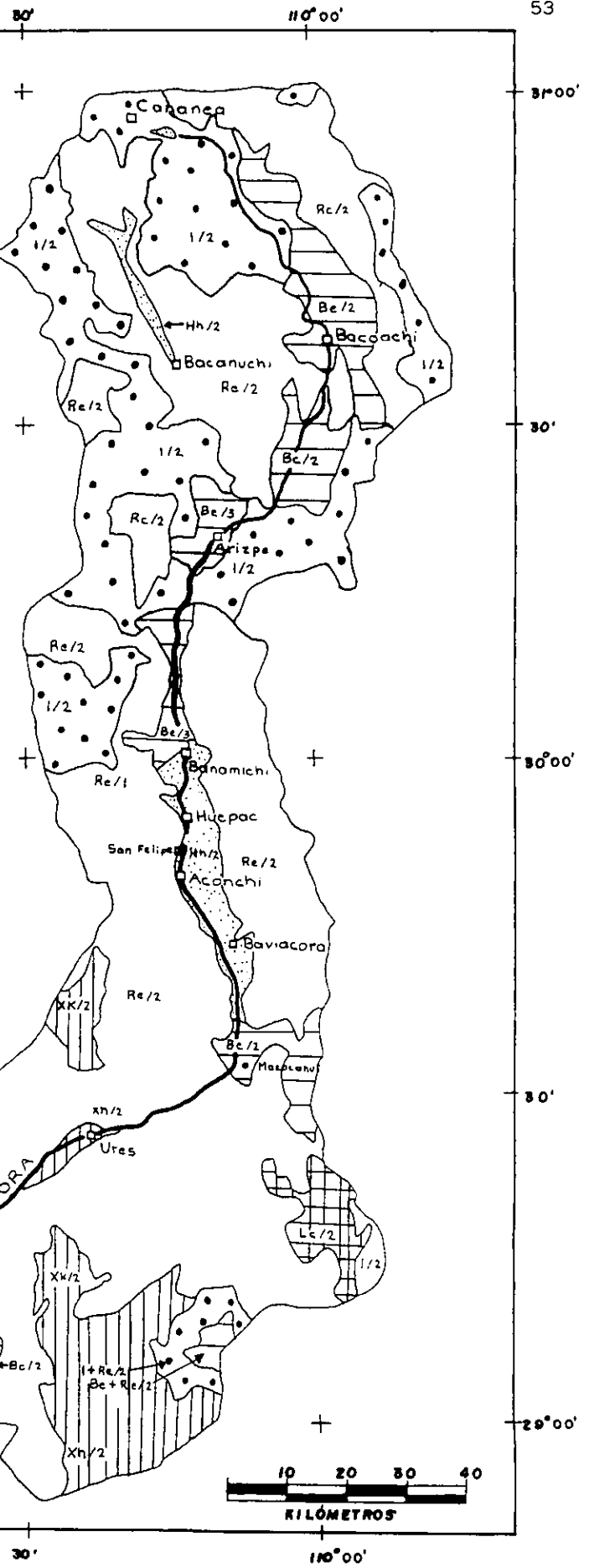
## CLASES TEXTURALES

1..GRUESA 2..MEDIANA 3..FINA

FUENTE: CARTA EDAPOLÓGICA, S.R.P. TIJUANA. ESC: 1:1000000

Figura 7

Elaboró y Dibujó: Eloy Infante. B.



111°00' 30' 110°00'

### CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA ESTACION HIDROMÉTRICA "EL ORÉGANO"



- SIMBOLOGÍA**
- POBLACIÓN ○ □
  - CAPITAL DEL ESTADO \*
  - RÍO ~
  - ESTACIÓN HIDROMÉTRICA ↘

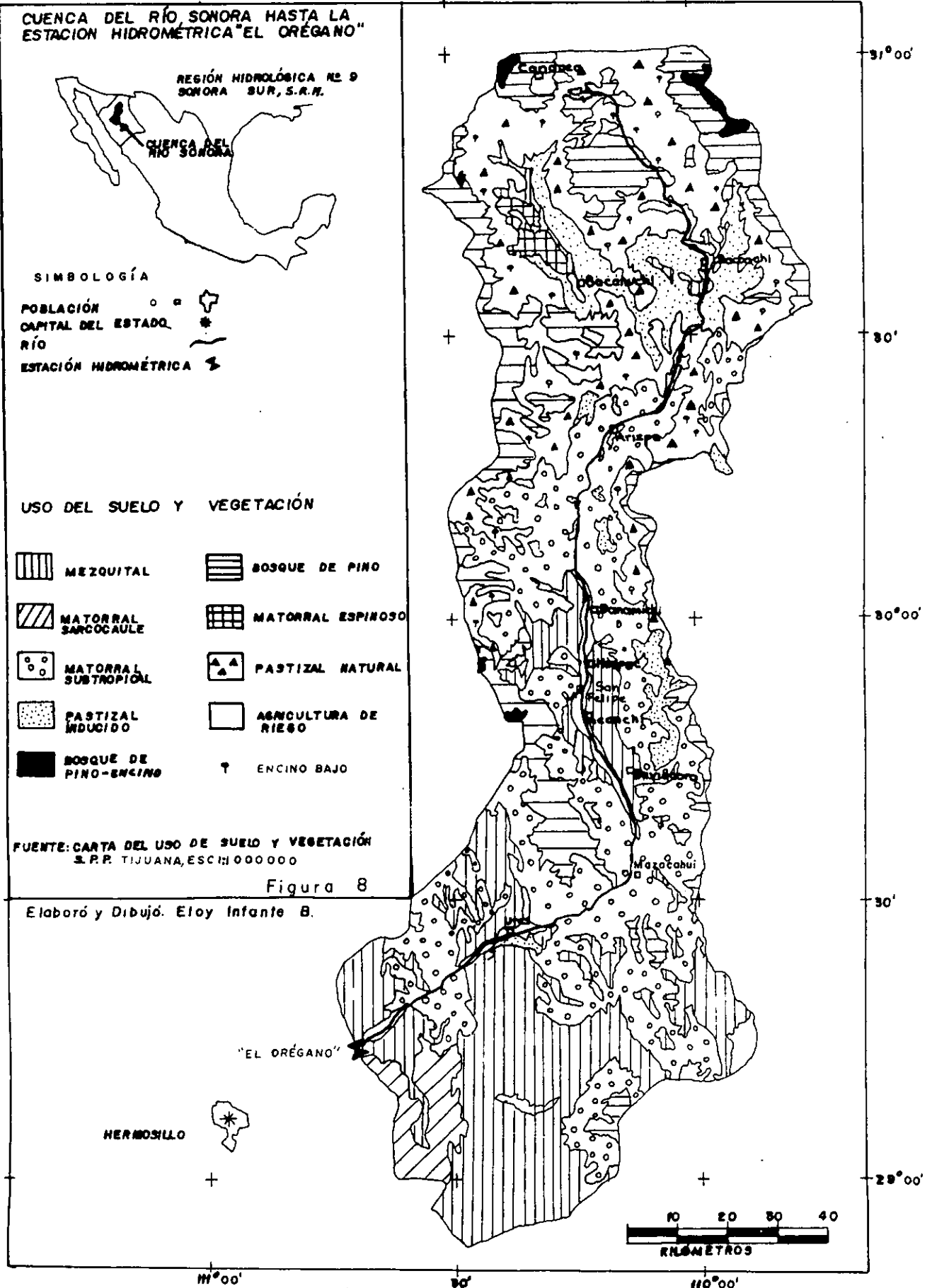
### USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN

- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| MEZQUITAL             | BOSQUE DE PINO       |
| MATORRAL SARGOCAULE   | MATORRAL ESPINOSO    |
| MATORRAL SUBTROPICAL  | PASTIZAL NATURAL     |
| PASTIZAL INDUCIDO     | AGRICULTURA DE RIEGO |
| BOSQUE DE PINO-ENCINO | † ENCINO BAJO        |

FUENTE: CARTA DEL USO DE SUELO Y VEGETACIÓN  
S.R.P. TIJUANA, ESC: 1:000000

Figura 8

Elaboró y Dibujó: Eloy Infante B.



HERMOSILLO

"EL ORÉGANO"



# CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "EL ORÉGANO"

REGIÓN HIDROLÓGICA N.º 9  
SONORA SUR S.R.H



## SIMBOLOGÍA

- POBLACIONES
- CAPITAL DEL ESTADO
- RÍO
- ESTACIÓN HIDROMÉTRICA
- ESTACIÓN METEOROLÓGICA
- ISOTERMAS MEDIAS ANUALES EN °C — 16 —

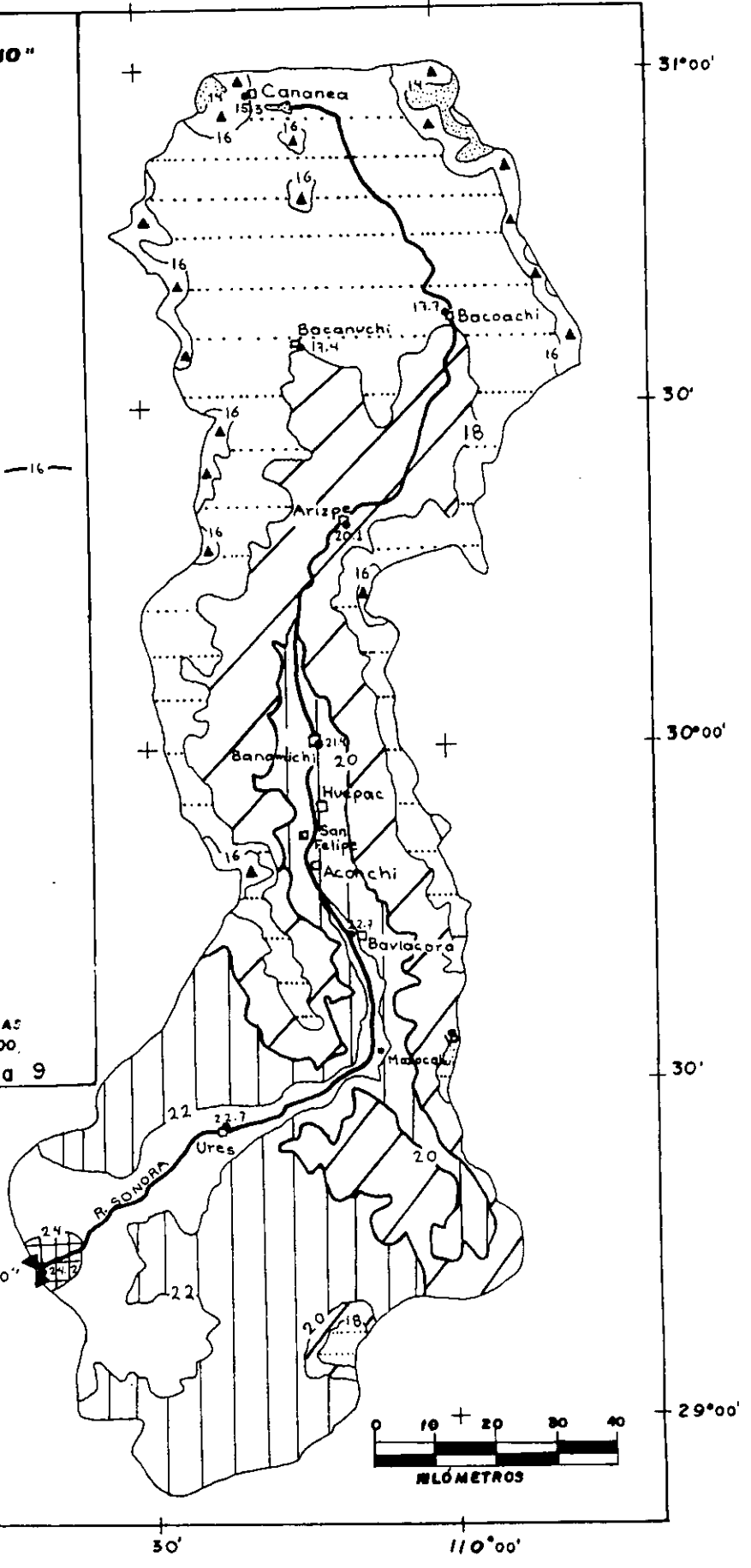
## TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES

