



**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**  
**Facultad de Ingeniería**

**AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO EN SONORA**

**HUGO ACOSTA BORBON**

**TRABAJO**

Presentado a la División de Estudios de Posgrado de la

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**DE LA**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

como requisito para obtener  
el grado de  
**MAESTRO EN INGENIERIA**

( **HIDRAULICA** )

**CIUDAD UNIVERSITARIA**



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.



DEPA



DEPA

T. UNAM

1991

ACO

**PEDID Y SE OS DARA;  
BUSCAD Y HALLAREIS;  
LLAMAD Y SE OS ABRIRA.**

**PORQUE TODO AQUEL QUE PIDE, RECIBE  
Y EL QUE BUSCA, HALLA;  
Y AL QUE LLAMA,  
SE LE ABRIRA.**

**MATEO 7: 7,8**

## **CON DEDICATORIA A**

### ***mis padres***

**Sr. Héctor Acosta Chenoweth**

**Sra. Alicia Borbón de Acosta**

**"LAS PALABRAS ADECUADAS PARA DIRIGIRME A USTEDES NO EXISTEN, Y QUE PUEDO DECIRLES CUANDO UN HIJO ES EL REFLEJO DE SUS PADRES"**

### ***mis hermanos***

**Eunice, Rolando, Irene y Berenice**

**"DOY GRACIAS A DIOS POR ESTAR EN MEDIO DE USTEDES"**

### ***mis sobrinas***

**Sinaí y Crisel**

**"CUANDO APRENDAN A LEER Y VEAN ESTA LINEA QUIERO QUE SEPAN QUE SU TIO HUGO LAS QUIERE"**

**Al futuro sobrino que se debate en ser un aguila escorpiana o un arquero**

**"BIENVENIDO SEAS A MI CORAZON"**

### ***mi segunda madre***

**Sra. Andrea Vega de Villegas**

**"HACE CASI 28 AÑOS QUE DIOS NOS UNIO EN LA CEREMONIA DEL BAUTIZO Y HOY EL NOS HA SEPARADO. SIN EMBARGO LE DOY GRACIAS POR HABERLA ESCOGIDO COMO MI SEGUNDA MADRE"**

### ***mi familia de morelos***

**Sr. Jose Alfredo Gonzalez Verdugo**

**Sra. Josefina Espinoza de Gonzalez**

**"ESPERO QUE ALGUN DIA PUEDA HACER POR USTEDES EL BIEN QUE ME HAN HECHO AL ACEPTARME EN SU SENO FAMILIAR"**

**Mis amigos y parientes.**

**Mis ex-profesores y amigos de la Escuela de Ingeniería Civil de La Universidad de Sonora.**

**"A TODOS USTEDES QUE DIOS LOS BENDIGA"**

**LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**"MI RESPETO Y ADMIRACION"**

## **CON AGRADECIMIENTO A**

***Ing. Héctor Garduño Velasco, Ing. Enrique Ortega Gil, Dr. Enzo Levi Lattes, Dr. Polioptro Martínez Austria por el apoyo que me dieron en el tiempo que duraron mis estudios confiando sólo en mi interés por la hidráulica.***

***M.C. Gilberto Solís Garza quién me facilito información de sus trabajos de investigación, así como material adicional referente a las plantas nativas del desierto de Sonora.***

***Ing. Rafael Sanz Ramos, Ing. Amílcar Zamorano, Ing. Jesús Alfonso Landavazos Gracia, Ing. Abel Robles Monteverde, Sr. Manuel Bojorquez, quienes fueron mis primeros contactos en lo concerniente a la agricultura de escurrimiento practicada en el Estado de Sonora, así como información adicional para el desarrollo del presente trabajo.***

***Dra. Laura Mayagoitia Penagos por su participación en el capítulo 1 y sus valiosos comentarios en la formación de los demás capítulos.***

***Mis sinodales Dr. Enzo Levi Lattes, Dr. Francisco Javier Aparicio Mijares, Dr. Jaime Collado Moctezuma, Dr. Polioptro Martínez Austria, Dr. Michel Rosengaus Moshinsky por sus valiosos comentarios en la revisión del presente trabajo.***

***Ing. Eladio E. Viveros Mora, Sr. Ignacio Taboada, Sr. Adrian Navarro por el apoyo técnico al presente trabajo.***

***Instituto Mexicano de Tecnología del Agua por el apoyo económico en mis estudios de maestría.***

## **P R E F A C I O**

*El presente trabajo es una recopilación de información esparcida en el Estado de Sonora, así como otra que ha sido descrita en el campo respaldada más tarde por especialistas en el ramo, pero no debe ser establecida como un dogma, al contrario, debe ser mejorada con el tiempo y la práctica.*

*Este trabajo es una introducción a lo que puede ser la agricultura de escurrimiento en Sonora porque es algo novedoso para mucha gente, incluyendo funcionarios del Gobierno Federal y Estatal.*

*Cuando empecé con la realización de este trabajo en Sonora, el panorama se presento árido (como el mismo Estado) porque la gente no podía entender como se podía establecer una zona de riego en regiones donde la precipitación es de 250 mm, si un cultivo requería de 500 mm de precipitación para sobrevivir. Cuando este trabajo les llegue a sus manos, muchas de sus dudas serán esclarecidas tomando como ejemplo el país de Israel que es el impulsor de la técnica de agricultura de escurrimiento, región donde la precipitación promedio es de 115 mm en años que llueve.*

*La satisfacción que encuentro en la presente obra, es que será de gran ayuda para la gente que encuentra en la agricultura de temporal un apoyo para su economía porque se muestran los antecedentes de la agricultura de escurrimiento, una descripción formal del Estado de Sonora desde el punto de vista climático y topográfico, la vegetación que puede ser explotada mediante los sistemas de aprovechamiento de escurrimiento expuestos.*

*De toda la bibliografía revisada, ninguna muestra como puede ser explotada la agricultura de temporal en Sonora.*

*Hugo Acosta Borbón  
Cuernavaca, Morelos; noviembre de 1991*

# CONTENIDO

## INTRODUCCION

<b>CAPITULO 1 ANTECEDENTES DE LA AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO . . .</b>	<b>1</b>
<b>1.1.- LA AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO EN ISRAEL . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>1.2.- AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO ANTIGUA . . . . .</b>	<b>2</b>
1.2.1.- Agricultura Antigua del Negev . . . . .	2
1.2.2.- Agricultura Antigua en otras Regiones del Mundo . . . . .	2
<b>1.3.- DE LA LLUVIA DEL DESIERTO A LA IRRIGACION;         SISTEMAS DE AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO . . . . .</b>	<b>3</b>
1.3.1.- El Principio de la Agricultura de Escurrimiento . . . . .	3
1.3.2.- Antiguos Sistemas de Cosechas de Temporal . . . . .	3
1.3.3.- Nuevos Sistemas para Cosechas de Riego . . . . .	7
<b>1.4.- LAS GRANJAS DE ESCURRIMIENTO DEL DESIERTO:         "AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO MODERNA" . . . . .</b>	<b>9</b>
1.4.1.- La Granja de Shivta . . . . .	9
1.4.2.- La Granja de Avdat . . . . .	9
1.4.3.- Comida y Forraje en Avdat . . . . .	11
1.4.4.- Incremento de Agua Aprovechable . . . . .	11
1.4.5.- El Parque del Desierto de Avdat . . . . .	11
1.4.6.- La Granja en Wadi Mashash . . . . .	12
1.4.7.- Nuevos cultivos para árboles de combustible (leña) y producción de forraje . . . . .	14
<b>1.5.- REGENERACION ECOLOGICA Y ECONOMICA . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>CAPITULO 2 CULTIVOS ADECUADOS PARA LA AGRICULTURA         DE ESCURRIMIENTO EN SONORA . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>2.1.- UBICACION DEL ESTADO DE SONORA . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>2.2.- TIPO DE CLIMA . . . . .</b>	<b>17</b>
2.2.1.- Agricultura de Escurrimiento por Clima . . . . .	19
<b>2.3.- TIPO DE SUELO . . . . .</b>	<b>19</b>
2.3.1.- Agricultura de Escurrimiento por Suelo . . . . .	24
<b>2.4.- CULTIVOS ADECUADOS EN LA AGRICULTURA DE         ESCURRIMIENTO . . . . .</b>	<b>24</b>
2.4.1.- Región Serrana . . . . .	25
2.4.2.- Zona Costera: Desierto de Sonora . . . . .	27
<b>2.5.- RECOMENDACIONES PARA ADOPTAR LA AGRICULTURA         DE ESCURRIMIENTO EN SONORA . . . . .</b>	<b>34</b>

<b>CAPITULO 3</b>	<b>SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL</b>	<b>38</b>
3.1.-	INTRODUCCION	38
3.2.-	MICROCUENCA	39
3.3.-	SISTEMA DE RIEGO POR ENTARQUINAMIENTO	41
3.4.-	SISTEMA DE CONTROL DE ESCURRIMIENTO	43
3.4.1.-	Cuenca Artificial	43
3.4.2.-	Canal de Conducción	44
3.4.3.-	Obra de Captación	48
3.5.-	SISTEMA DE RIEGO POR BOLSEO	50
3.6.-	PROYECTO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR BOLSEO	53
3.6.1.-	INTRODUCCION	53
3.6.1.1.-	Antecedentes	53
3.6.1.2.-	Objetivos	53
3.6.1.3.-	Localización del Area	53
3.6.1.4.-	Suelos	54
3.6.1.5.-	Hidrológico	54
3.6.1.6.-	Climatología	54
3.6.1.7.-	Descripción del Proyecto	55
<b>CAPITULO 4</b>	<b>EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO "SISTEMA DE RIEGO POR BOLSEO: LA MANGA"</b>	<b>58</b>
4.1.-	INTRODUCCION	58
4.2.-	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	59
4.3.-	EVALUACION ECONOMICA	61
4.4.-	CONCLUSION DEL PROYECTO	71
<b>CAPITULO 5</b>	<b>EJEMPLO DE AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO APLICADA AL DESIERTO DE SONORA</b>	<b>73</b>
	PARTE 1: PRÉCIPITACION DE DISEÑO	74
	PARTE 2: DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE ESCURRIMIENTO	82
<b>CAPITULO 6</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>93</b>
	REFERENCIAS	96

## INTRODUCCION

Más de un tercio de la superficie terrestre está formado por desiertos con una clasificación de terreno que van de semiárido a hiperárido, cuyas características son altas y drásticas fluctuaciones de temperatura, viento, abonos salinos y alcalinos (bajos en materia orgánica y nutrientes minerales) y es significativa la escasa e impredecible lluvia.

A nivel mundial el 80% de la agricultura de las tierras secas son afectadas por una moderada o severa desertificación. La falta de planeación en la agricultura y el pastoreo han empobrecido de manera simultánea a las tierras y a las personas cuya forma de vida depende de ellas.

Esta decadencia ecológica y económica ha golpeado fuertemente al continente africano, en donde el 40% de la gente vive en países cuya producción de granos es menor que la de la generación anterior. Se estima que en 1984, 100 millones de personas estaban desnutridas o hambrientas.

Mientras la irrigación es esencial para obtener producciones altas en agricultura de tierras áridas, muchos proyectos de irrigación han sido tan complicados y caros que al final fallan. La región del Sub-Sahara en el oeste de Africa, conocido como el Sahel, permanece como un poderoso testimonio de este hecho: decenas de miles de hectáreas fueron tratadas por irrigación a finales de los setentas y principios de los ochentas. Una cantidad equivalente de hectáreas fue sacada de la producción debido a la anegación y salinización causada por el uso de sistemas inapropiados de irrigación.

Mientras estos sistemas pueden tener beneficios a corto plazo, frecuentemente y a gran escala, desarrollan desastres financieros y sociales, y han creado una tendencia a desconfiar de los intentos por introducir nuevas técnicas o tecnologías.

En el Estado de Sonora (México), cada año se dejan de cultivar superficies por riego tecnificado debido a la limitación del agua, y otros cultivos no son redituables por el alto costo de la energía eléctrica como es el caso del trigo. La producción de granos en Sonora en este año (1991), fue el 40% del total a nivel nacional, sin embargo, algunos cultivos como el trigo, soya, etc. son subsidiados por el gobierno federal.

En el noroeste del Estado donde el desierto es más notorio, la superficie no es aprovechada para cultivos a pesar de que se pueden manejar los escurrimientos porque las lluvias que se presentan son muy intensas que hace que el agua fluya como torrencial o fuertes avenidas.

El presente trabajo muestra el potencial de la agricultura de escurrimiento que puede ser aplicada en Sonora, en donde sólo se utiliza el método de sistema de riego por bolseo para aprovechar los escurrimientos. Además, se hace un análisis del Estado por clima, suelo y topografía para establecer cultivos de temporal que sean irrigados por los escurrimientos de lluvias.

La obra en sí, está compuesta de 6 capítulos descritos a continuación:

En el CAPITULO 1 se describen los antecedentes de la agricultura de escurrimiento en las culturas antiguas de la humanidad. Haciendo un análisis en Israel, que en las últimas décadas se ha vuelto el principal impulsor de esta nueva técnica de aprovechamiento de escurrimiento.

En el CAPITULO 2 se presenta el análisis de los climas y suelos del Estado de Sonora para la aplicación de la agricultura de escurrimiento, además de considerar la topografía del terreno. También se describen algunas plantas que pueden ser adaptadas a las condiciones de aprovechamiento de escurrimiento tanto en la región de la sierra como en el desierto de Sonora de la zona costera.

El CAPITULO 3 se orienta a la descripción de los métodos que pueden ser aprovechados en el desierto de Sonora para el manejo y control de los escurrimientos en el aprovechamiento de zonas de riego. Además, muestra una síntesis del proyecto de sistema de riego por bolseo, que es un método que se ha venido utilizando desde principios de la década de los setenta.

El CAPITULO 4 presenta el análisis de factibilidad económica del proyecto del sistema de riego por bolseo del capítulo anterior.

El CAPITULO 5 muestra el diseño de un sistema de control de escurrimiento, que constituye la agricultura de escurrimiento aplicada en el desierto de Sonora.

En el CAPITULO 6 se presentan las conclusiones del presente trabajo.

# **C A P I T U L O 1**

## **ANTECEDENTES DE LA AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO**

## CAPITULO 1

### ANTECEDENTES DE LA AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO

#### 1.1.- LA AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO EN ISRAEL

Las Granjas de Escurrimiento del Desierto, dirigidas por la Universidad Hebrea de Jerusalem y el Instituto Jacob Blaustein para Investigaciones del Desierto y parte de la Universidad Ben-Gurion del Negev, están usando un sistema antiguo de sembradíos para convertir las áreas del desierto del Negev en tierras de cosechas productivas con menos de 10 cm de lluvia al año. Conocida como "agricultura de escurrimiento" o "cosecha de agua", esta técnica de irrigación es conveniente para muchas regiones secas del mundo en desarrollo y puede ayudar en la lucha contra el hambre y la carestía de combustible (leña), produciendo recursos adecuados y renovables de una gran variedad de cosechas.

Sistema simple e independiente desarrollado y explotado con éxito en muchas partes del mundo hace más de 3000 años, la agricultura de escurrimiento incluye la colecta y canalización de agua de escurrimientos naturales por tormentas esporádicas en el desierto, hacia campos de cultivos. La agricultura de escurrimiento puede tener éxito significativo en donde otros métodos han fallado, porque al mismo tiempo es compatible con los frágiles ecosistemas de tierras secas y es modesta en sus requerimientos técnicos y económicos. Es una alternativa conveniente para miles de comunidades dispersas que no pueden ser dotadas con proyectos complejos de irrigación.

Las granjas en Avdat y Wadi Mashash han tenido éxito en el crecimiento de muchas clases de cultivos bajo condiciones de escurrimiento, incluyendo almendras, olivos, pistaches, duraznos, uvas, sorgo, trigo, cebada, habas, gran variedad de plantas de pastura y de especies de árboles para combustible. La investigación enfocada en las granjas abarca sistemas de colección de lluvia, selección de cosechas, fisiología de las plantas, horticultura, hidrología, meteorología y ecología del desierto.

Las Granjas de Escurrimiento del Desierto tienen un avance aceptable porque están integradas para conjuntar las necesidades de los granjeros de las tierras secas y del pastoreo, incluyendo el desarrollo de prácticas agrícolas complementarias que pueden mejorar la agricultura de escurrimiento. Las áreas de investigación incluyen:

- Introducción de cosechas nuevas.- la selección, mejoramiento y desarrollo económico de plantas silvestres no explotadas adaptadas naturalmente a ambientes áridos y semiáridos.

- Agroforestación.- cultivos asociados que usan combinaciones de árboles que se complementan: arbustos y campos de cultivo que comparten agua y nutrientes.
- Técnicas innovativas de cría de animales.- destinadas al óptimo desarrollo de cría de ganado bajo condiciones de suministro limitado de alimento y agua.

A través de los cursos y el desarrollo de proyectos de cooperativas, los resultados de la investigación se transfieren a otras regiones del mundo en donde se integran a las prácticas agrícolas y pueden influir en la regeneración ecológica y ambiental.