	12-14		20-22
	14-16		22-24
	16-18		24-26
	18-20		

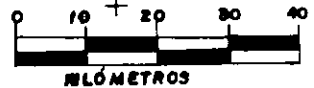
FUENTE: CARTA DE TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES, S.P.R., ESC. 1: 1000 000, TIJUANA

Figura 9

Elaboró y Dibujó: Eloy Infante B.

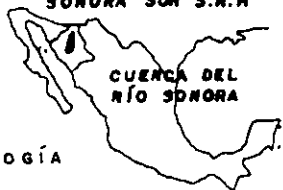


HERMOSILLO



**CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "EL ORÉGANO"**

REGIÓN HIDROLÓGICA N.º 9  
SONORA SUR S.R.H



**SIMBOLOGÍA**

POBLACIONES

CAPITAL DEL ESTADO

RÍO

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA.

TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS  
PROMEDIO (ÉPOCA HÚMEDA)

30° ISOTERMAS MEDIAS MÁXIMAS DE  
MAYO, JUNIO Y JULIO CADA 3°C

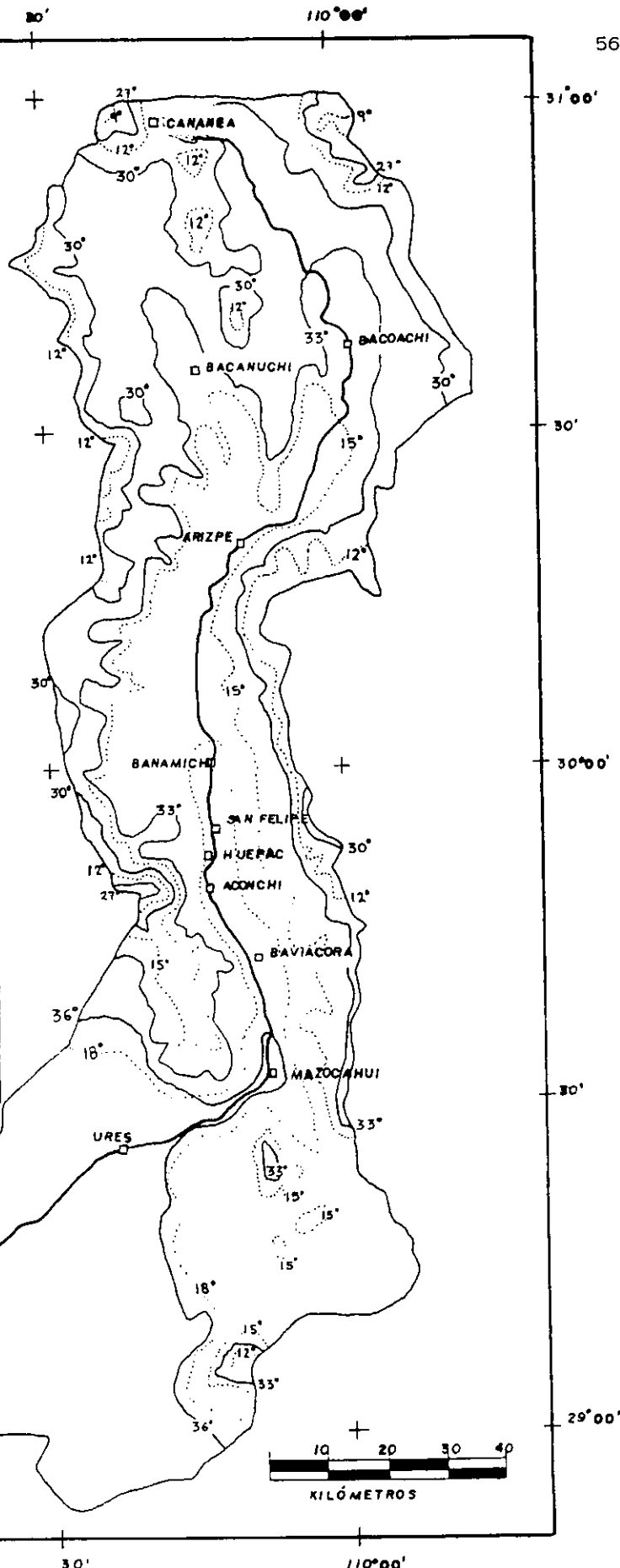
15° ISOTERMAS MEDIAS MÍNIMAS DE  
MAYO, JUNIO Y JULIO CADA 3°C

FUENTE:

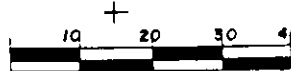
CARTA DE EFECTOS CLIMÁTICOS REGIONALES  
MAYO-OCTUBRE ESC. 1:250 000 INEGI  
(H12.5 H12.8 H12.11)

DIBUJÓ Y ELABORÓ ELOY INFANTE. B.

Figura 10 A



HERMOSILLO



KILÓMETROS

**CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "EL ORÉGANO"**

REGIÓN HIDROLÓGICA N.º 9  
SONORA SUR S.R.H.



**SIMBOLOGÍA**

- POBLACIONES
- CAPITAL DEL ESTADO
- RÍO
- ESTACIÓN HIDROMÉTRICA

**TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS PROMEDIO (ÉPOCA SECA)**

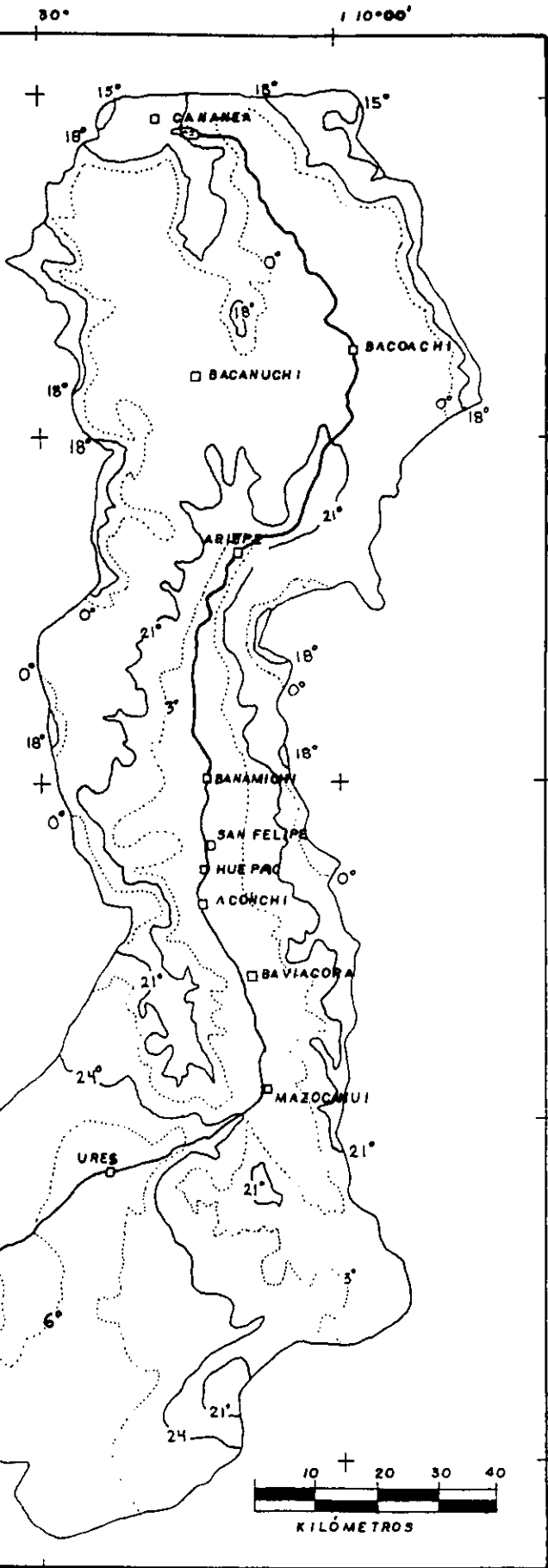
— 24 — ISOTERMAS MEDIAS MÁXIMAS DE  
NOVIEMBRE DICIEMBRE Y ENERO  
CADA 3° C

- - - 3 - - - ISOTERMAS MEDIAS MÍNIMAS DE  
NOVIEMBRE DICIEMBRE Y ENERO  
CADA 3° C

FUENTE: CARTA DE EFECTOS CLIMÁTICOS RE-  
GIONALES NOVIEMBRE-ABRIL. ESC 1250  
000  
INREGI (HIZ.11 HIZ.8 HIZ.5)

Figura 10 B

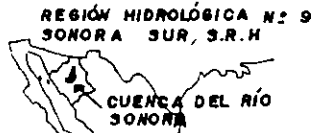
ELABORÓ Y DIBUJÓ: ELOY INFANTE .B



HERMOSILLO



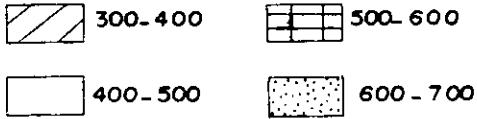
# CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA ESTACION HIDROMÉTRICA "EL ORÉGANO"