## 1.2.- AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO ANTIGUA

### 1.2.1.- Agricultura Antigua del Negev

Los escurrimientos eran utilizados para transformar en prósperas las tierras de cultivo que permanecían inactivas por siglos, cuando el árido Negev proporcionaba sólo tierras de pastizaje esparcido y escasas cosechas a su población nómada. A principio de los cincuenta, científicos e investigadores empezaron a descubrir indicios de la antigua agricultura del desierto, cuando descubrieron las ruinas de seis ciudades antiguas y miles de paredes de piedra en línea a través de valles y colinas estériles. Ahora se sabe que esas estructuras primitivas y complicadas convertían este desierto en una fuente de alimento para decenas de miles de colonizadores antiguos. En los 2000 km<sup>2</sup> de extensión desértica entre las ciudades del viejo Negev de Karnub y Nitzana, virtualmente cada metro cuadrado de tierra está puesto al servicio de la agricultura como un área colectora de agua o un área de cultivo. Existe la hipótesis de que el Negev debe haber tenido 30 - 50% más lluvia en el tiempo antiguo que en el actual. Esta cantidad aún puede ser un poco más pequeña que la necesitada normalmente por la agricultura de temporal.

### 1.2.2.- Agricultura Antigua en otras Regiones del Mundo

La cosecha de temporal era practicada en tiempos antiguos en Siria, Persia, Jordán, Sur Arabia, en algún grado en la Unión Soviética, al oeste de China y Norteamérica. En el norte de Yemen, un sistema que data por lo menos del año 1000 A.C. aportaba un escurrimiento suficiente para irrigar 20000 hectáreas, produciendo productos agrícolas que deben haber alimentado a 300,000 personas. Se reporta a principios de la década de 1950 que los granjeros en esta misma área irrigaban casi 1700 hectáreas con escurrimientos haciendo de la región tal vez uno de los pocos lugares de la tierra donde la agricultura de escurrimiento ha sido usada continuamente desde principios de su colonización.

En los desiertos áridos del norte de Africa, particularmente en el sureste de Argelia y Tunez, existen indicios de la agricultura de escurrimiento. En el tiempo de los romanos, cuando la lluvia era insuficiente y otros recursos hidráulicos no existían, los sistemas de agricultura de escurrimiento se construían con frecuencia. Esto ayuda a explicar porqué el norte de Africa vino a ser el granero de Roma, abasteciéndolo de dos terceras partes de sus necesidades de granos.

### **1.3.- DE LA LLUVIA DEL DESIERTO A LA IRRIGACION; SISTEMAS DE AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO**

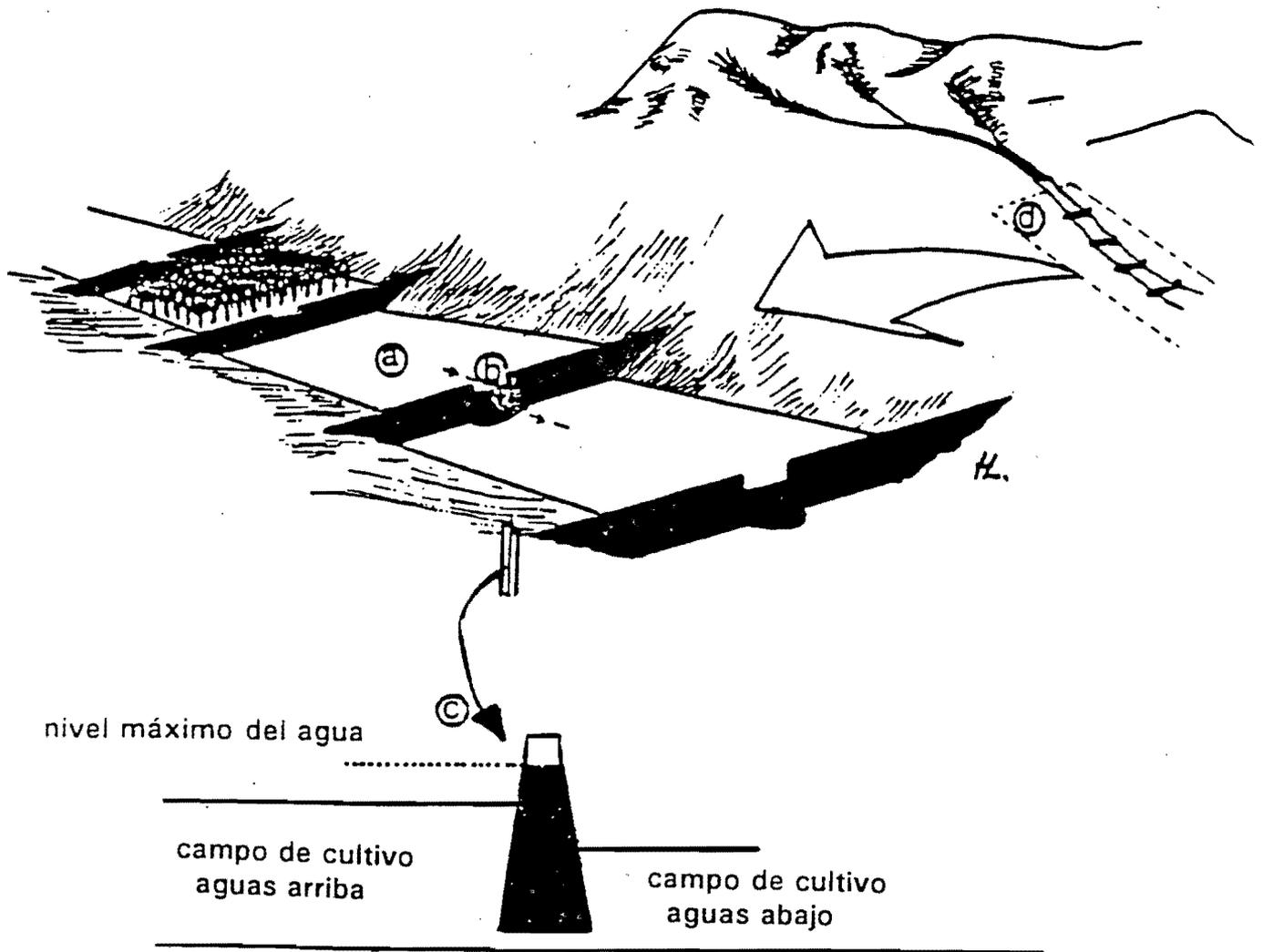
#### **1.3.1.- El Principio de la Agricultura de Escurrimiento**

La creciente de escurrimiento se genera cuando la lluvia no puede ser absorbida por el terreno, debido a la gran intensidad de la tormenta que golpea el suelo caracterizado por: rocas salientes, un gran porcentaje de arcilla o a la formación de una capa impermeable cuando está mojada y las crecientes han sido asociadas con la erosión, por tanto no son adecuadas para muchos sistemas agrícolas. Una variedad de sistemas sencillos puede cambiar el potencial de flujo destructivo en aguas de irrigación vivificantes colectándolos y canalizándolos hacia campos cultivados. Estos campos absorben grandes cantidades de agua captada en pocos días, creando una reserva de agua que es llevada hacia los cultivos durante la larga estación de sequía.

#### **1.3.2.- Antiguos Sistemas de Cosechas de Temporal**

Hay diferentes clases de sistemas de cosechas de temporal cada una adecuada al tipo de terreno y especie de planta. El sistema más simple utilizado por los agricultores del antiguo Negev llamada "Sistema de Terraza", contiene cultivos en campos o terrazas construídas directamente, en un lecho de río pequeño y seco conocido en diferentes regiones geográficas como wadi, valle, lugga, wash o arroyo. Los campos son formados construyendo una serie de paredes de piedra horizontales a través del valle, que retienen una porción de agua que permite que el exceso caiga de manera adecuada en los campos de abajo (figura 1.1).

FIGURA 1.1

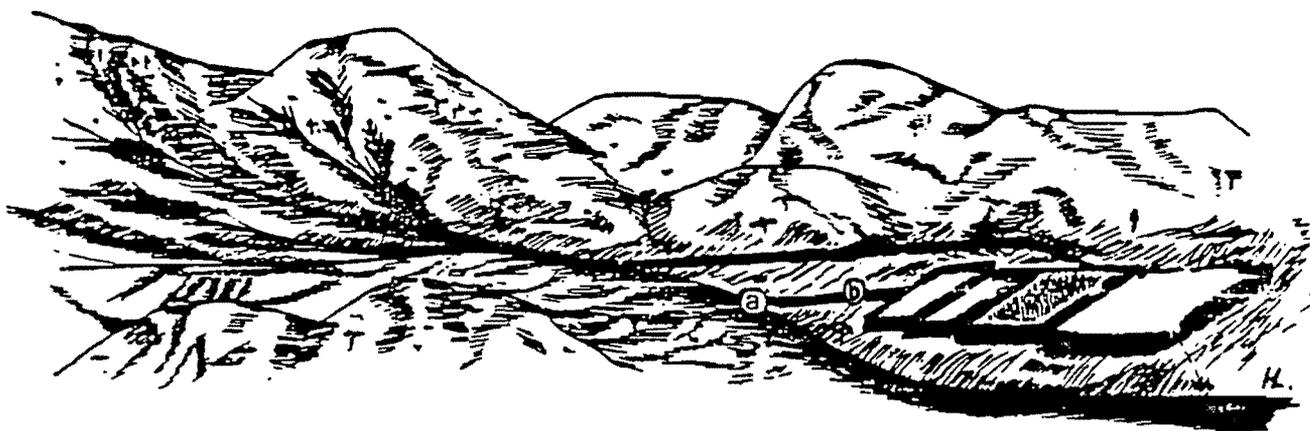


Sistema de terraza. El flujo de agua llena el campo de arriba (a) con un tirante específico determinado por la altura de la pared de la terraza. El exceso de agua pasa como cascada por un vertedor al campo de abajo. En el punto (c), se muestra la sección transversal de la terraza, indicando los campos de cultivo aguas arriba y aguas abajo y la sección de la pared de la terraza. El ancho de la base se incrementa por estabilidad. En el punto (d) se muestra una vista en planta del sistema de terraza.

El segundo sistema presenta una técnica de desviación para canalizar el agua hacia un valle largo cuya creciente podría destruir las paredes de la terraza. En el valle se construye una represa con suficiente altura para levantar el agua por medio de un canal que va dirigido a los grandes campos de terraza construidos en planos de inundación adyacentes (figura 1.2).

FIGURA 1.2

---

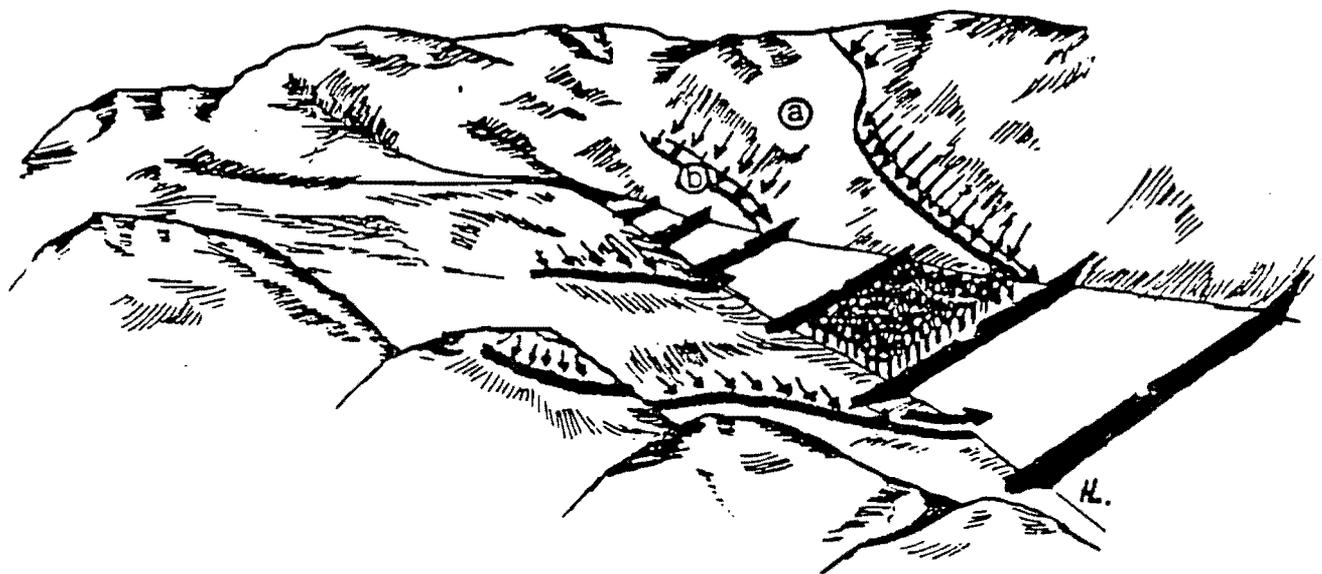


Un sistema de desviación. Una presa en el punto (a) eleva la creciente fuera del wadi (arroyo) y lo desvía a un canal (b) el cual lo encauza a los campos adyacentes.

El tercer sistema de cosecha de temporal usado extensamente en tiempos antiguos y uno de los principales métodos usados en los campos de Avdat es el sistema de canales de conducción (figura 1.3). Este sistema consta de dos partes:

- 1) Un grupo de terrazas de campos cultivados, generalmente localizados en los lechos de valles subalternos, depresiones o planos de inundación.
- 2) El área de captación, taludes alrededor de los cultivos que suministran a los campos agua de escurrimiento, por medio de canales de conducción que corren diagonalmente a lo largo de las laderas de las colinas.

FIGURA 1.3

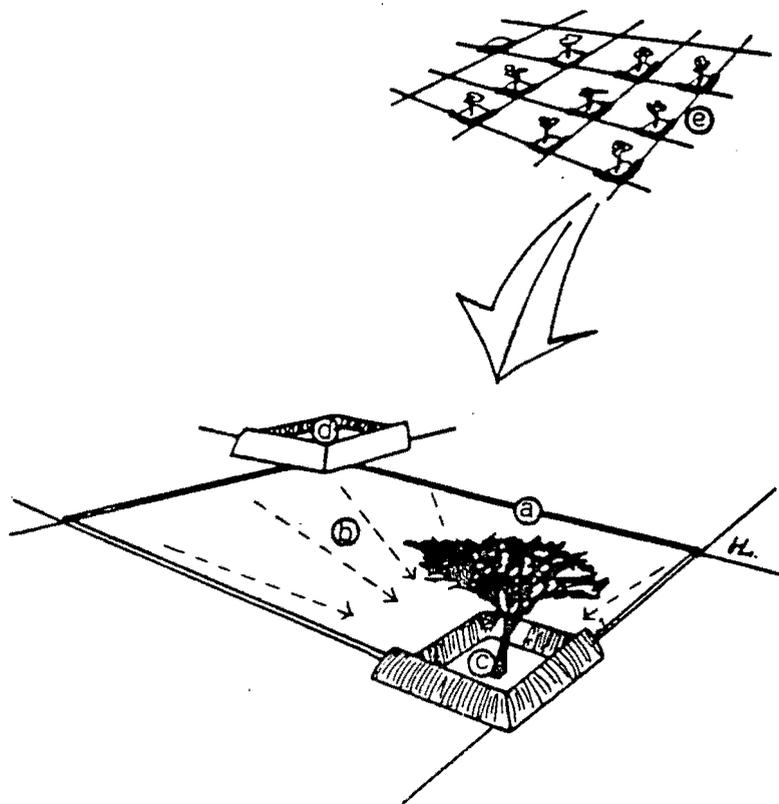


Sistema de canales de conducción. El agua escurre desde el área de captación (a) a canales de conducción angostos (b), que rara vez miden más que  $0.10 \text{ m}^2$  de sección transversal. Los canales acarrean el agua de escurrimiento directamente a un campo bajo. La relación promedio del área de captación al área cultivada en la granja Avdat es 20:1.

### 1.3.3.- Nuevos Sistemas para Cosechas de Riego

Los sistemas de cosecha de temporal adicional nuevos, o que, tal vez existieron en tiempos antiguos pero no dejaron indicios, han sido usados efectivamente en el desierto del Negev y en otras partes. El cuarto sistema usa microcuencas que dan a cada planta su propia pequeña área de captación de agua. El tamaño óptimo debe ser determinado por diversas especies y ambiente. Las paredes que circundan la microcuenca deben tener por lo menos 15 cm y puede ser hechas completamente de tierra (figura 1.4). Introducidas a Israel de Túnez, las microcuencas son aun más fáciles de construir y menos caras de instalar y mantener que los sistemas de canales de conducción y campos de terrazas.

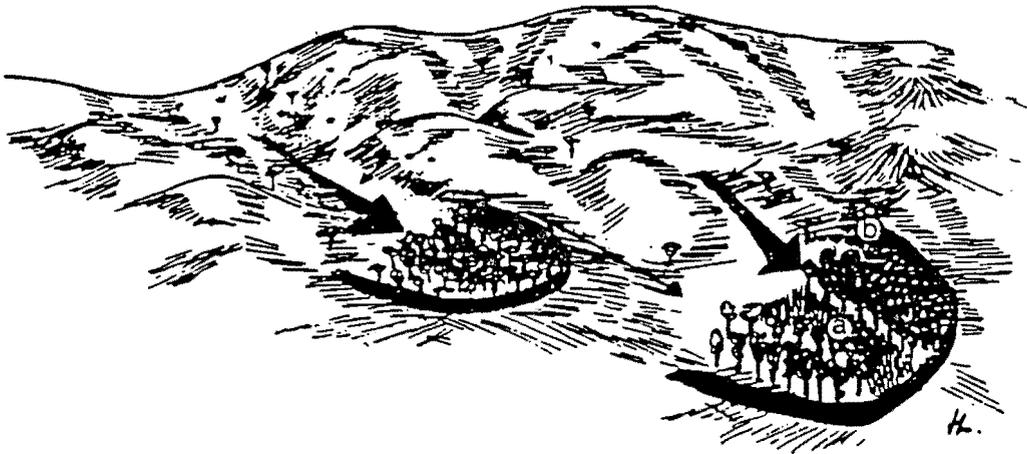
FIGURA 1.4



Un sistema de microcuenca. Bajas paredes de tierra (a) circundan una pequeña área de captación (b), construida con una ligera inclinación del plano de inundación. El agua escurre desde el área de captación a pequeños estanques de plantación (c) en el punto más bajo de la porción del terreno. En el punto (d) está el estanque de una microcuenca adyacente. Las microcuencas son construidas en serie, como se ilustra en el punto (e).