## SIMBOLOGÍA

- POBLACIONES ○ □ ☆
- CAPITAL DEL ESTADO \*
- RÍO ~
- ESTACION HIDROMÉTRICA ▲
- ESTACION METEOROLÓGICA ●

## PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL



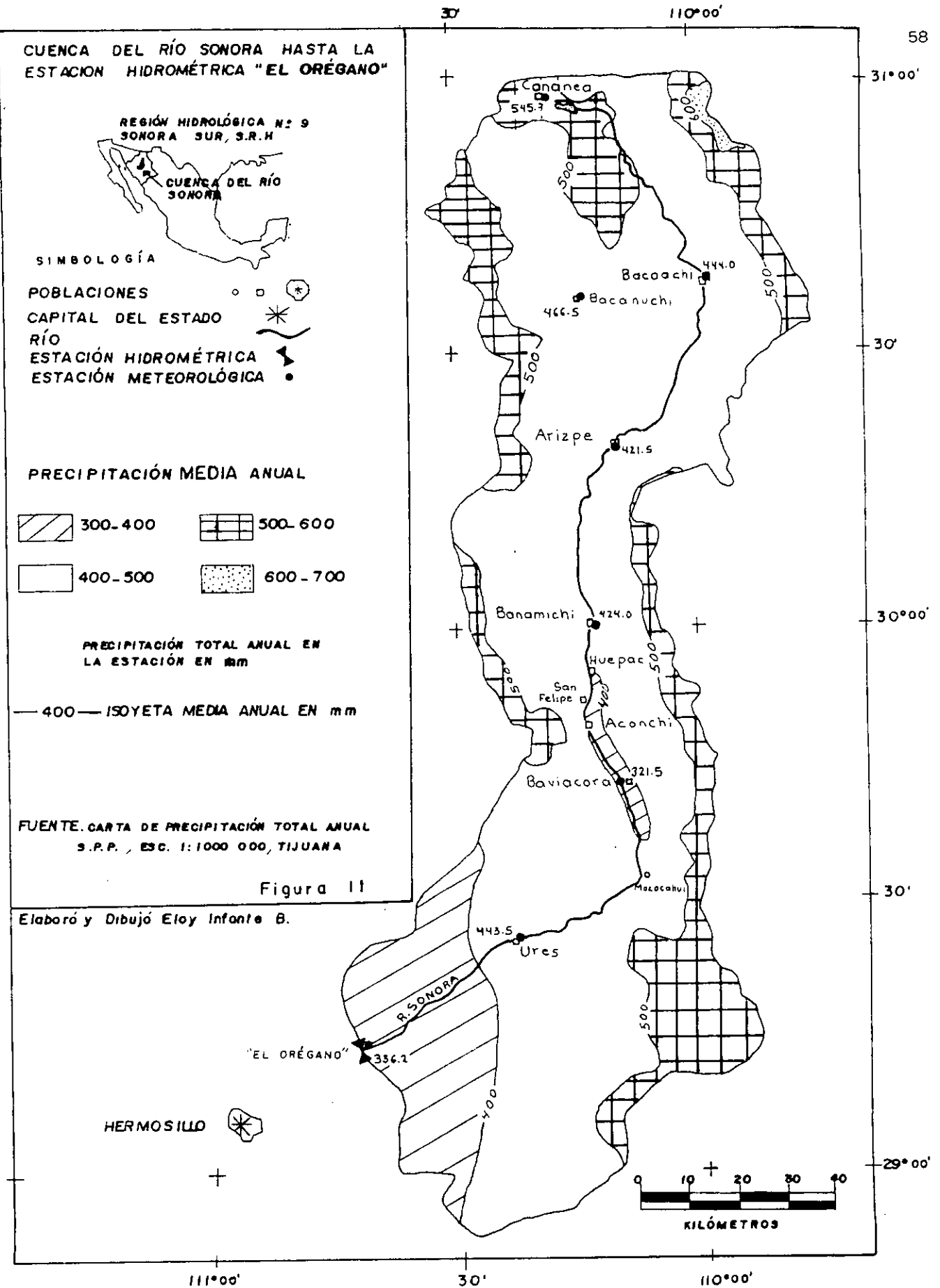
PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN LA ESTACION EN mm

— 400 — ISOYETA MEDIA ANUAL EN mm

FUENTE. CARTA DE PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL S.R.P., ESC. 1:1000 000, TIJUANA

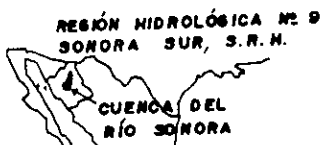
Figura II

Elaboró y Dibujó Eloy Infante B.





# CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "EL ORÉGANO"



## SIMBOLOGÍA

POBLACIONES

CAPITAL DEL ESTADO \*

RÍO

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA

PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN mm  
ISOYETAS MEDIAS

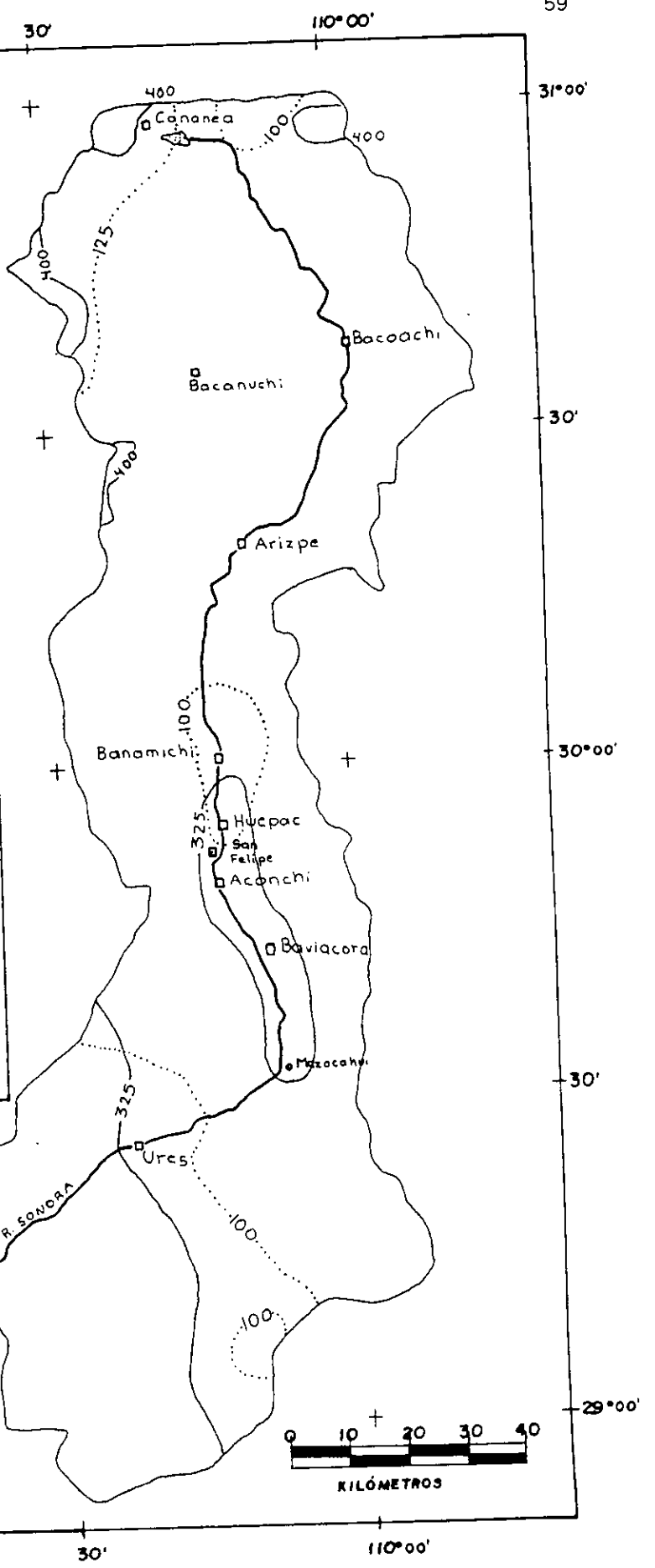


FUENTE: CARTA DE EFECTOS CLIMÁTICOS REGIONALES MAYO-OCTUBRE/NOVIEMBRE-ABRIL.