El quinto sistema usado extensamente en la granja de Wadi Mashash es llamado "liman". Derivado del griego "limne" ó "lago" que se parece a los campos inundados, el liman usualmente atrapa el flujo de agua superficial en un campo largo por medio de una represa de varios lados construida en un plano de inundación, depresión poco profunda o vado subalterno (figura 1.5). Las paredes del liman son mucho más largas que las de las microcuencas, pero también pueden ser construidas solamente de tierra.

FIGURA 1.5



Sistema de Liman. El agua escurre de las laderas de las colinas (área de captación del flujo) a los campos de cultivo, construidos en depresiones poco profundas ó planos de inundación y abierto hacia el lado alto de la colina (a). El exceso de agua puede salir por el punto (b) o por un vertedor construido en la pared del liman.

Muchos de estos sistemas de cosecha de lluvia usan vertedores de piedra y pequeños escalones inclinados, para facilitar la transferencia de agua de los campos altos a los bajos y, por lo tanto, previenen la ruptura del dique y la erosión. Estas estructuras, al igual que los canales conductores y las paredes que circundan los campos, son fáciles de construir y pueden ser hechas con materiales y mano de obra locales.

Mientras los cinco sistemas descritos anteriormente son las principales técnicas usadas para captar la lluvia en las Granjas de Escurrimiento del Desierto, las variedades de las principales cosechas de temporal abundan ejemplo: utilizando un contorno de captación que consiste en una pared baja de tierra construida a lo largo de la orilla del área de captación de una represa y hospeda plantas que crecen encima de la pared. Es ideal para áreas demasiado inclinadas o para otros tipos de campos, y provee la ventaja adicional de controlar la erosión de esas laderas.

#### 1.4.- LAS GRANJAS DE ESCURRIMIENTO DEL DESIERTO: "AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO MODERNA"

Al final de los años cincuenta los fundadores de las Unidades de Granjas de Escurrimiento del Desierto empezaron a aclarar el misterio del pasado de la agricultura del Negev. Los años siguientes en un trabajo preliminar este equipo interdisciplinario de científicos reconstruyó dos granjas cerca de los pueblos antiguos de Shivta y Avdat, y después una tercera en Wadi Mashash.

##### 1.4.1.- La Granja de Shivta

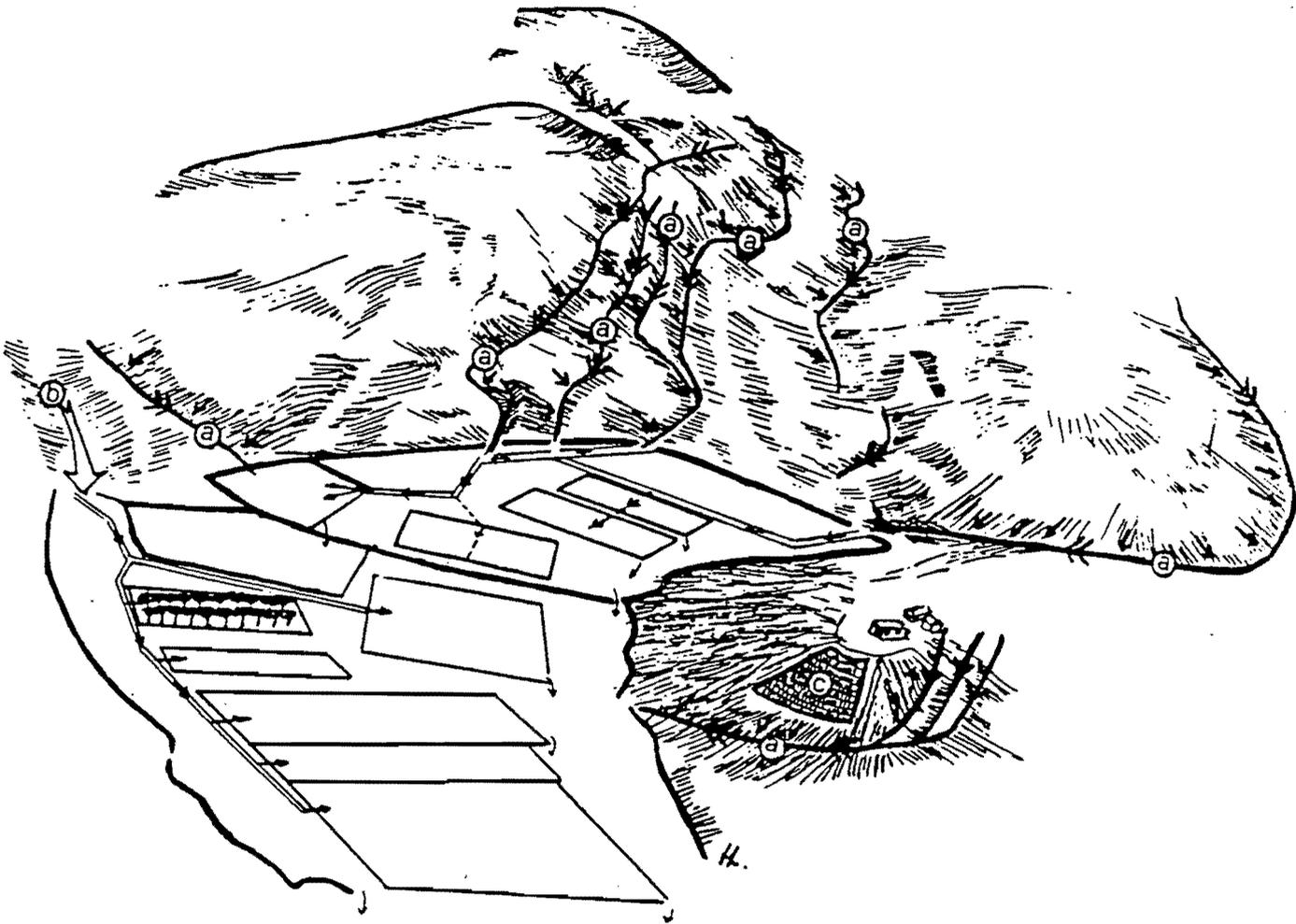
La granja de Shivta se reconstruyó tanto como fue posible, usando el sistema de distribución de agua del rancho original de Nabatean. Las plantaciones se restringieron a aquellas especies de árboles conocidas en documentos antiguos que crecieron en el este durante el siglo VI y VII de la era cristiana. Incluían olivos, granadas, almendras, higos, algarroba, pistaches, albaricoque, duraznos, ciruelas y uvas. Muchos de los árboles en Shivta dieron buenas producciones de temporal y poco durante la sequía.

A pesar de que no había personal en la granja desde el final de 1970, debido a limitaciones financieras, los árboles continuaron produciendo fruta, demostrando la gran capacidad del sistema para funcionar sin mantenimiento a pesar de todo.

##### 1.4.2.- La Granja de Avdat

Entre 1959 a 1978, fueron construidas y plantadas ocho hectáreas de campo con casi 3000 árboles frutales y una gran variedad de cereales, vegetales, legumbres y plantas de pastizaje. Como Avdat era una granja experimental donde la entrada de agua a los campos debía ser medida y controlada con precisión, se implantó un sistema moderno de distribución de flujo de agua en vez del sistema antiguo (figura 1.6). Las investigaciones en Avdat pretendían probar nuevas cosechas incrementando la producción y ampliando la aplicación de las granjas de escurrimiento.

FIGURA 1.6



El plan de la granja de Avdat. El escurrimiento es llevado a la granja por canales conductores en los puntos (a), por un wadi (arroyo) en el punto (b). Después el agua entra a la granja y es parcialmente distribuída a los campos bajos por un sistema de canales y vertedores. En el punto (c) está situado el vivero de árboles, localizado justo debajo de la casa de la granja.

#### 1.4.3.- Comida y Forraje en Avdat

Los árboles frutales fueron seleccionadas con base en registros históricos como en Shivta, pero se pensó que algunas especies adicionales podrían ser agregadas situándolas bajo condiciones de escurrimiento, (cerezas, manzanas y zarzamoras). Los árboles de almendra y pistache producían particularmente grandes cantidades de nuez para esas condiciones de aridez. En un año bueno, los árboles más viejos producían en promedio 10 kg por árbol. La producción de fruta durante el período de sequía se reducía, pero cuando el agua de escurrimiento se aprovechó, el potencial completo de producción se alcanzaba en uno o dos años.

Las cosechas de cereales se desarrollaban bien aun cuando en el resto del noroeste del Negev fallaban. El éxito en cosechas como cebolla, chícharo, zanahoria, alcachofas, espárragos, plantas medicinales y flores, sugiere que la agricultura de escurrimiento puede adecuarse a diversas necesidades. El programa de plantas de pastizaje en Avdat revela un enorme potencial en el crecimiento de forraje animal bajo condiciones de escurrimiento. Casi 100 variedades y especies diferentes de plantas de pastizaje de temporal y perennes fueron probadas. Gran proporción de los cultivos resultó ser resistente a la sequía sobreviviendo sin agua y presentando alta producción en años con buena inundación.

#### 1.4.4.- Incremento de Agua Aprovechable

Varios experimentos en Avdat han incrementado nuestro conocimiento sobre el comportamiento del escurrimiento y por lo tanto se ha aumentado la captación de lluvia de las tormentas del desierto. Ha sido significativo el descubrimiento de que las piedras que aparecen en las superficies al ser colocadas en forma simétrica -asi como los antiguos granjeros lo hacían hace 3000 años- incrementan sustancialmente el escurrimiento, porque reducen la cantidad de agua que se pierde en las grietas abajo de las rocas.

Otro descubrimiento consistía en que la trayectoria de la creciente (a lo largo del área de captación) baja la eficiencia del escurrimiento, debido al incremento de la infiltración, evaporación e intercepción por plantas a lo largo del recorrido.

#### 1.4.5.- El Parque del Desierto de Avdat

Los parques y jardines son en extremo importantes para el buen desarrollo de las personas que viven en las regiones secas de la tierra: les proveen sombra, las protegen del viento y les proporcionan placer estético. En 1975, la Unidad de Granjas de Escurrimiento del Desierto construyeron 1.5 ha de parque en el desierto de Avdat irrigadas completamente con agua de escurrimiento. Con la ayuda del equipo del Instituto BOYKO de Agricultura y Biología Aplicada y la Universidad Ben-

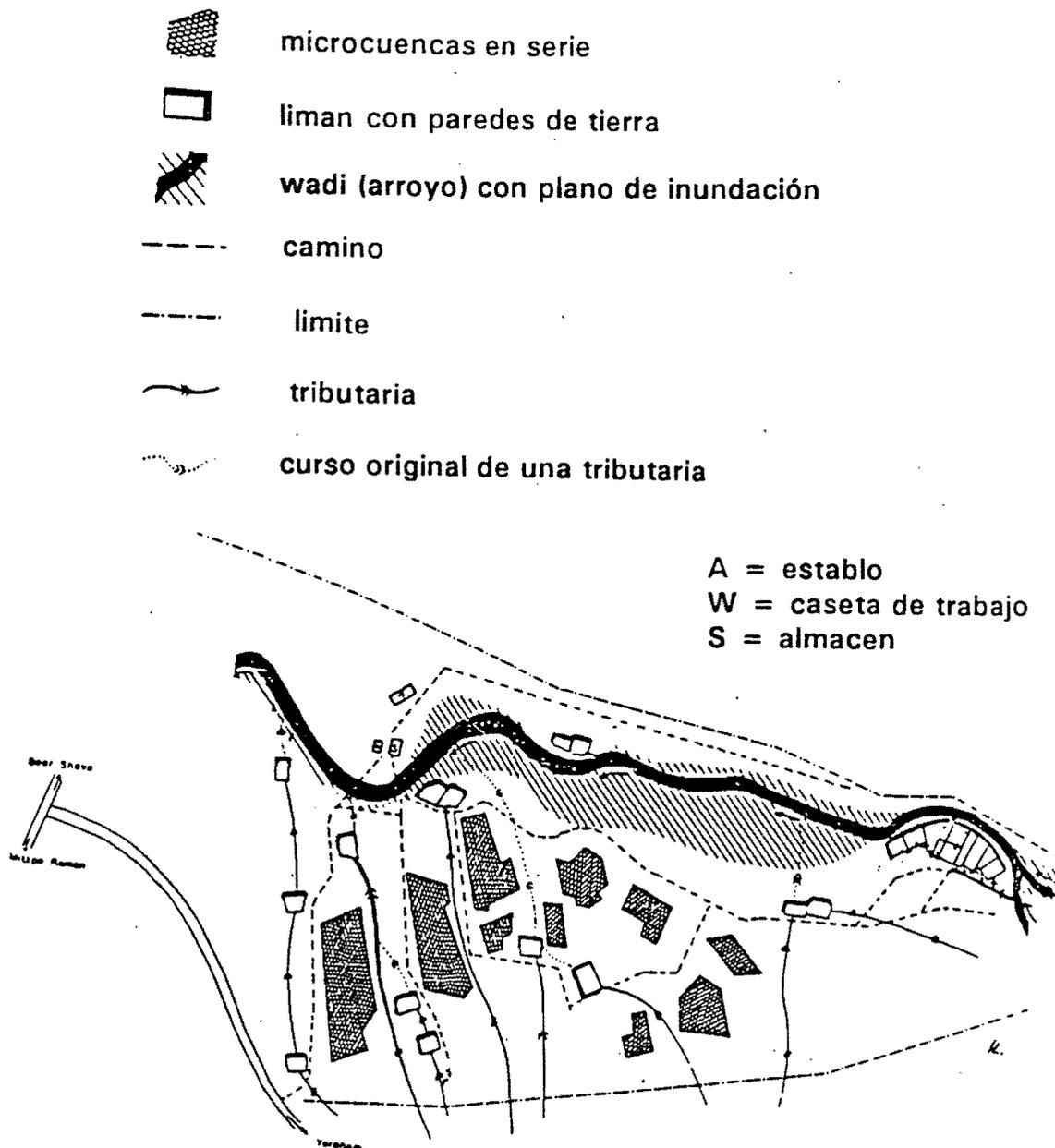
Gurion del Negev, fue plantada una gran variedad de árboles, arbustos, plantas trepadoras, pasto y flores en un campo de la granja. Con base en este éxito la Unidad de Granjas de Escurrimiento del Desierto ayudó a establecer un parque en el desierto cercano al Negev.

#### 1.4.6.- La Granja en Wadi Mashash

Habiendo sido demostrada la validez de la agricultura de escurrimiento, la Unidad de Granjas de Escurrimiento del Desierto construyó una tercera en Wadi Mashash, cerca de la ciudad del Negev llamada Beer Sheva. Esta granja fue desarrollada sin el antecedente de una granja antigua y tiene un clima y topografía parecidas a las zonas desérticas de Africa. El objetivo de la granja de Wadi Mashash es explorar la conveniencia de adaptar nuevos métodos a las necesidades de las personas de otras zonas áridas del mundo. Entre 1971 y 1983 los limans fueron plantados con cerca de 500 árboles de almendra, 1500 olivos y 40 viñedos. En las microcuencas se plantaron frutales, árboles de nuez, una gran cantidad de sembradíos de pastura. Alrededor de la línea de captación y en el fondo del wadi, los árboles frutales se desarrollaron muy bien a pesar de 3 años consecutivos de sequía. En 1981 por ejemplo, un año con buenas crecientes produjo aproximadamente 40 kg de aceitunas y 4.6 kg de almendras por árbol. Aun durante un año de sequía cuando el flujo de agua no alcanzaba el liman, esos árboles produjeron una pequeña cantidad de fruta. La producción anual de las granjas de olivos se compara con los árboles que crecen bajo condiciones agrícolas no irrigadas en áreas con 600 - 800 mm de lluvia anual. En cambio es un hecho de que las granjas del Mashash reciben un promedio anual de solamente 115 mm (figura 1.7).

Las plantas de pastura se desarrollan bien en años con buena lluvia y años de sequía y en el primer año proporcionaron alimento a 200 ovejas adquiridas en el verano de 1973, las cuales parieron 165 corderos.

FIGURA 1.7



El plan de la granja Wadi Mashash. Los limans atrapan el flujo de agua fluyendo en pequeños arroyos tributarios hacia el arroyo principal. En grandes avenidas, el arroyo principal inunda y remoja los márgenes adyacentes (área sombreada).

#### 1.4.7.- Nuevos cultivos para árboles de combustible (leña) y producción de forraje

En 1983 se inició una investigación en la granja de Wadi Mashash que ha llegado a ser el foco de los años futuros: el desarrollo de árboles de leña adaptados a tierras secas y árboles de pastura bajo condiciones de siembra por lluvia.

Fueron probadas diferentes especies como candidatos, después de dos años la *Acacia Silicina* y el *Eucalyptus Occidentalis* alcanzaron alturas de 4 y 6 metros respectivamente. Con la producción de leña obtenida de esos árboles, una familia rural de adultos usando un ciclo de rotación de 2 años, necesitaría para un hombre 0.5 ha de esta *Acacia* ó 0.3 ha de *Eucalyptus* para completar su demanda anual de combustible. La producción de estos árboles es representativamente alta bajo condiciones adversas de aridez y sugiere un potencial para producir grandes cantidades de leña en áreas donde la lluvia es más baja que el mínimo normal considerado necesario. Simultáneamente, un experimento en la granja de Avdat probó la ventaja de medir el tiempo y el número de crecientes para el desarrollo de árboles de leña.

### 1.5.- REGENERACION ECOLOGICA Y ECONOMICA

Es posible revertir el deterioro ecológico, la baja productividad de la tierra, la carestía de alimentos, forraje y combustible y la pérdida de vidas humanas en las regiones áridas y semiáridas en cualquier parte del tercer mundo. Puede lograrse a través de la determinación y movilización integrada de las instituciones de investigación, organizaciones de ayuda, agencias del gobierno y donadores privados. El apoyo reciente para enfrentar las emergencias, el suministro de alimentos como respuesta a la carestía en Africa, ha demostrado un deseo global por terminar con esta crisis prolongada. La ayuda alimentaria es importante en acciones de emergencia, pero solo será apropiada desarrollando iniciativas permanentes que puedan proporcionar respuestas a largo plazo.

Mientras las soluciones deben ser multifacéticas, la Unidad de Granjas de Escurrimiento del Desierto, está conciente de que la agricultura de escurrimiento puede ser una contribución importante para lograr esta meta. En 1985, un comunicado del Banco Mundial concluía: "los cultivos por escurrimientos son potencialmente una de las más importantes técnicas para implementar el crecimiento de las plantas y reducir la erosión en áreas semiáridas. Es esencial que ese potencial sea promovido y explotado".

Es necesaria la acción inmediata para poner fin a décadas de tragedia en las tierras secas del tercer mundo, mediante el establecimiento de sistemas de agricultura de escurrimiento que promuevan el equilibrio ecológico y logren el aumento de su producción en cosechas.

## **C A P I T U L O 2**

**CULTIVOS ADECUADOS PARA LA AGRICULTURA  
DE ESCURRIMIENTO EN SONORA**

## CAPITULO 2

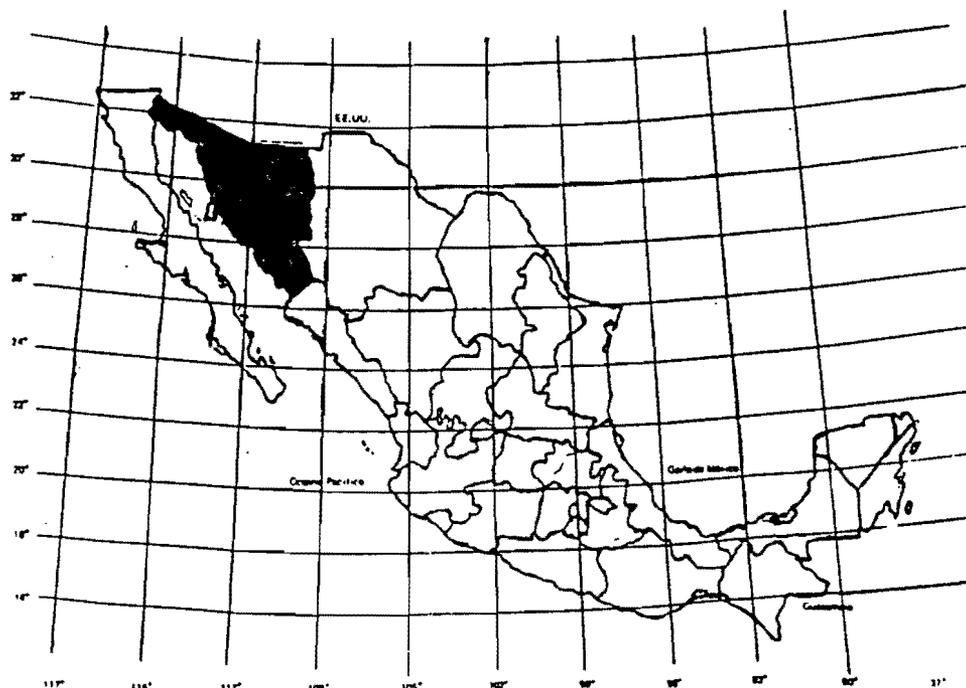
### CULTIVOS ADECUADOS PARA LA AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO EN SONORA

#### 2.1.- UBICACION DEL ESTADO DE SONORA

Sonora se ubica en la región noroeste de la República Mexicana, entre los paralelos  $26^{\circ}13'55''$  y  $32^{\circ}29'06''$  de latitud norte y entre los meridianos  $108^{\circ}27'12''$  y  $115^{\circ}02'56''$  de longitud oeste del meridiano de Greenwich, su capital es Hermosillo y cuenta con 70 municipios. Colinda al norte con los Estados Unidos de Norteamérica a lo largo de 538 km, al este con el estado de Chihuahua con 595 km, al sur con Sinaloa con 117 km, al noroeste con Baja California con 120 km y al oeste con el Golfo de California (Mar de Cortés). Su extensión es de  $185431 \text{ Km}^2$  (segundo lugar respecto a superficie), representando 9.4% del territorio nacional (figura 2.1).

El desierto cubre la parte noroeste, mide  $66940 \text{ km}^2$  (37% de la superficie estatal) y representa 18% de las zonas desérticas del país.

FIGURA 2.1



Mapa de ubicación del Estado de Sonora en la República Mexicana (área sombreada)

## 2.2.- TIPO DE CLIMA

Los climas que se observan en el estado se clasifican en: cálidos, semicálidos y templados. Por su grado de temperatura y de acuerdo con las variantes de precipitación de muy secos hasta los subhúmedos. Las características distintivas que los definen son (figura 2.2):

**CLIMAS CALIDOS:** muy secos, secos, semisecos, subhúmedos. Estos climas tienen una temperatura media anual que fluctúa de los 22 a los 24 °C. La precipitación es el factor que nos indica qué tan secos o qué tan húmedos son; así, los muy secos que son los que predominan dentro de los cálidos, tienen una precipitación menor de 300 mm. Estos comprenden la parte sur de la llanura sonoreense, en los municipios de Hermosillo, Guaymas, Empalme, Bacum, Cajeme, Etchojoa, Navojoa y Huatabampo. Los semisecos tienen de 500 a 700 mm, y los subhúmedos de 700 a 800 mm de precipitación media anual. Estos abarcan zonas más reducidas en la porción central y sur del estado.

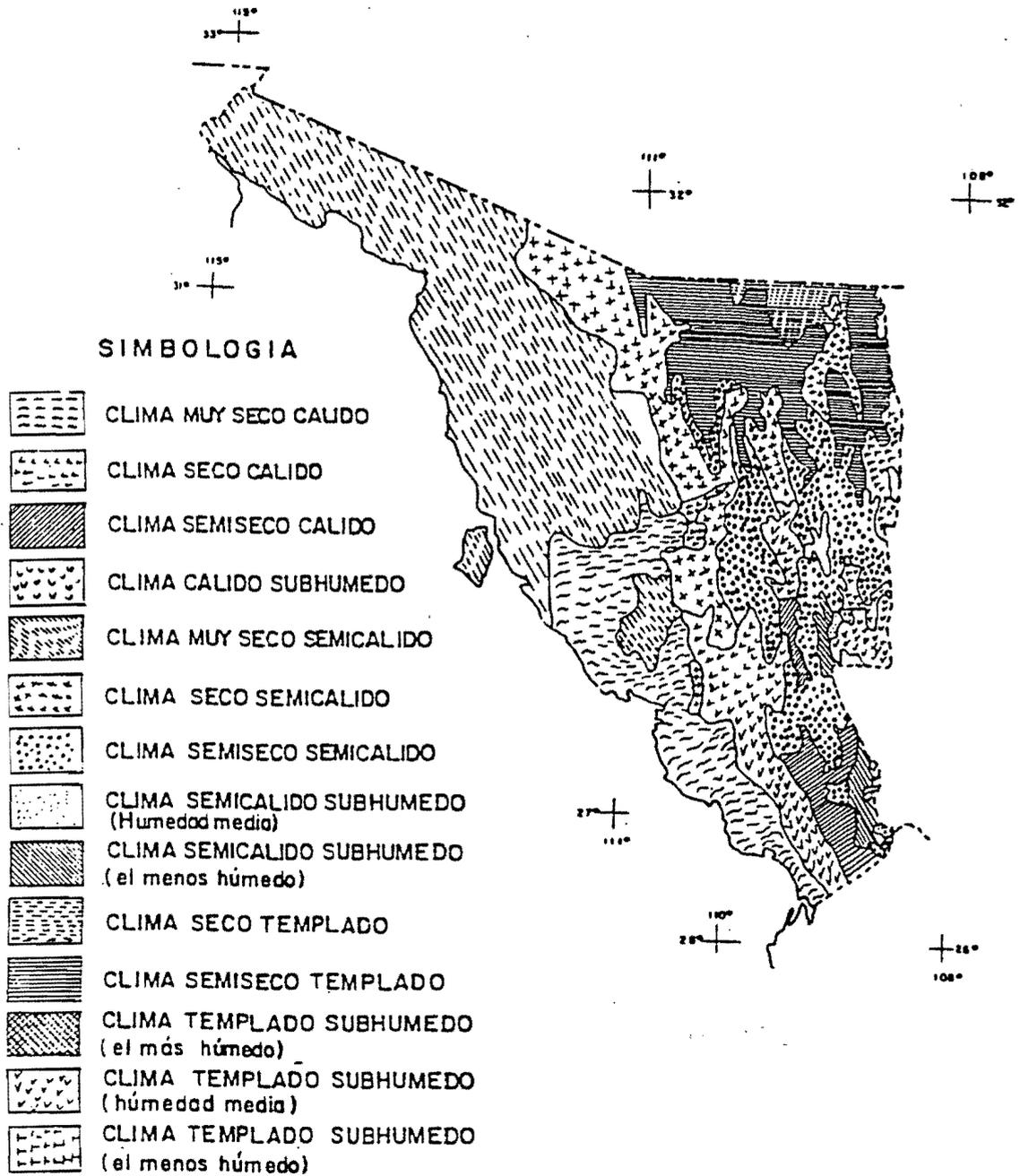
**CLIMAS SEMICALIDOS:** muy secos, semisecos, subhúmedo (de humedad media y menor humedad). En estos climas la temperatura media anual varía de 18 a 22 °C. Los semicálidos muy secos tienen una precipitación menor de los 300 mm.

De todos los climas que se encuentran en el estado, estos abarcan una mayor superficie, comprenden la parte norte de la llanura sonoreense, donde se localizan los municipios de San Luis Río Colorado, Puerto Peñasco, Caborca, Pitiquito, Parte sur de Altar, Oquitoa, Atil, Trincheras, Benjamín Hill y parcialmente, los de Hermosillo, San Miguel de Horcasitas, Opodepe, Santa Ana, Tubutama, la Colorada y Guaymas. Los climas secos tienen de 300 a 500 mm, los semisecos de 500 a 700 mm, y de los subhúmedos, el de humedad media tiene de 800 a 1000 mm y el de menor humedad de 700 a 800 mm de precipitación media anual. Estos climas se encuentran diseminados en la parte central del estado, desde el norte hasta las proximidades con las localidades de Rosario y Quiriego.

**CLIMAS TEMPLADOS:** seco, semiseco, subhúmedos (el más húmedo, humedad media y el de menor humedad). Los templados secos y semisecos, tienen una temperatura media anual de 16 a 18 °C y los subhúmedos (en sus tres rangos de humedad) presentan una fluctuación de 12 a 16 °C. De los templados, los secos y semisecos abarcan una mayor superficie, se localizan en la porción noroeste del estado, en los municipios de Naco, Agua Prieta, Fronteras, Bavispe, Nogales, Santa Cruz, Imuris, Cucurpe, Arizpe, Cananea, Nacozari de García, Bacerac, Huachinera, Huasabas, Bacadehuachi, Granados, Villa Hidalgo, Cumpas, San Pedro de la Cueva, Villa Pesqueira, Baviacora, Tepache, Divisaderos y Sahuaripa. En estos climas el promedio anual de precipitación es de 300 a 400 mm. Los templados subhúmedos, de mayor humedad, de 800 a 1000 mm. De humedad media de 700 a 800 mm y en los de menor humedad de 600 a 700 mm. Estos climas comprenden superficies reducidas en la parte oriente y central del estado.

FIGURA 2.2

# CLIMAS



### 2.2.1.- Agricultura de Ecurrimiento por Clima

Los climas cálidos y semicálidos muy secos con una precipitación menor de los 300 mm, son los más desfavorables para practicar el cultivo de temporal por ser propensos a las sequías. Pero el riesgo de un desastre agrícola producido por sequía, se puede disminuir sembrando las plantas nativas de la región como son: jojoba, chiltepin, orégano, etc. que son plantas que pueden vivir con una mínima cantidad de agua. Algunas plantas del desierto sonorense pueden vivir algunos años sin agua pero no producen frutos (como es el caso de la jojoba).

Comparando las precipitaciones de estos climas desfavorables con las lluvias del desierto del Negev en Israel, con una precipitación promedio (en años que llueve) de 115 mm, mucho menores que las lluvias en Sonora y solo comparable a los años de sequía y en algunas regiones de la zona costera donde llueve menos de 100 mm.

Con lo anterior expuesto, se puede decir que hace falta un gran manejo del aprovechamiento de los escurrimientos de lluvias en la región.

Desde mi punto de vista particular, el Estado de Sonora no presenta dificultades por clima para practicar la agricultura de escurrimiento para los cultivos de verano.

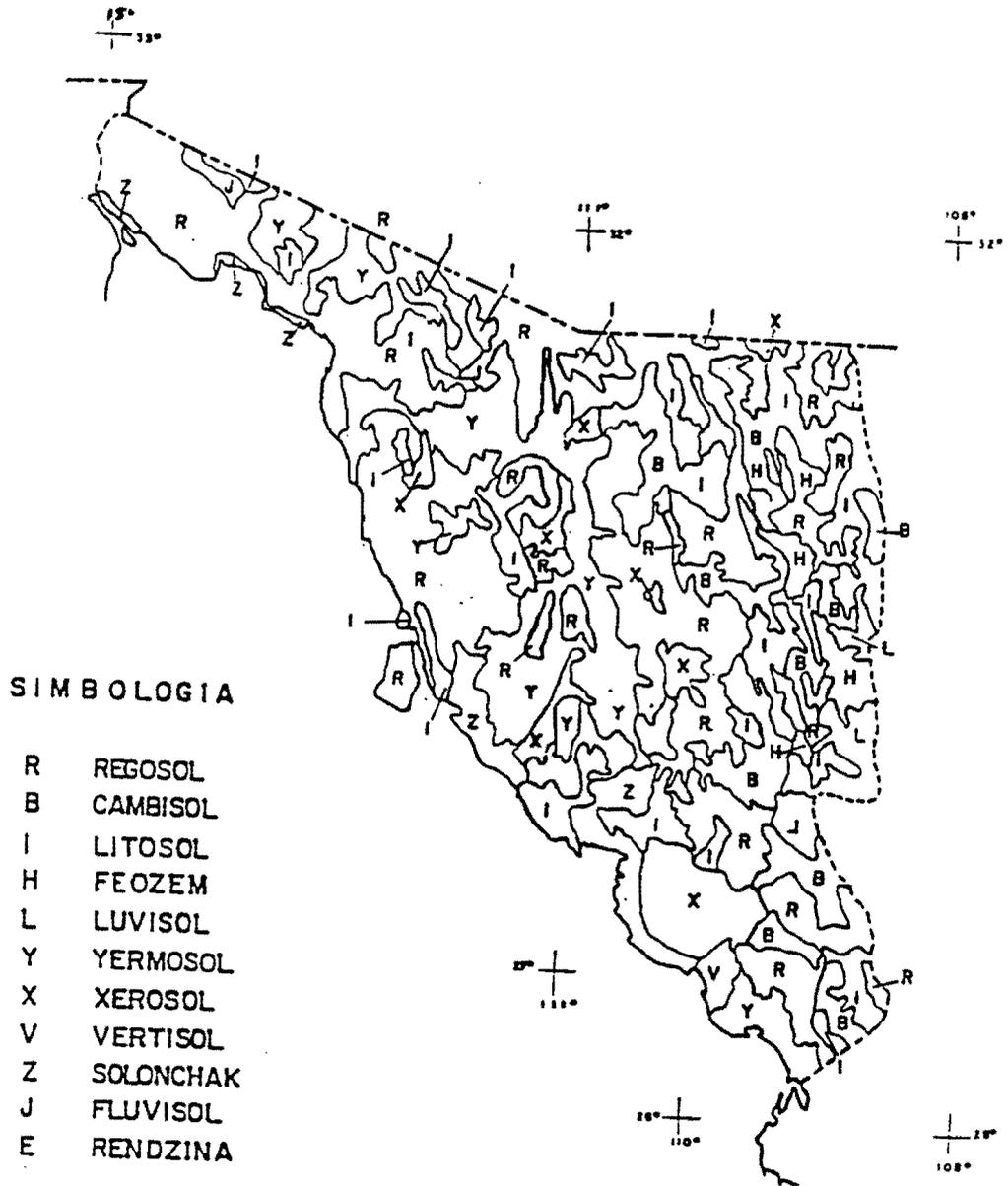
Para establecer los cultivos otoño-invierno de temporal, se debe considerar que las máximas lluvias ocurren en los meses de julio y agosto, que son los que producen los escurrimientos aprovechables para la siembra, mientras las que se presentan en otoño-invierno son mínimas y los escurrimientos también. Estos cultivos no se deben establecer porque las lluvias en estas estaciones varían considerablemente y los riesgos por pérdidas de los cultivos por falta de agua y heladas es de considerarse.