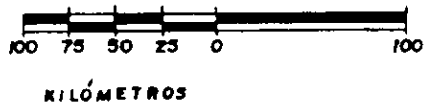
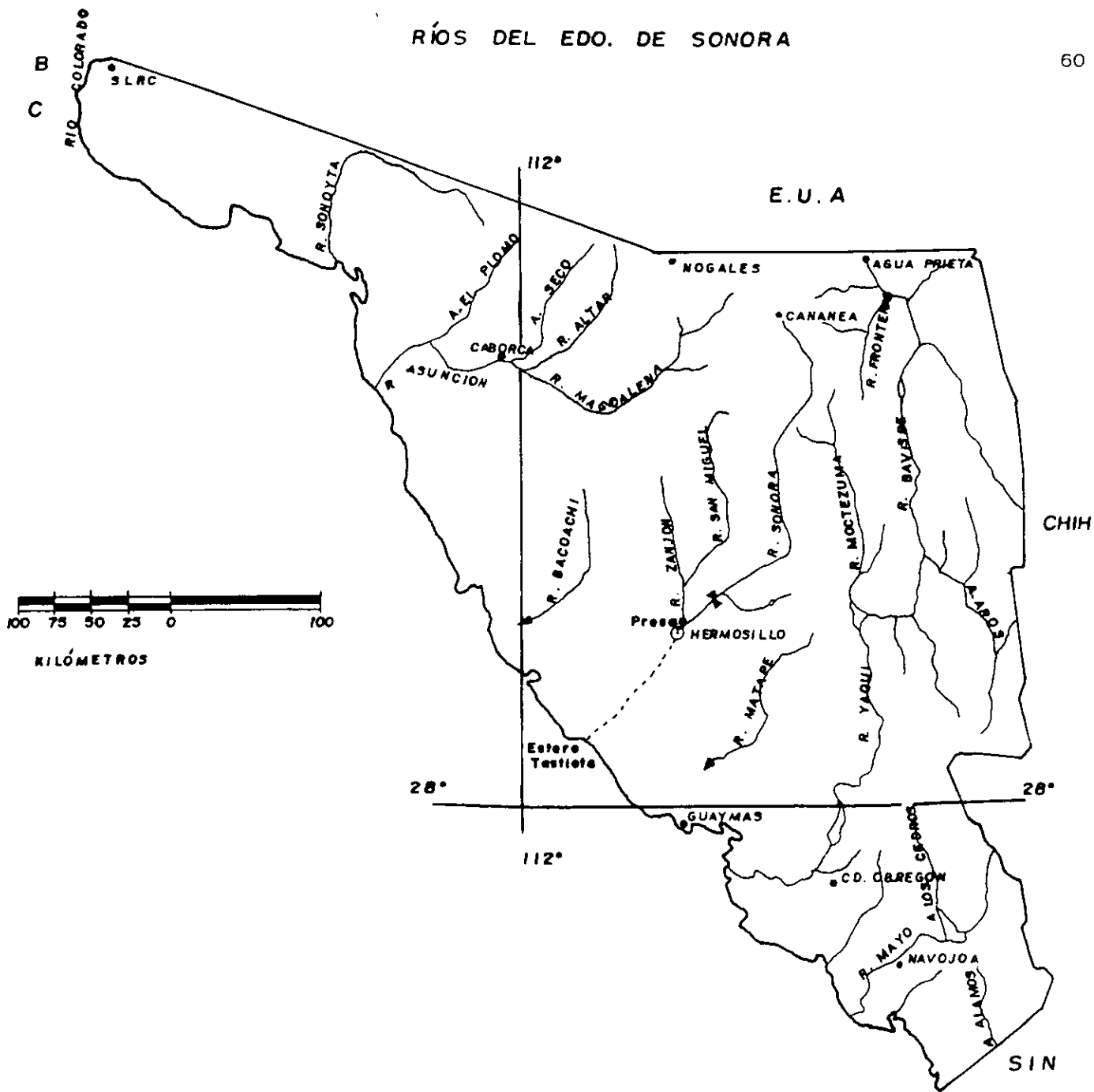
INEGI ESC. 1: 250 000 (H12-5 H12-8 H12-11)

Figura 12

Elaboró y Dibujó Eloy Infante.B



HERMOSILLO \*



FUENTE

ESTUDIO HIDROLÓGICO EDO. SON. INEGI 1993

ELABORÓ ELOY INFANTE B.