### 2.3.- TIPO DE SUELO

Siguiendo la clasificación edafológica FAO/UNESCO 1970 modificada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, el territorio sonorense está formado por suelos que van de mayor superficie a menor y son (figura 2.3): Regosol (R), Litosol (I), Yermosol (Y), Feozem(H), Xerosol (X), Cambisol(B), Solonchak (Z), Fluvisol (J), Solonetz (S), Rendzina (E), Vertisol (V) y Luvisol (L).

FIGURA 2.3

# EDAFOLOGIA



**REGOSOL:** se caracteriza por no presentar capas distintas. Este suelo es de color claro y se parece a la roca que le dió origen. Se pueden presentar en diferentes climas y con diversos tipos de vegetación. Su susceptibilidad a la erosión es muy variable y depende de la region en que se ubica. Se presenta en todo el estado predominando más en la parte noroeste y centro. El regosol forma en una proporción muy grande al desierto de Altar y se presenta de manera principal en combinación con otros tipos de suelo como son el yermosol, fluvisol, litosol y con todos los demás tipos de suelo en forma secundaria o apenas presente.

**LITOSOL:** es un suelo de distribución muy amplia, se encuentra en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Es un suelo sin desarrollo, con profundidad menor de 10 cm, tienen características muy variables, según el material que los forma. Su susceptibilidad a la erosión depende de la zona donde se encuentran, pudiendo ser desde moderada a alta. El litosol se encuentra distribuido cubriendo una mayor superficie en la parte noreste del estado, donde se localizan las sierras y en menor superficie en la parte sur y noroeste. El litosol forma en menor proporción el desierto de Altar.

**LUVISOL:** es un suelo con acumulación de arcilla, en el subsuelo son rojos o claros, moderadamente ácidos, se presentan en zonas templadas o tropicales lluviosas, su vegetación natural es de selva o bosque y de susceptibilidad alta a la erosión. Se encuentran en los municipios de Sahuaripa, Yecora y Caborca.

**YERMOSOL:** tiene una capa superficial de color claro y es más pobre en materia orgánica que los xerosoles. Debajo de él puede haber un subsuelo rico en arcillas, o carbonatos muy parecidos a la capa superior y presentan cristales de yeso o carbonatos. Se localizan en zonas áridas o semiáridas, su vegetación natural es de pastizales o matorrales. Son suelos de baja susceptibilidad a la erosión, salvo en pendientes y sobre alguna fase física, donde son muy susceptibles a este problema. Se presenta en mayor proporción en la costa de Hermosillo, noroeste del estado y en una reducida superficie en el sur.

**FEOZEM:** tiene una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes, se encuentra desde zonas semiáridas hasta templadas o tropicales. En condiciones naturales tienen casi cualquier tipo de vegetación, se encuentran en terrenos planos hasta montañosos y la susceptibilidad a la erosión depende de la region donde se ubique. El feozem se presenta en la parte de la serranía y en menor proporción que el litosol.

**XEROSOL:** tiene una capa superficial de color claro y es pobre en materia orgánica, debajo puede haber un subsuelo rico en arcilla o carbonatos muy parecidos a la capa superior. Presentan cristales de yeso o carbonatos. Se localizan en zonas áridas y semiáridas. Su vegetación natural es de pastizales y matorrales. Son suelos de baja susceptibilidad a la erosión, salvo en pendientes y sobre alguna fase física. Se presentan en menor proporción en la costa de Hermosillo, en las

regiones de Benjamín Hill y Santa Ana y son escasos en el sur del estado.

**CAMBISOL:** es un suelo joven, poco desarrollado, de cualquier clima, menos zonas áridas, con cualquier tipo de vegetación. En el subsuelo tiene una capa con terrones que presentan un cambio con respecto al tipo de roca subyacente, con alguna acumulación de arcilla, calcio, etc. Susceptibilidad de moderada a alta a la erosión. Se presenta distribuida en superficies reducidas en todo el este del estado, desde la línea fronteriza internacional, hasta el sur, colindando con Sinaloa.

**SOLONCHAK:** se caracteriza por presentar un alto contenido en sales en todo el suelo o en algunas partes. Se presenta en diversos climas y en zonas donde se acumulan sales solubles. Su vegetación (cuando la hay) es de pastizal o plantas que toleran las sales. Son poco susceptibles a la erosión. Se encuentran en las zonas costeras de Bahía San Jorge y Bahía Adair al noroeste, en la región del valle de Guaymas y en la zona costera del sur del estado.

**FLUVISOL:** se forma por materiales de depósitos aluviales recientes (excepto de depósitos marinos). Están constituidos por material suelto que no forma terrones y son pocos desarrollados. Se encuentran en todo tipo de clima, cercano a zonas de acarreo por agua, la vegetación varía desde selva a matorrales y pastizales. En el estado de Sonora su cantidad es muy reducida. Sin embargo es el principal componente del suelo en la región de Caborca. Está distribuido como compuesto secundario en algunas partes de la zona noroeste en combinación con el regosol.

**RENDZINA:** Es un suelo que tiene una capa superficial de materia orgánica que descansa sobre roca caliza o algún material rico en cal. No es muy profunda, es arcillosa y se presenta en climas cálidos o templados, con lluvias moderadas o abundantes. Su susceptibilidad a la erosión es moderada. Está distribuida en la parte este del estado en superficies muy reducidas.

**VERTISOL:** es un suelo que presenta grietas anchas y profundas en la época de sequía. Es suelo muy duro, arcilloso y masivo, frecuentemente negro, gris y rojizo. Es de climas templados y cálidos con una marcada estación seca y otra lluviosa. Su vegetación natural es muy variada. Su susceptibilidad a la erosión es baja. Está distribuido en el noroeste del estado en la región montañosa en superficies muy reducidas y de forma similar en el sur del estado.

Estos suelos descritos presentan fases físicas o químicas y clases texturales en diferente grado que pueden ser una limitante para ser aprovechados en la agricultura. Las fases físicas que llegan a presentar estos suelos son: lítica, gravosa, pedregosa y petrocálcica. Las fases químicas son: salina y sódica. Las clases texturales son: arenas, limos y arcillas.

**FASES FISICAS:** son características físicas del terreno que impiden o limitan el uso agrícola del suelo, o el empleo de maquinaria agrícola.

**Pedregosa.-** Se refiere a la presencia de fragmentos de rocas mayores de 7.5 cm de largo en la superficie del terreno, o cerca de ella. Puede presentarse en tal cantidad que limitan el uso de implementos agrícolas de labranza, en especial mecanizados.

**Gravosa.-** Se refiere a la presencia de fragmentos rocosos menores de 7.5 cm de largo en la superficie del terreno, o cerca de ella. Puede presentarse en gran cantidad de manera que limite el empleo de implementos agrícolas de labranza o mecanizados.

**Lítica.-** Es la presencia de una capa de roca que limita la profundidad del suelo a menos de 50 cm. Normalmente se trata de una capa dura y continua, pero en ocasiones se puede tratar de trozos de roca muy abundante que impiden la penetración de las raíces o el arado.

**Petrocálcica.-** Es la presencia de una capa de caliche muy duro, a cualquier profundidad.

**FASES QUIMICAS:** los cultivos son afectados por la presencia de sustancias químicas en el suelo que impiden o limitan su crecimiento.

**Salina.-** Es el contenido de salitre (sales solubles), que se presenta en los suelos. Cuando los suelos son muy salinos impiden el crecimiento de ciertos cultivos.

**Sódica.-** Es el alto contenido de álcali que se presenta en el suelo, esto es, alta concentración de sodio (intercambiable) que impide o limita muy frecuentemente el desarrollo de cualquier cultivo.

**CLASES TEXTURALES:** Se refiere al contenido en la parte superficial del suelo (30 cm) de partículas de diversos tamaños clasificados en: arenas, limos y arcillas.

**Gruesa (arenas).-** El suelo, al menos en su parte superficial es arenoso, lo que puede ser causa de problemas como poca retención de agua, exceso de drenaje o pocos nutrientes en el suelo.

**Gruesa (limos).-** Se refiere a aquellas texturas que van desde migajones arenosos hasta algunos migajones arcillosos, pasando por los suelos francos y los limosos. Se considera que al menos por su textura superficial tienen pocos problemas en cuanto a drenaje, aireación, fertilidad, etc.

Fina (arcillas).- Son suelos arcillosos (al menos superficialmente), es decir, pueden tener mal drenaje, poca porosidad y ser duros cuando se secan. Con frecuencia se encharcan y pueden, al menos por su textura, tener problemas de laboreo o inundación.

### 2.3.1.- Agricultura de Escurrimiento por Suelo

Los suelos adecuados para practicar la agricultura de escurrimiento son: los yermosoles y xerosoles en el desierto sonorense, que son suelos que presentan capas ricas en arcillas y una alta retención de la humedad en épocas de lluvias dando como consecuencia los escurrimientos que son utilizados para irrigar los campos de cultivo.

El regosol es un suelo que se encuentra en todo el Estado y se presenta en tres clases texturales que son: arenas, limos y arcillas por lo que se debe hacer un estudio del suelo para saber si es adecuado aplicar en esos terrenos los cultivos por escurrimiento.

En la región serrana, se encuentra una gran variedad de suelos en los que predominan los cambisoles, feozems, luvisoles y rendzinas que son adecuados para el cultivo de temporal porque presentan un alto contenido de arcilla y materia orgánica aceptable.

Desde el punto de vista edafológico e hidráulico, considero que cualquier suelo de cultivo que presente una fase química (salina y/o sódica) puede ser aprovechado por la agricultura de escurrimiento, porque sus aguas lixiviarán el terreno (a corto o largo plazo) depositando en él, sedimentos y materia orgánica que es aprovechada por las plantas.

Si a un suelo salino como los ubicados en la Costa de Hermosillo, además de la aplicación de escurrimientos, se escoge para el terreno una siembra de plantas halofitas, este suelo en un tiempo estimado podría ser aprovechado para cultivar otras plantaciones menos resistentes a las sales y que dejan más ganancias.

## 2.4.- CULTIVOS ADECUADOS EN LA AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO

La actividad agrícola del estado de Sonora, se localiza en dos regiones con grandes contrastes: la zona serrana, con una agricultura tradicional de autoconsumo y en áreas reducidas. La zona costera, donde se practica una agricultura con enfoque comercial, extensiva y altamente tecnificada.

#### 2.4.1.- Región Serrana

La región serrana está formada por pequeños valles localizados generalmente en los márgenes de los ríos donde se realiza la agricultura. Las condiciones climáticas prevalecientes en el área son variables, con temperaturas de 45 °C como máximas y mínimas que llegan hasta los 5 °C bajo cero. La mayor cantidad de lluvia ocurre durante el verano y la precipitación media anual fluctúa de 300 a 400 mm.

En la cuenca de los ríos Sonora y San Miguel se cultiva una superficie aproximada de 12 mil hectáreas, que se riegan con aguas provenientes de la derivación de ríos, pozos y la precipitación en la época de lluvias. El tipo de suelo predominante es el regosol y en menor proporción los xerosoles, feozem y cambisol.

Los cultivos de la región que se utilizan como alimento humano y que se pueden adaptar a las condiciones de la agricultura de escurrimiento son:

**MAIZ:** el cultivo del maíz es tradicional e importante, debido a la gran variedad de usos como son: la comercialización del producto en fresco (elote forma más redituable) y la utilización del grano para autoconsumo familiar, el rastrojo o soca se destina a la alimentación del ganado.

Este cultivo tiene buena adaptación en la región, se siembra bajo condiciones de riego en el ciclo de verano, conocido también como de "aguas".

La siembra del maíz, en el ciclo de "aguas", debe hacerse en la primera quincena del mes de julio, las siembras efectuadas después de este período presentan riesgo de daños por heladas tempranas. Se siembran aproximadamente 700 ha con maíz en la temporada de verano.

**FRIJOL:** el frijol es un cultivo importante en esta zona, las condiciones climáticas le favorecen por lo que se siembra en dos ciclos, en primavera y en verano (frijol de "aguas"). La mayoría de los agricultores siembran esta leguminosa en superficie reducida (hasta 3 ha máximo) y la producción se destina para consumo regional.

**SORGO:** el sorgo contribuye a la producción agropecuaria regional, se siembra tanto para la comercialización de grano, como para el aprovechamiento del rastrojo en la alimentación del ganado. Se siembran aproximadamente 600 ha anuales.

**CACAHUATE:** el cacahuete es un cultivo altamente redituable, se produce principalmente en los municipios de Rayón y Opodepe, bajo condiciones de riego y está mecanizado desde la siembra hasta la cosecha, a excepción de las labores de cultivo que se realizan en forma manual.

En esta zona se siembra durante el ciclo de verano, después de la cebada o del trigo. El cultivo está bien adaptado a la región.

**TRIGO:** el cultivo de trigo ocupa uno de los primeros lugares en cuanto a superficie e importancia socioeconómica. Durante el ciclo 1981-1982 se sembraron en la región serrana alrededor de 2800 ha con un rendimiento medio de 3.6 ton/ha y una producción total de 10000 toneladas.

**CARTAMO:** en esta región el cártamo se cultiva en los municipios de Ures, Rayón y Opodepe, la mayor superficie de siembra se localiza en Ures, debido a que existen terrenos del tipo aluvial (fluvisol) a la orilla del río, donde se obtiene un promedio de 2 ton/ha de grano con sólo aplicar un riego de presiembra.

### Cultivos Forrajeros

La ganadería junto con la agricultura constituyen las actividades más importantes en el Estado de Sonora. Así tenemos que en la región serrana, comprendida en los ríos Sonora y San Miguel, se cuenta con una superficie aproximada de 1'200'000 ha de agostadero y cerca de 200'000 cabezas de ganado vacuno.

Las condiciones del área permiten detectar dos ciclos de pastoreo bien definido: uno que comprende de julio a marzo, en el que el ganado se alimenta con los pastos de los agostaderos naturales y otro de abril a julio, durante el cual es necesario alimentar el ganado con los forrajes que se producen bajo cultivo. Estos dos ciclos están determinados por las precipitaciones que se presentan de julio a septiembre, además de las típicas lluvias o "equipatas" que generalmente se presentan durante diciembre y enero.

En los últimos años, se ha dado impulso a la producción de leche, junto con la engorda de ganado ha incrementado la necesidad de producir forrajes durante todo el año, lo cual ha propiciado el cultivo de alfalfa, ballica italiana, cebada, avena y sorgo.

**ALFALFA:** la alfalfa es el forraje más importante por sus características nutricionales y su facilidad de manejo. Se puede utilizar en verde o empacado en seco. Se establece como el cultivo ideal dentro de los programas de rotación.

**BALLICA ITALIANA:** este cultivo es una gramínea valiosa como pasto y heno. En praderas a corto plazo se puede mezclar con algunas leguminosa como trébol y alfalfa. Se ha encontrado que la ballica italiana prospera en terrenos pesados, con problemas de drenaje y salinidad, y es resistente al pisoteo presentando buen poder de recuperación.

**CEBADA y AVENA FORRAJERA:** con el fin de tener forraje disponible en el invierno, ha surgido la necesidad de diversificar estos cultivos y son de suma importancia durante el ciclo de invierno.

**SORGO FORRAJERO:** una de las características del sorgo forrajero es ser valioso en la alimentación de los rumiantes en sus diferentes etapas de crecimiento. Generalmente contiene buen valor nutritivo cuando se corta a pastoreo en épocas adecuadas. Es un forraje que se produce para la época en la que no existe forraje de invierno (mayo y junio).

#### 2.4.2.- Zona Costera: Desierto de Sonora

Sonora forma parte del llamado desierto sonorense<sup>1</sup> junto con la península de Baja California, en México; y Arizona y California en Estados Unidos. La superficie que cubre este desierto es de 31 millones de hectáreas, encontrándose en Sonora 13.5 millones, correspondiendo al 43% de la superficie total. De la superficie estatal sonorense el 73% está cubierta por vegetación desértica (figura 2.4).

Se estima que unas 2500 especies de plantas de semilla (aproximadamente el 80%) se encuentran en el Estado de Sonora, como nativas son utilizadas como materia prima, alimento, medicina, forraje, artesanía, ornamento, etc. Estas plantas han desarrollado para sobrevivir en ambientes áridos algunas propiedades únicas: gomas, aceites y resinas.

---

<sup>1</sup>Shreve and Wiggins: Vegetation and Flor of the Sonoran Desert; Universidad de Arizona; 1965.

FIGURA 2.4



Desierto de Sonora

### Plantas Alimenticias

Se considera que existen 450 especies de plantas alimenticias en el desierto sonorense, de las cuales 40 fueron consumidas en forma directa por las tribus: el mezquite, amaranto, pasto salado, frijol tépari y cactáceas.

Entre las utilizadas como condimentos: el chiltepín y el orégano. El método de recolección del chiltepín es arrancando de la rama, este ha reducido la producción de frutos en años siguientes. La reducción se ha cuantificado en más del 200%. En el orégano se presenta el problema de que la recolección de la hoja coincide con la floración, reduciéndose la posibilidad de madurar la semilla y por tanto la regeneración natural. El mal manejo de estas cosechas tiene consecuencias nocivas en su existencia y persistencia.

### Plantas para Artesanías

La utilización de plantas para el tallado de la madera es reciente. En 1972, la tribu Seri comenzó a utilizar la madera de palo fierro para elaborar figuras, extendiéndose esta actividad en 1976 a otros grupos culturales. Otras especies con potencial artesanal son: el cirio, la choya y en algunas ocasiones el mezquite.

### Plantas Forrajeras

Existen aproximadamente 500 especies de plantas que son consumidas en mayor a menor grado por el ganado doméstico, o la fauna silvestre.

Uno de los principales factores que afecta a las plantas desde el punto de vista ecológico es el sobreconsumo por el ganado, estimándose un 300% como promedio estatal. El efecto sobre el suelo ha sido significativo, reportándose que en una superficie de 7.3 millones de hectáreas erosión leve en un 21%, moderada el 59% y grave el 20%.

Las plantas preferidas por el ganado en un matorral forrajero son: mezquite, palo verde, palo fierro, casahui del sur, que además de poseer un alto valor proteico proporcionan alimento durante la época de sequía, propiciando mayor ingreso del propietario.

### Género Atriplex

Al género Atriplex pertenecen más de 400 especies distribuidas a nivel mundial. Por sus características fisiológicas son capaces de producir forrajes con características nutricionales deseables, con bajos requerimientos de agua todo el año. Un gran porcentaje de estas especies se localizan en áreas con precipitación media de 100 a 500 mm y con altos contenidos de sales.

La utilización de las plantas del género *Atriplex* persigue diversos fines:

- a) La recuperación de suelos agrícolas marginados por problemas de sales, que se acumulan en la superficie de las hojas y al ser cosechadas extraen la sal.
- b) Como forraje para la fauna silvestre y domesticada.
- c) Para extraer la proteína foliar para ser usada como alimento humano.
- d) Como cubierta vegetal para reducir pérdidas de suelo por erosión, sobre todo en zonas áridas.

Las principales características que presentan los chamizos o arbustos salados para que se les considere como cultivo potencial en áreas marginadas son:

- a) Alta eficiencia en el uso del agua, ya que con una precipitación de 250 mm es posible obtener 275 kg de materia seca/cm de agua aplicada.
- b) El contenido de proteína es alto, se considera que del 10 al 20% de peso.
- c) Los rendimientos exceden las 10 ton/ha/año, superando algunas especies a la producción de la alfalfa.
- d) Son capaces de producir forraje para el ganado en épocas críticas de producción, satisfaciendo los requerimientos mínimos nutricionales.
- e) Soportan concentraciones de sales en el suelo y en el agua de hasta 40000 ppm.

(Solis, 1990).

El M.S. Solis Garza presentó en 1990, un informe de esta planta forrajera titulada "Evaluación de especies del Genero *Atriplex* bajo diferentes condiciones de textura en dos épocas del año sin aplicación de riego", experimento efectuado en el el Campo Experimental Costa de Hermosillo (CECH).

Este mismo autor en uno de sus puntos hace mención a que no recomienda el establecimiento de la plantación de temporal, porque el promedio de precipitación en la Costa de Hermosillo es de 180 mm anuales y el *G. Atriplex* con el que se desarrollo el experimento tiene un uso consuntivo de 250 mm.

Considero que si este experimento se realiza bajo la técnica de la agricultura de escurrimiento, el establecimiento de una plantación del *G. Atriplex* en los campos marginados de la Costa de Hermosillo sí es posible. Se debe hacer un estudio de las precipitaciones máximas anuales en 24 h. para construir un diseño de captación, conducción y aprovechamiento de los escurrimientos superficiales en el lugar de interés. Los suelos de la región son arcillosos por lo que la formación de escurrimientos sí es posible, y se puede llevar al cultivo por medio de un canal conductor que intercepte arroyos naturales o canales colectores construidos.

Esta planta es una solución al problema de salinización y escasez de agua que presentan los campos agrícolas de la Costa de Hermosillo.

### Plantas para Combustible

Muchas plantas que se desarrollan en las zonas áridas y semiáridas han sido usadas como combustible.

Se estima que en Hermosillo solamente las ladrilleras consumen alrededor de 12000 m<sup>3</sup> rolo/año (SARH, 1989).

El mezquite, palo fierro y palo verde son las principales especies utilizadas como carbón vegetal.

Datos de la SARH reportan que para 1989 se aprovecharon 19500 toneladas de carbón, con una inversión económica de \$ 5700 millones de pesos.

### Plantas Medicinales

Además de consumirlas como alimento, algunas se utilizan como medicamentos desde la antigüedad. En Sonora, por ejemplo, los indios Seris conocen 95 especies. Entre estas plantas se encuentra la gobernadora, lombuy, estafiata y orégano.

### Plantas para Uso Industrial

En Sonora prosperan un gran número de especies vegetales importantes para la industria. La jojoba: de cuya semilla se extrae aceite. La sávila, cuya gel es utilizada como cosmético y medicina. La palmilla, en la elaboración de escobillas. Los agaves, para fibra y sotol. La gobernadora, como antioxidante para grasa y aceites. La calabacilla loca, como productora de aceite y proteínas, etc. Se considera que la recolección de estas plantas se realiza en forma no destructiva por algunos campesinos que están conscientes de que deben aprovechar adecuadamente el recurso, para poder obtener ingresos extras año con año.

#### Jojoba

La jojoba es un arbusto nativo del desierto sonorense que ha despertado interés a nivel mundial por su alto contenido de aceite en la semilla (40% - 60% del peso seco) y por ser una planta capaz de desarrollo y sobrevivencia bajo condiciones de sequía y temperaturas altas en su hábitat natural. Dicho aceite es utilizado principalmente en la industria de lubricantes farmacéuticos y cosméticos.

En 1984 la materia prima (aceite) fue proporcionada en su totalidad por las poblaciones silvestres y actualmente provee el 50% de la producción de semilla. En 1989 se cosecharon 585 toneladas de semilla de jojoba, de las cuales 275 provienen de jojoba silvestre en México. La producción total en Estados Unidos para ese mismo año fueron 1100 toneladas.

Considerando que la producción de semilla de jjoba en estado silvestre está fuertemente influenciado por el factor precipitación y que existe una gran demanda de aceite por la industria, se cultivan 30,000 ha de jjoba a nivel mundial, principalmente en Estados Unidos y México.

En el estado de Sonora existen 520 ha cultivadas bajo riego restringido (SARH, 1990).

La mayoría de estas plantaciones fueron establecidas mediante semilla presentando una alta variabilidad en la forma y tamaño de la hoja, fruto y del arbusto, precocidad, producción y contenido de aceite de semilla. Se considera que sólo el 16% del total de plantas son productivas.

Por lo anterior, es necesario cuidar su manejo e incrementar la productividad de las plantas establecidas y por establecer, mediante la selección de plantas altamente productivas y su propagación vegetativa para la formación de clones, que permitan obtener plantaciones uniformes y productivas con mayor redituabilidad.

La investigación que se está realizando actualmente en jjoba en el CIANO-CECH (Centro de Investigación Agrícola del Noroeste - Campo Experimental Costa de Hermosillo) está encaminado a desarrollar tecnología para la obtención y manejo de variedades clonales que sean más productivas y redituables.

### Mezquite

En la actualidad el mayor uso del mezquite es en la elaboración del carbón vegetal considerado de alta calidad.

La producción del carbón vegetal se inició como una actividad secundaria, debido a los permisos de desmonte concedidos a la tribu Yaqui con fines agrícolas.

Esta actividad se ha extendido a todo el estado expidiéndose permiso de desmonte para establecer praderas de zacate buffel, actividad que es muy redituable para la producción ganadera; sin embargo, muchas de estas áreas no son aptas para la producción forrajera, por lo tanto los terrenos quedan sin cubierta vegetal, acelerándose el proceso de erosión tanto vegetal como animal. El mezquite es una especie que modifica el entorno hostil de los ecosistemas áridos.

En un análisis hecho por Molina (1987), se encontró que la producción media anual de carbón de mezquite en la década de 1970 fue de 2000 toneladas exportadas. Posteriormente a partir de 1982 la producción se incrementó considerablemente. En los últimos 5 años la producción media anual se ha establecido en 20000 toneladas (información de cuadernos básicos de la SARH). Se considera que anualmente se cortan 800,000 árboles de mezquite.

En el siguiente cuadro se presentan los principales productos derivados del mezquite; se observa que el carbón ocupa el primer lugar con más del 90% de la producción total.

**PRINCIPALES PRODUCTOS DERIVADOS DEL MEZQUITE  
EN EL ESTADO DE SONORA (1970-1985)**

<b>PRODUCTO</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>	<b>PORCENTAJE</b>
carbón	294,378.2	93.69
leña en raja	13,436.2	4.27
postes para cerca	4,682.0	1.48
madera en rollo	1,361.0	0.43
brazuelo	150.0	0.05
curvos de construcción de barcos pesqueros	476.5	0.15
<b>TOTAL</b>	<b>314,483.9</b>	<b>100.0</b>

Además, el mezquite proporciona otros beneficios difíciles de cuantificar como el forraje para ganado en épocas críticas, refugio y alimento para la fauna silvestre y estabilizador del suelo.

**Palo Fierro**

El palo fierro es una especie característica del desierto sonorense. Es un árbol que alcanza hasta 2 m de altura, aunque en ocasiones crece en forma arbustiva. Son árboles de lento crecimiento, permaneciendo verdes todo el año excepto cuando los inviernos son muy crudos. Se considera que el clima donde prosperan los árboles de palo fierro es idóneo para los cítricos. La distribución del palo fierro va desde el nivel del mar hasta los 8000 msnm.

El palo fierro es utilizado principalmente en la actividad artesanal. En Bahía de Kino el 50% de la población se dedica a esta actividad, existen 250 talleres artesanales que generan 180,000 jornales directos/año. Los talleres artesanales que se ubican fuera de las comunidades Seris utilizan maquinaria especializada para la elaboración de las figuras, por lo que se acelera su proceso de producción. Por otro

lado, el palo fierro también es utilizado para la elaboración de carbón vegetal; esta actividad ha creado conflictos entre los artesanos y los productores de carbón, los últimos utilizan el árbol verde, a diferencia de los artesanos, cuya materia prima debe ser seca para que la artesanía tenga calidad. Por lo tanto se considera que de seguir elaborando carbón con palo fierro, la explotación de esta especie se intensificará, poniendo en peligro el frágil equilibrio ecológico de las especies vegetales de las zonas desérticas.

Con base en lo anterior se puede considerar que a pesar de que existen gran número de plantas silvestres en el desierto sonorense, sólo unas pocas se aprovechan económicamente, debido quizás al conocimiento de sus principios activos. Se aprovechan alrededor de ocho especies a nivel comercial.

## **2.5.- RECOMENDACIONES PARA ADOPTAR LA AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO EN SONORA**

El Estado de Sonora se ha dividido en dos regiones donde se puede practicar la agricultura de escurrimiento, que son: la región serrana y la zona costera.

La región serrana se caracteriza por tener climas variables, con una precipitación promedio de 300 a 400 mm anuales. Actualmente se practica la agricultura de temporal aprovechando las lluvias de verano, desviando los arroyos y las aguas de los ríos para conducirlos a los campos de cultivo, sin la técnica adecuada y sin control de los escurrimientos. Debido a las condiciones topográficas del terreno, la siembra se efectúa en pequeños valles y la cosecha es para el autoconsumo de la región. Esta zona de siembra se encuentra ubicada en la cuenca de los ríos Sonora y San Miguel, la limitante principal para aprovechar el potencial de los torrenciales es la falta de conocimiento de las técnicas adecuadas para su control y la topografía del terreno, que son valles de 1 a 3 hectáreas.

Para esta región de sierras, recomiendo utilizar los sistemas de control de escurrimiento que han tenido éxito en el desierto del Negev en Israel, donde se aprovechan las pendientes pronunciadas para establecer terrazas, limans, canales de captación, etc. y la adaptación de cualquier método que pueda ser eficaz para el cultivo porque la producción se dará de acuerdo con la cantidad de agua y nutrientes que consuma la planta.

En la zona costera los climas predominantes son los cálidos y semicálidos con precipitaciones menores de los 300 mm anuales. La topografía del terreno es plana con lomas y sierras aisladas y pendiente menor del 1%. Los terrenos identificados para establecer cultivos de temporal bajo la técnica de la

agricultura de escurrimiento, para su mayor eficiencia deben ser arcillosos por ser suelos que mejor retienen la humedad. La recolección y conducción del agua debe hacerse mediante canales construidos hasta la zona de aprovechamiento.

Los métodos más satisfactorios que considero que pueden tener éxito en la zona costera son: sistema de riego por entarquinamiento, sistema de control de escurrimiento y sistema de riego por bolseo, que son técnicas de control y conducción de los escurrimiento de un lugar que llueve al lugar donde se ha establecido el cultivo. Otro sistema que puede ser aprovechado es el de microcuencas pero se debe de establecer directamente en el lugar de la lluvia, pues es un método de captación de escurrimiento en el lugar de cultivo.

Desde mi punto de vista, la topografía del terreno no es una limitante para que se pueda efectuar los cultivos de temporal.

En este verano (finales del mes de julio, Hermosillo, Sonora) he presenciado algunas lluvias de diferente intensidad y duración. Pero cualquiera que sea el tamaño de estas lluvias en la ciudad, se ha visto afectada por sus aguas que escurren libremente por la superficie de las calles, buscando un lugar donde depositarse, y lo hacen en las colonias urbanas ubicadas topográficamente más abajo y esto es cada época de lluvia.

Considerando este problema, en Hermosillo urge un sistema de drenaje pluvial para conducir estas aguas hacia una salida estratégica. Este es un proyecto que se tendrá que realizar algún día.

He mencionado este problema, porque tomé la libertad de proponer una solución al aprovechamiento de los escurrimientos, con la idea de adoptar y adaptar en el futuro la técnica de la agricultura de escurrimiento. A continuación describo esta propuesta.

En el plano topográfico de la ciudad, se deben ubicar los puntos donde se proponen las coladeras que permiten el acceso del agua a los canales colectores subterráneos. Dichos canales serán trazados hacia salidas estratégicas, las cuales tendrán conectadas directamente un canal colector principal. El caudal en este canal será de gran magnitud y sin control para aplicarse a campos de cultivos. Cada canal colector desembocará a un canal de conducción dimensionado para un gasto máximo de diseño el cual controlara dicho flujo para aplicarse a zonas de cultivo establecidos.

La idea fundamental es aprovechar la ciudad de Hermosillo como un área de escurrimiento, o colectora de agua de lluvia, la cual será conducida por canales a áreas de aprovechamiento o cultivos.

Estas aguas también pueden ser conducidas a los campos de cultivo ubicados en la Costa de Hermosillo. Este proyecto lo considero muy ambicioso y costoso, pero de mucho beneficio a los productores agrícolas porque las aguas se aplicarían a los campos de cultivo, o se podría recargar el acuífero de forma artificial.

En este tiempo en que los ecologistas y los investigadores de plantas silvestres del desierto de Sonora, están preocupados por el débil equilibrio ecológico que existe en la región, deben utilizar la técnica de la agricultura de escurrimiento y establecer cultivos de plantas en peligro de extinción que sean irrigados solamente con la agua de las lluvias, adaptando cualquier método que ofrece generosamente esta técnica.

Los sistemas que se propóngan de manejo de escurrimiento deben realizarse con la idea de que estos métodos funcionarán sin la intervención humana.

La agricultura de escurrimiento es la solución para garantizar la sobrevivencia de las plantas que están en peligro de extinción o, que pronto lo estarán por la sobreexplotación que hace el hombre de algunas especies del desierto.

# **C A P I T U L O 3**

## **SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL**

## CAPITULO 3

### SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

#### 3.1.- INTRODUCCION

La captación y aprovechamiento de la lluvia en la agricultura de escurrimiento se puede definir en dos grupos:

- 1) captación en el lugar ambiente de la lluvia
- 2) aprovechamiento de escurrimientos superficiales

La selección de los métodos para la captación en el lugar ambiente de la lluvia debe estar acorde con el nivel tecnológico de los productores y a sus condiciones socioeconómicas aún cuando predomina la agricultura tradicional y de subsistencia que se caracterizan por lo siguiente:

- 1) agricultura de tipo extensivo con bajos rendimientos unitarios
- 2) raquíticos niveles económicos y tecnológicos
- 3) escasez de insumos, créditos, capital, asistencia técnica y fuentes de energía
- 4) falta de programas interdisciplinarios.

El aprovechamiento de escurrimientos superficiales de lluvias se hace mediante la conducción de los mismos a las áreas de siembra, para ello se consideran los parámetros hidrológicos de la cuenca o área de captación y se evalúa el potencial de escurrimiento; además, es necesario acondicionar el área de siembra o área aprovechada.

Considerando clima, suelo y la topografía del Estado de Sonora, la técnica de agricultura de escurrimiento puede quedar integrada por 3 métodos "formales" aplicados a la planicie de la región y que son: sistema de riego por entarquinamiento, sistema de control de escurrimiento y sistema de riego por bolseo.

También formarán parte de la agricultura de escurrimiento regional los sistemas de aprovechamiento de escurrimiento utilizados en Israel y estarán integrados al grupo que le llamaremos métodos "israelíes" (presentados en el capítulo 1). Se aplicarán en la región de la serranía donde los valles son limitados.

A continuación describo el método de microcuenca y los sistemas que integran el método formal.

### 3.2.- MICROCUENCA

La microcuenca es un método de captación de lluvia en el lugar de cultivo y puede ser aprovechada por las ventajas que presenta (ver figura 1.4):

- 1) aumentan la disponibilidad del agua para cultivos, al mejorar los regímenes de la humedad y temperatura del suelo
- 2) reducen los riesgos de la sequía y por lo tanto pérdida de cosechas
- 3) mejoran el rendimiento unitario de los cultivos y por ende, las ganancias de los productores
- 4) mejoran la eficiencia en la utilización de los recursos lluvia, suelo, planta y microambiente en la agricultura de temporal, lo cual hace que los sistemas de producción sean más permanentes.