Figura 13

# CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA "EL ORÉGANO"



## SIMBOLOGÍA

- POBLACIONES
- CAPITAL DEL EDO.
- RÍO
- ESTACIÓN HIDROMÉTRICA

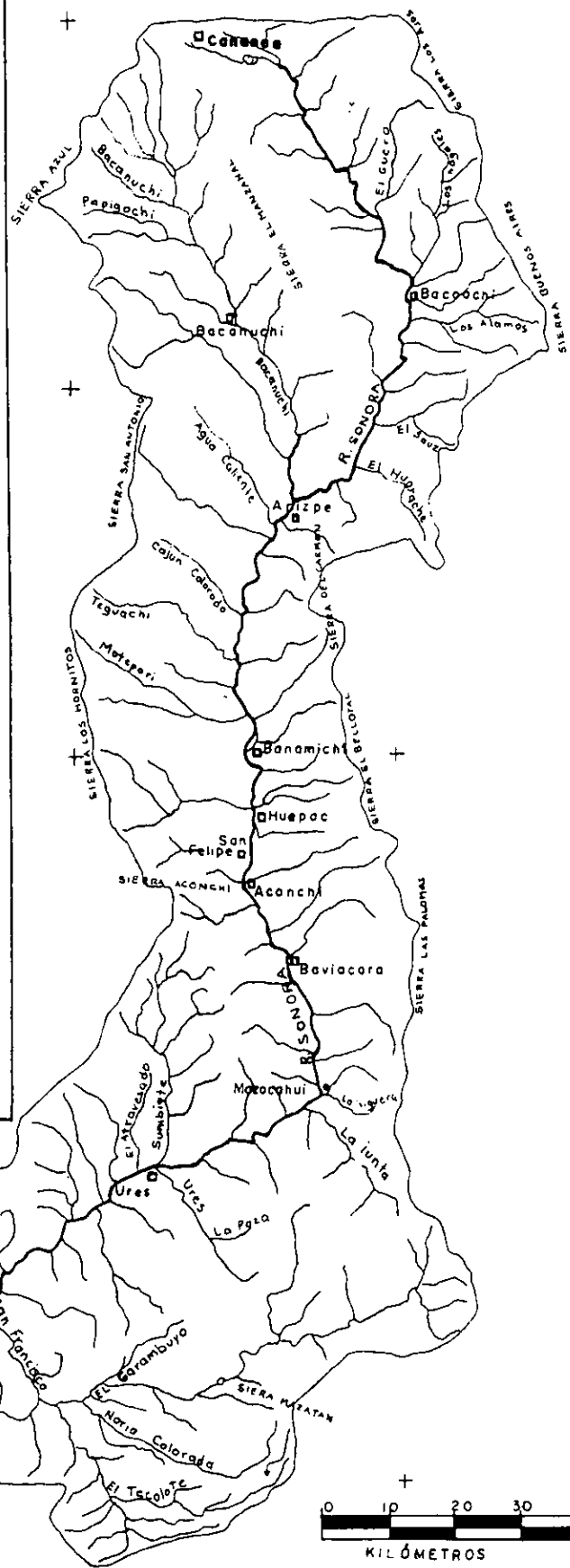
## RED HIDROGRÁFICA DEL RÍO SONORA

Distrito de riego No. 51, Hermosillo, Sonora

MAPA TRAZADO EN LAS CARTAS TOPOGRÁFICAS:  
H12-2, H12-5, H12-11, H12-8, H12-3, H12-6, H12-9, H12-12 ;  
INEGI, 1: 250 000

Figura 14

Elaboró y Dibujó Eloy Infante Blanco



31°00'

30'

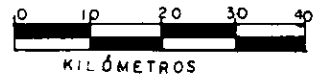
30°00'

30'

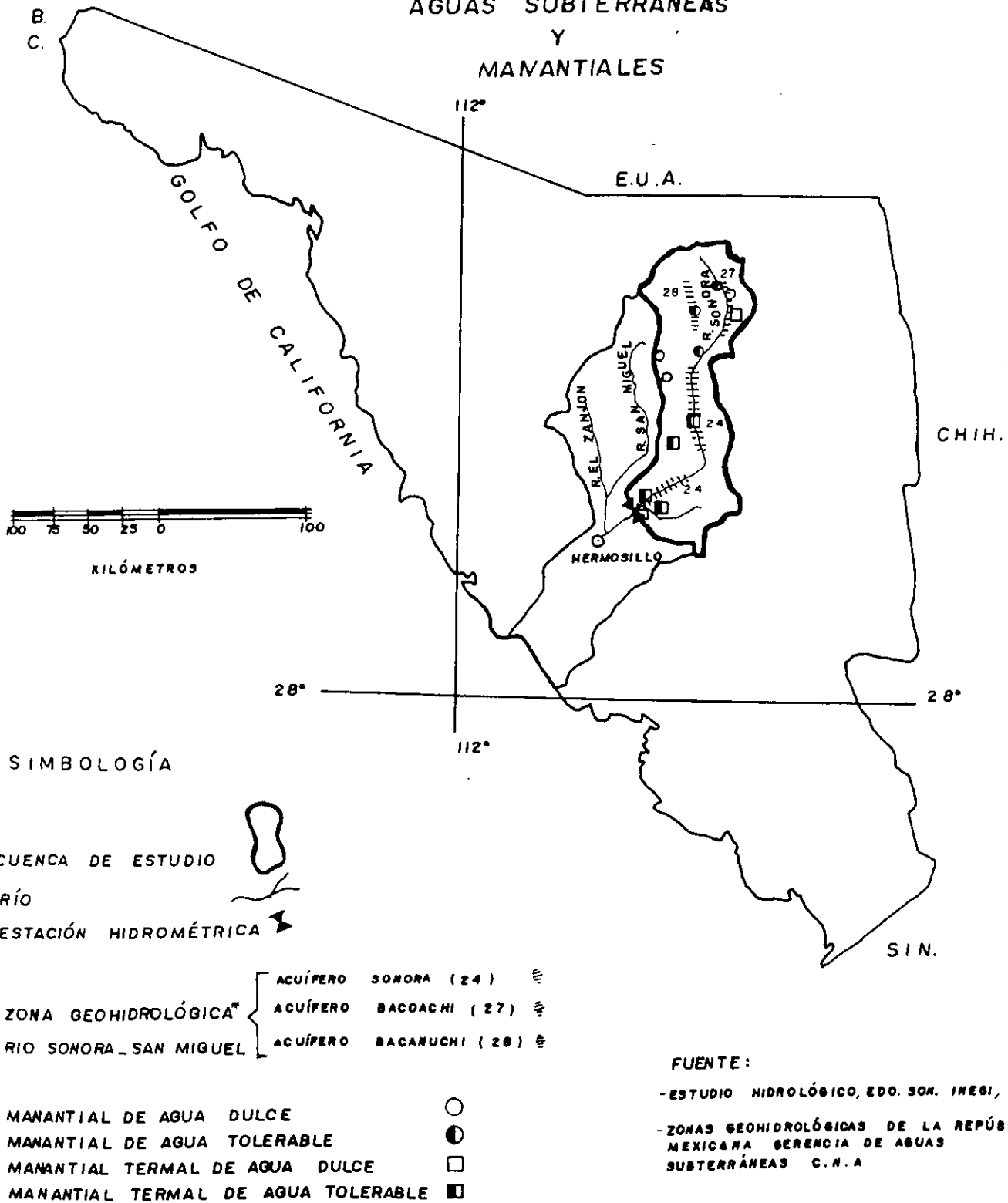
29°00'

HERMOSILLO

Presa Abelardo L. Rodríguez



# AGUAS SUBTERRÁNEAS Y MANANTIALES



**SIMBOLOGÍA**

- CUENCA DE ESTUDIO
- RÍO
- ESTACIÓN HIDROMÉTRICA

- ZONA GEOHIDROLÓGICA\* {
- ACUÍFERO SONORA (24)
  - ACUÍFERO BACDACHI (27)
  - ACUÍFERO BACANUCHI (28)
- RIO SONORA-SAN MIGUEL

- MANANTIAL DE AGUA DULCE
- MANANTIAL DE AGUA TOLERABLE
- MANANTIAL TERMAL DE AGUA DULCE
- MANANTIAL TERMAL DE AGUA TOLERABLE

**FUENTE:**

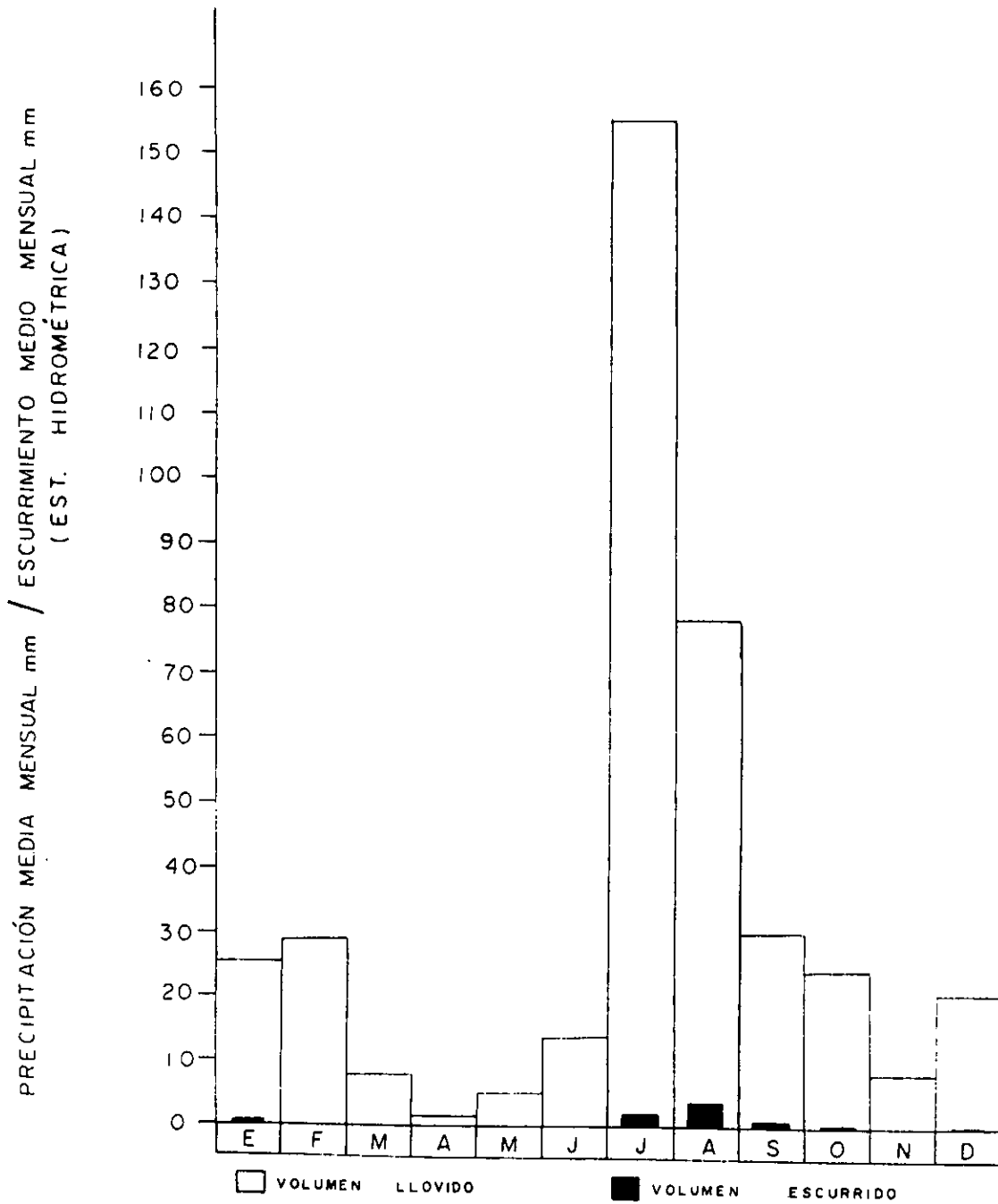
- ESTUDIO HIDROLÓGICO, EDO. SON. INESI, 1990.
- ZONAS GEOHIDROLÓGICAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS C.N.A.

ELABORÓ: ELOY INFANTE B.

\* GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (C.N.A.)

Figura 15

## RELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y ESCURRIMIENTO



CUENCA DEL RÍO SONORA HASTA LA EST. HIDRO. "EL ORÉGANO"

Área 11800 Km<sup>2</sup>

Dibujó ELOY INFANTE B.

Gráfica I