Las microcuencas se deben construir en suelos arcillosos para su óptimo funcionamiento, y establecer plantas nativas del desierto sonorense como son: jojoba, orégano, chiltepín, etc. También, se puede ubicar en la región este del Estado con precipitaciones mayores de los 500 mm anuales, frutales establecidos en microcuencas.

En 1976, Anaya, Tovar y Macías (referencia 14) propusieron, para el cálculo de las microcuencas, la siguiente ecuación:

$$T_M = Aa + Ac \quad (3.2.1)$$

donde:

$T_M$  = Tamaño de Microcuenca

$Aa$  = Area aprovechada (de raíces o siembra)

$Ac$  = Area de captación o escurrimiento

El cálculo del área de captación se propuso de la siguiente manera:

El volumen faltante en el área aprovechada ( $Aa$ ) para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo ( $UC$ ) está dado por:

$$\text{Agua faltante} = (UC - P)Aa$$

El volumen de agua aportado del área de captación esta dado por:

$$\text{Volumen aportado} = CePAc$$

donde:

$Ce$  = coeficiente de escurrimiento

$P$  = precipitación probable (al 50% de confiabilidad)

De lo anterior se tiene que el volumen de agua faltante en el área aprovechada debe ser igual al volumen aportado por el área de captación, así tenemos que:

$$(UC - P)Aa = CePAc \quad (3.2.2)$$

entonces, despejando  $Ac$  de esta identidad se obtiene la dimensión del área de captación:

$$Ac = (UC - P)Aa/CeP \quad (3.2.3)$$

sustituyendo (3.2.3) en (3.2.1) se tiene

$$T_M = Aa + (UC - P)Aa/CeP \quad (3.2.4)$$

que es el tamaño de microcuena.

Este modelo de diseño de microcuena está basado en que toda la precipitación que se presenta en el ciclo vegetativo de la planta produce escurrimiento.

En 1989, el M.C. Guadalupe Osorio Acosta (referencia 14) propuso una modificación a la ec. (3.2.4), basándose en que no todas las precipitaciones que se presentan en el ciclo vegetativo de la planta causan escurrimiento, así:

$$(UC - P)Aa = CeP^*Ac \quad (3.2.5)$$

donde  $P^*$  es la precipitación que propicia escurrimiento. Despejando  $Ac$ , se tiene:

$$Ac = (UC - P)Aa/CeP^* \quad (3.2.6)$$

sustituyendo (3.2.6) en (3.2.1)

$$T_M = Aa + (UC - P)Aa/CeP^* \quad (3.2.7)$$

que es la ec. (3.2.4) modificada, y presenta un error del 5.5% con respecto al tamaño de microcuena óptimo para la planta, mientras que la misma ecuación sin modificación presenta un error del 13% (Osorio, 1989).

Para estimar  $P^*$  se hace un análisis de la lluvia en el área de cultivo y consiste en medir para cada lluvia presentada, la precipitación total y su escurrimiento calculando un coeficiente de escurrimiento para cada evento causante y así, un coeficiente promedio durante el ciclo vegetativo para cada tamaño de microcuena.

### 3.3.- SISTEMA DE RIEGO POR ENTARQUINAMIENTO

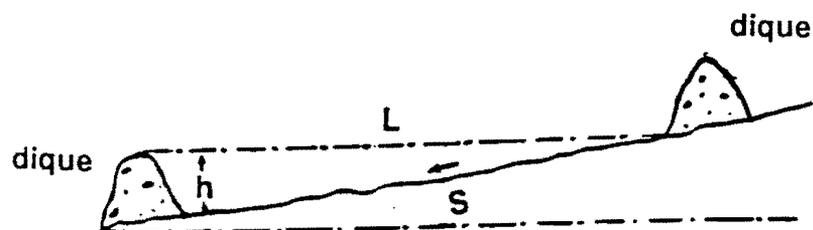
El método de entarquinamiento<sup>2</sup> es un sistema de captación de escurrimiento superficial, que es conducido a través de canales conductores, para después irrigar el área aprovechada o de cultivo.

Este sistema se puede construir en cualquier suelo que retenga la humedad para ser aprovechada por las plantas.

El dimensionamiento del área de cultivo depende del volumen que se espera aporte una lluvia, y de ese parámetro, empezar el diseño para el aprovechamiento del escurrimiento sobre el terreno. La distribución del agua es muy importante y se recomienda utilizar pendientes de 1 - 5%. Si se propone una pendiente entre 1 - 2 %, la distancia entre diques se limitará a 18 m como máximo, con una altura de 0.2 m en la parte más baja del dique y de cero en la parte más alta. En terrenos con pendientes del 2% utilizando diques de 0.6 m de alto, espaciados a 30 m, con una profundidad de aplicación de 0.45 m en la parte más baja de la sección y de cero en la parte más alta.

Por lo tanto, la separación entre diques dependerá de la pendiente del terreno, como se muestra en la figura 3.1

FIGURA 3.1



así, la relación es:

$$L = h/S$$

donde L = separación entre diques, en m

h = altura del dique, en m

S = pendiente del terreno

---

<sup>2</sup>Método utilizado en Estados Unidos para cultivos de temporal. Fuente: Departamento de Estudio de la Gerencia Estatal en Sonora de la CNA.

En los diques se deja un bordo libre de 0.15 m, por lo que la profundidad de aplicación del agua es la altura del dique menos el bordo libre.

Los diques se trazan y construyen siguiendo las curvas de nivel del terreno y los bordos que limitan su longitud, estarán separados 100 m como máximo. El área de las secciones oscila de 100 a 900 m<sup>2</sup> y se construirán de flujo continuo, esto es, que permitan el acceso del agua a las secciones ubicadas más abajo topográficamente y que retengan el volumen requerido por sección. Las obras que permitan el paso del flujo pueden ser vertedores construidos de concreto, o de cualquier material que sirva para este fin.

El escurrimiento captado por entarquinamiento se puede hacer directamente, ubicando el dique con sus bordos laterales abierto en la parte aguas arriba, siempre y cuando se construyan en las partes bajas de los cerros.

Para captar los escurrimientos de lluvia en valles, se recomienda definir bien el canal colector que es donde se depositan las aguas para formar los caudales. Probablemente se tenga que proponer este canal de grandes dimensiones (aproximadamente, 10 m de plantilla y 0.15 m de bordos laterales a nivel de terreno natural).

La entrada del caudal al canal de conducción debe ser controlada por una obra hidráulica (las más factibles son las compuertas y obras de toma directa) que permita el acceso del gasto de diseño a dicho canal. Así, el escurrimiento se distribuye en forma controlada en la zona de riego. El canal conductor se diseña con las condiciones para canales no revestidos.

Los torrenciales que se producen en la llanura sonorensis por las lluvias, erosionan el suelo, doblan árboles y en ocasiones los arrancan junto con su raíz. Ahora imaginemos esta avenida sin control llegar al área de entarquinamiento, lo más probable que suceda es la destrucción de la zona de riego.

Las obras de entarquinamiento se diseñan bajo la siguiente especificación:

TIPO DE DISEÑO	OPORTUNIDAD DE OCURRENCIA	PERIODO DE RETORNO
confiable	80%	1.25 años
cuestionable	50%	2.0 años
inconfiable	20%	5.0 años

Fuente: Departamento de Estudio de la Gerencia Estatal en Sonora de la CNA.

La anterior especificación puede ser considerada para los sistemas de manejo de escurrimiento que se presentan en este capítulo.

### 3.4.- SISTEMA DE CONTROL DE ESCURRIMIENTO

El sistema de control de escurrimiento que se propone está basado fundamentalmente en la necesidad de adaptar a los suelos de las zonas áridas (que por lo general tienen un alto porcentaje de arenas y limos, de textura moderada) un método para aprovechar el potencial de los escurrimientos y dar a sus pobladores una ayuda a su autonomía.

Para el desarrollo de este método, se considera que la lluvia se distribuye uniformemente en un área en que se incluye todo el sistema de control de escurrimiento, por lo que el volumen captado en el área de escurrimiento fluye libremente sin pérdidas hasta la zona de riego.

El sistema de control de escurrimiento está formado por tres partes principales que son (ver página 91):

- 1) Cuenca artificial, que es el área de captación o escurrimiento.
- 2) Canal de conducción en el cual fluye el gasto controlado.
- 3) Obra de captación, que es el área aprovechada para cultivo y donde se almacenan finalmente los escurrimientos.

A continuación describo cada una de sus partes y en el capítulo 5 se presenta el diseño de este sistema.

#### 3.4.1.- Cuenca Artificial

El cálculo del área de escurrimiento se basa principalmente, en el área aprovechada y el volumen de agua que se requiere para el cultivo.

Así, si  $V_a$  es el volumen de agua que se necesita captar,  $A_a$  es el área aprovechada por el cultivo y  $L_r$  la lámina de riego que se pretende captar, se tiene la siguiente relación

$$V_a = L_r \cdot A_a \quad (3.4.1)$$

El volumen de lluvia ( $V_{LL}$ ) que se necesita:

$$V_{LL} = V_a / C_e \quad (3.4.2)$$

donde  $C_e$  es el coeficiente de escurrimiento en el lugar de la lluvia, y se calcula con pruebas de infiltrómetro en el lugar o utilizando cualquier método, dependiendo de la información con que se cuente en la región.

Por consiguiente, el área de escurrimiento será:

$$A_e = V_{LL} / P_m \quad (3.4.3)$$

donde  $P_m$ , es la precipitación de diseño y se calcula con cualquier método (curvas i-d-T, funciones de distribución de probabilidad), dependiendo de la información del lugar.

El dimensionamiento del área dependerá de la forma geométrica que se adapte mejor al lugar, en espacio y trazado. El contorno de la figura trazada es el parteaguas del área de escurrimiento, y serán bordos construidos de material local. El lado en dirección contraria al flujo, deberá estar completamente abierta para aprovechar los escurrimientos de lluvias en las regiones topográficas más altas del lugar de interés.

Recomiendo trazar la cuenca artificial, de manera que por el centro del área este situado un arroyo natural que sea el cauce principal. En caso de que no exista, proponer un canal colector de poca profundidad para aliviar un poco la concentración de escurrimiento en los bordos.

La velocidad media  $V$  se estima con la siguiente tabla (Aparicio, 1989)

TABLA 3.2

Pendiente del cauce principal, %	Velocidad media, m/s
1 - 2	0.6
2 - 4	0.9
4 - 6	1.2
6 - 8	1.5

### 3.4.2.- Canal de Conducción

El canal de conducción o canal conductor, será construido a nivel del terreno natural (N.T.N). En caso de que se pueda aprovechar un arroyo natural puede optarse por dimensionarlo a las características físicas que se requieran, pues la idea fundamental es tener un gasto controlado para llevarlo al campo de cultivo.

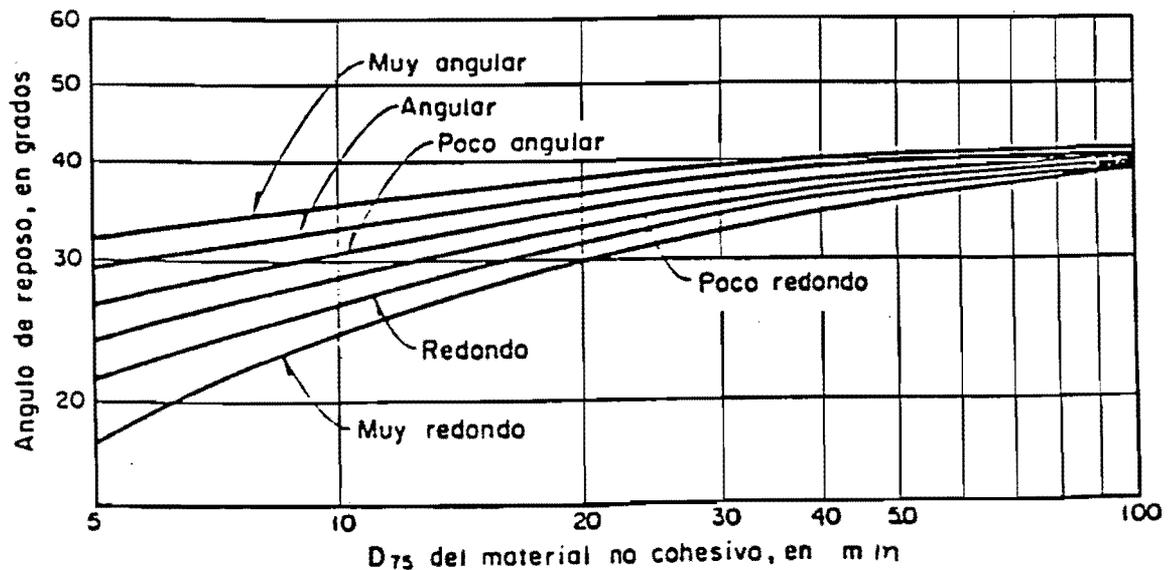
La conexión de la cuenca artificial y el canal conductor, se hará por medio de una obra de toma directa que es la que regulará el caudal y verterá el exceso, para ser conducido por dicho canal. La altura de los bordos de la cuenca artificial pueden proyectarse igual que los de el canal conductor o la obra de toma (lo que resulte más conveniente). El canal conductor se diseña por el método de la fuerza tractiva, que sirve principalmente para secciones trapeciales y permite conocer el grado de estabilidad de los taludes. Al aumentar la velocidad, un grano en posición estable sobre el talud puede perder ese equilibrio cuando todavía son estables los granos sobre la plantilla. El método consiste en encontrar el esfuerzo

tangencial producido por el flujo, que no sobrepase el valor crítico para el material del fondo (Sotelo, 1989).

El resumen del procedimiento de la fuerza tractiva que a continuación se presenta, fue tomada de la referencia 23. Además, se deberán conocer algunas características del terreno del cual se tomará material para el dimensionamiento del canal como: el  $D_{75}$ , que es el diámetro de una partícula para el cual el 25% en peso del material tiene un diámetro mayor de éste. Además, su forma, si el material es cohesivo o no cohesivo, etc.

1.- Con las características del material, de la figura 3.2 se determina el ángulo  $\varphi$  de reposo del mismo y se propone el talud con la condición que:  $\theta \leq \varphi$  donde  $\theta$  es el ángulo del talud.

FIGURA 3.2



Ángulo de reposo de un suelo no cohesivo en función del diámetro de sus partículas

2.- Se calcula el valor de  $K = \tau_s / \tau_p$  con la ecuación:

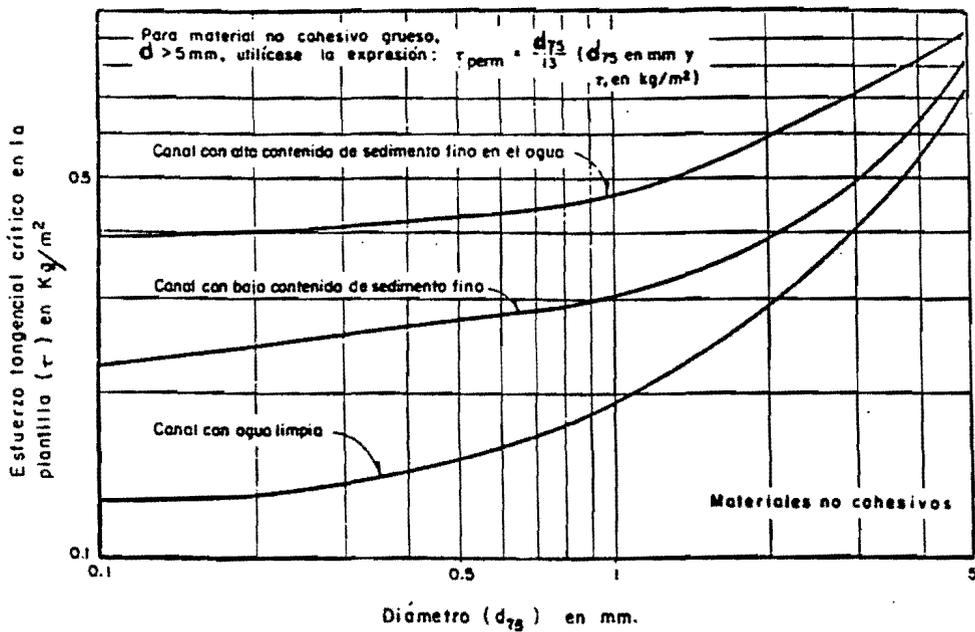
$$K = (1 - (\sin^2 \theta / \sin^2 \varphi))^{1/2}$$

donde  $\tau_s$  es el esfuerzo tangencial de arrastre en el talud del canal, en  $\text{kg/m}^2$

$\tau_p$  es el esfuerzo tangencial de arrastre en la plantilla del canal, en  $\text{kg/m}^2$

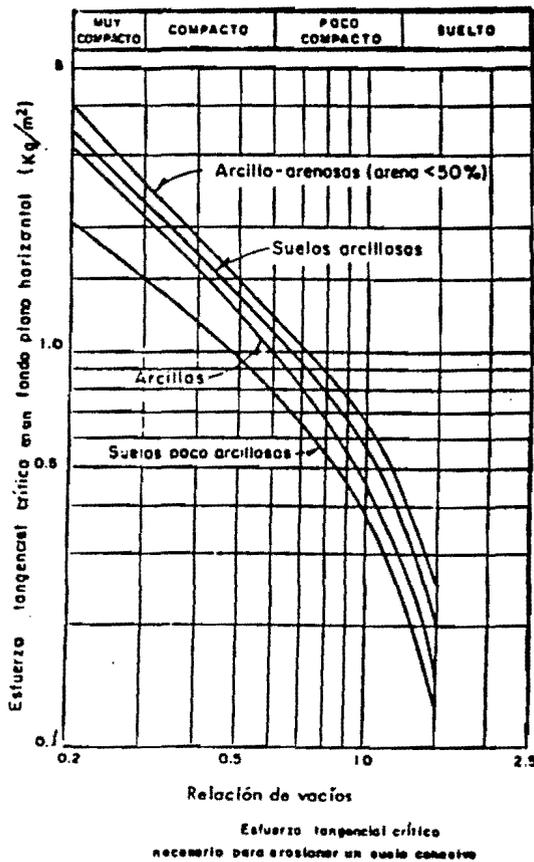
3.- De la figura 3.3 ó 3.4, se determina el esfuerzo tangencial  $\tau_p$  permisible sobre la plantilla, de acuerdo a las características del material.

FIGURA 3.3



Esfuerzo tangencial crítico necesario para mover las partículas de un suelo no cohesivo, que se encuentran en un fondo plano

FIGURA 3.4

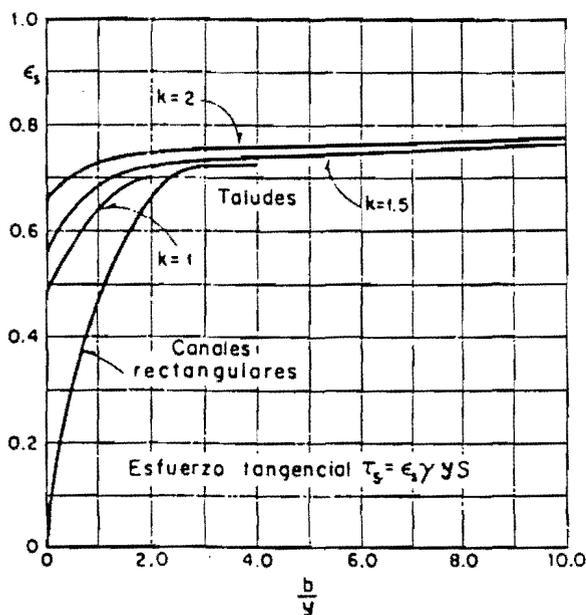


4.- Se determina el esfuerzo tangencial  $\tau_s$  permisible en los taludes con la ecuación:  $\tau_s = K \cdot \tau_p$

5.- Como se conoce el peso específico ( $\gamma$ ) del agua y la pendiente (S), el esfuerzo cortante producido por el flujo, en los taludes y la plantilla quedará determinado por ecuaciones del tipo:  $\tau = \gamma S \varepsilon$ , donde  $\varepsilon$  será función de  $b/y$  y  $k$ . "b" es el ancho de plantilla, "y" es el tirante hidráulico y "k" el talud del canal

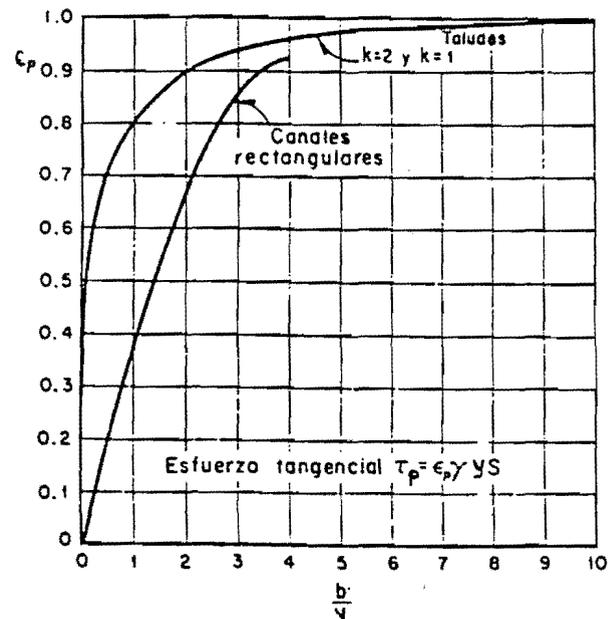
6.- Se supone una relación  $b/y$  y de las figuras 3.5 y 3.6, se obtiene  $\varepsilon$  quedando las ecuaciones del paso 5 en función de "y".

FIGURA 3.5



Esfuerzo tangencial que la corriente produce sobre los taludes

FIGURA 3.6



Esfuerzo tangencial que la corriente produce en el fondo

7.- Se igualan  $\tau_s$  y  $\tau_p$  del paso 6 con los esfuerzos permisibles de los pasos 3 y 4, de donde se despejan los valores de "y"; se escoge el menor.

8.- De la relación  $b/y$  supuesto en el paso 6 se despeja "y".

9.- La conducción del gasto de diseño debe ser factible, por lo que la geometría obtenida para la sección transversal se revisa con la fórmula de Manning:

$$Q = A^{5/3} S^{1/2} / (n P^{2/3})$$

donde Q = gasto de diseño, en  $m^3/s$

A = área mojada, en  $m^2$

P = perímetro mojado, en m

S = pendiente del canal

$n$  = coeficiente de fricción y se valúa con la fórmula de Williamson  
 $n = 0.01195\varepsilon^{1/6}$  y  $\varepsilon$  es el diámetro de la partícula  $D_{75}$ , en mm

10.- Si el gasto calculado no es el deseado, se escoge un nuevo valor  $b/y$  y se repite el procedimiento a partir del paso 6 hasta satisfacer esta condición.

11.- Se proporciona el bordo libre necesario (0.3y) y se ajustan las dimensiones a valores prácticos.

### 3.4.3.- Obra de Captación

La obra de captación o área aprovechada, es el lugar donde se almacena el escurrimiento requerido por el cultivo seleccionado y se construye a nivel del terreno natural.

La distribución del área aprovechada se puede hacer con base en dos criterios que a continuación propongo:

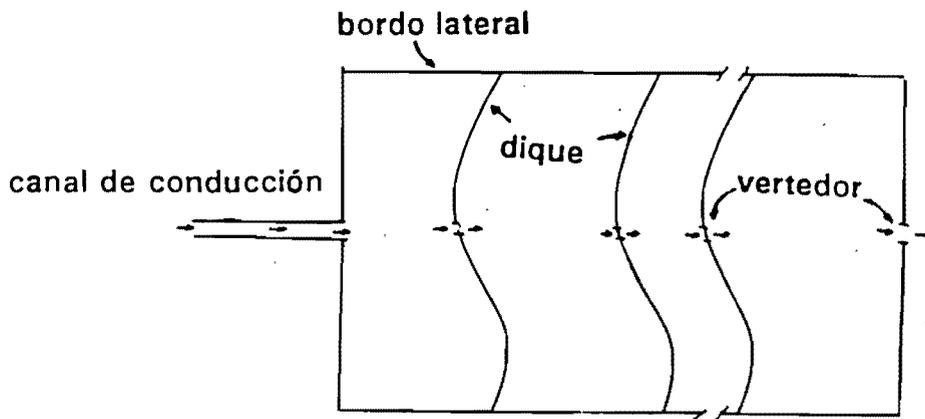
**CASO I:** La cuenca artificial se ha construido en un lugar en que solo se espera que se presente el gasto de diseño (menor de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

El área aprovechada estará seccionada por diques que son trazados y construidos, siguiendo las curvas de nivel del terreno y cada sección estará conectada con la siguiente, mediante un vertedor que deje pasar el gasto de diseño pero que retenga el volumen requerido para cada área.

El canal conductor se conecta directamente a la primera sección de la obra de captación y la última sección dejará pasar el exceso de volumen por un vertedor de los propuestos (figura 3.7).

Debe notarse que aunque sólo se espera el volumen necesitado por la obra de captación se ha dimensionado el sistema considerando el escurrimiento de flujo continuo. Esta consideración debe ser tomada formalmente, porque se da una mayor seguridad al área aprovechada con un vertedor en la última sección.

FIGURA 3.7

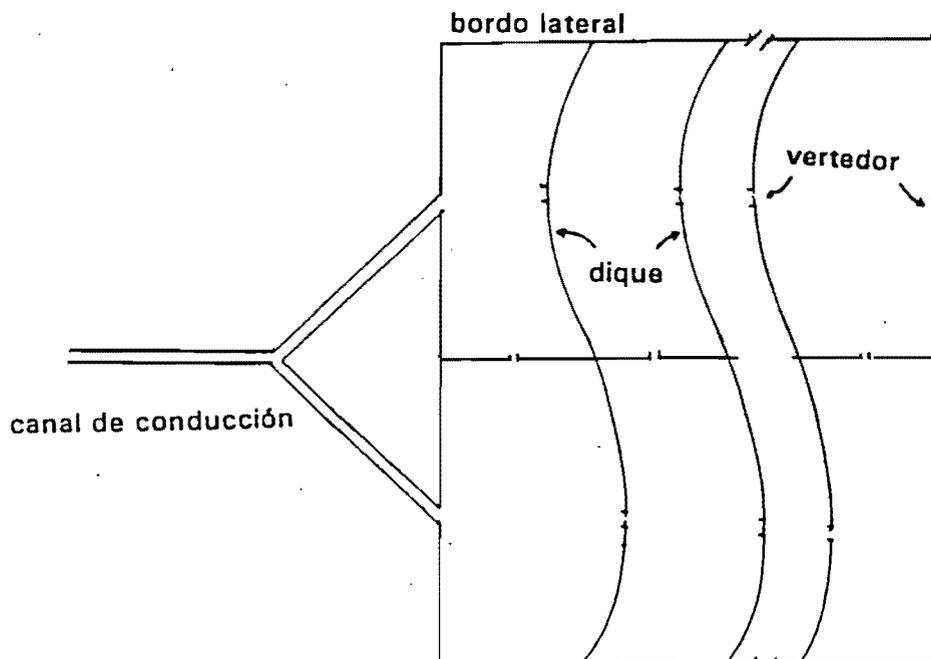


CASO II: El gasto de diseño es mayor de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El canal conductor debe bifurcarse para conectarse directamente a las secciones, esto es con el propósito de no erosionar el área de cultivo y que el caudal sea más controlado al aplicarlos directamente.

El área aprovechada es seccionada por diques trazados y construidos a nivel del terreno natural, de tal forma que resulten 2 o más hileras (en dirección al canal conductor), dependiendo de la magnitud del gasto de diseño. Las secciones deberán estar conectadas entre si mediante vertedores de las primeras, a las ultimas secciones y lateralmente. El volumen en exceso se deja salir por las ultimas secciones a través de los vertedores propuestos (figura 3.8).

FIGURA 3.8



Las secciones pueden ser máximo de una hectárea para garantizar una buena distribución de los escurrimientos. La nivelación del terreno debe ser considerada en el manejo del escurrimiento. Las dimensiones de los bordos y diques pueden ser de la misma altura de los lados del canal conductor.

La aplicación directa de los escurrimientos al campo de cultivo, fue considerando la magnitud del gasto de diseño y una buena distribución del agua. Pero, el proyectista es el que debe decir la última palabra.

### 3.5.- SISTEMA DE RIEGO POR BOLSEO

El sistema de riego por bolseo<sup>3</sup> también llamado "bolsas", fue introducido por los italianos a Sonora a principios de la década de los setentas, y actualmente son pocos los bolseos construidos en la región debido a la falta de estudios requeridos para implementarlos.

Las bolsas se han utilizado en algunas regiones del Estado, para aprovechar los escurrimientos torrenciales que presentan los arroyos durante la época lluviosa de verano.

Las corrientes de los arroyos son desviados mediante muros de piedras colocados en su sección transversal, a un canal colector (con un ancho de plantilla mínima de 10 m). La función de este canal colector es conducir las aguas desviadas en una forma no controlada permitiendo la entrada de otras corrientes menores en su sección transversal. La plantilla de este canal está ubicada a poca profundidad del nivel del terreno natural.

Así, el torrencial pasa a un canal con dimensiones físicas más definidas el cual sube el tirante del agua y tiene colocado en su extremo final una obra de toma directa, que permite el acceso controlado del torrencial a un canal de conducción y el volumen en exceso es vertido a los lados. La plantilla del canal conductor está a nivel de terreno natural por lo que se construyen sus bordos para formar la sección transversal, de préstamos laterales.

El escurrimiento superficial entra de manera controlada a la zona donde se encuentran construidas las bolsas. La dotación del agua requerida se hace mediante un canal de distribución y las bolsas se colocan a los lados conectadas con compuertas para este propósito.

Las bolsas fueron diseñadas para almacenar grandes volúmenes de agua, pues su área oscila entre 1 y 2 hectáreas con altura de bordos mayores de un metro. La separación entre diques es de 100 - 200 m, y se trazan y construyen siguiendo las curvas de nivel del terreno.

---

<sup>3</sup>La descripción de este método fue hecha con ayuda del Ing. Rafael Sanz, Ing. Amilcar Zamorano y el Sr. Manuel Bojorquez representante del Ejido La Manga.

El sistema de riego por bolseo es ubicado en suelos arcillosos que permiten el dimensionamiento de sus bordos. Además, en lugares que se presenten los torrenciales para su buen funcionamiento.

El canal de conducción se diseña utilizando el método de la fuerza tractiva (descrito en la sección anterior), y la altura de los bordos de las bolsas quedan sujetas a las de este canal.

El sistema de bolseo tomado como modelo para su descripción, es propiedad del Ejido La Manga localizado a 12 km al oeste de la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Se debe aclarar que la construcción de esta obra no ha sido terminada por el Gobierno del Estado de Sonora, lo que ha dado como consecuencia la destrucción de los primeros 200 m del canal conductor, así como erosiones en diferentes lugares de la obra.

El funcionamiento de estos sistemas depende de la ocurrencia de avenidas considerables durante la época de lluvias, por lo que su régimen se considera como de temporal.

De esta manera, para proyectar un sistema de bolseo, los requerimientos de información (estudios básicos) son diferentes a los de un proyecto de riego tecnificado. En lo que respecta al Estudio Agrológico podrá elaborarse en una categoría preliminar, atendiendo a las características físicas de los suelos, principalmente, el relieve, textura, profundidad, pedregosidad superficial, perfil, capas endurecidas y permeabilidad. También es conveniente determinar algunas propiedades químicas como el PH y la conductividad eléctrica.

Además, se podrán considerar todas aquellas características que pueden influir en el desarrollo de un proyecto de este tipo, considerando que para la formación de bordos se requiere de una considerable cantidad de suelo que generalmente se obtiene de préstamos laterales. (Sanz, 1987).

El Ing. Rafael Sanz Ramos del Departamento de Estudio de la CNA, Delegación Estatal Sonora, propuso en 1987 el siguiente guión de Estudio Agrológico<sup>4</sup> para los proyectos de sistema de bolseo, basado en su experiencia de campo y estudio.

---

<sup>4</sup>Este estudio debe ser tomado como referencia cuando se proyecte cualquier sistema de aprovechamiento de escurrimientos superficiales.

**INTRODUCCION  
ANTECEDENTES  
OBJETIVOS**

- 1.- LOCALIZACION DEL AREA**
  - 1.1.- Situación Geográfica
  - 1.2.- Situación Política
  - 1.3.- Vía de Comunicación
  
- 2.- ASPECTOS FISIOGRAFICOS**
  - 2.1.- Geomorfología
  - 2.2.- Hidrología
  
- 3.- CLIMATOLOGIA**
  - 3.1.- Clasificación del clima
  - 3.2.- Análisis de los factores del clima
  
- 4.- SUELOS**
  - 4.1.- Características Generales Físicas y Químicas
  - 4.2.- Uso Actual
  - 4.3.- Influencia de las propiedades del suelo en el sistema de riego
  
- 5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Concluir acerca de las posibilidades de implementar un sistema de riego por bolseo, recomendar el mejor uso y manejo, cultivos factibles, mencionar limitantes, etc.

  - \* Anexar análisis de suelos
  - \* Anexar plano de clasificación agrícola de suelos

A continuación se presenta el proyecto simplificado de un sistema de riego por bolseo que fue realizado por la SARH en julio de 1988. En el capítulo siguiente se presentará el costo y evaluación del proyecto.

## 3.6.- PROYECTO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR BOLSEO

### 3.6.1.- INTRODUCCION

En el Estado de Sonora, el Ing. Héctor Gonzalez y el Ing. Amílcar Zamorano, técnicos de Residencia General de Estudio de la SARH realizaron en julio de 1988 un estudio para establecer un sistema de riego por bolseo llamado "Proyecto: La Manga".

#### 3.6.1.1.- Antecedentes

Las precipitaciones pluviales que acontecen cada temporada de lluvias en la ciudad de Hermosillo provocan tradicionalmente inundaciones en la parte norte, sin embargo con la rehabilitación de los bordos existentes, los escurrimientos son controlados por los canales formados y dichas aguas fluyen hacia la parte poniente de la ciudad, ocasionando inundaciones en terrenos de la ampliación del ejido "La Manga", provocando erosión en los terrenos susceptibles al cultivo, debido a que por los mismos atraviesa el arroyo "Las Pasadas", que capta los escurrimientos de otros arroyos localizados en esa parte de la ciudad, formando un volumen considerable.

#### 3.6.1.2.- Objetivos

El objetivo fundamental que se persigue con la realización del proyecto es aprovechar las aguas broncas que escurren o fluyen por los terrenos de la ampliación, encauzándolas, para regar la superficie agrícola del núcleo agrario mediante un sistema de bolseo.

Otro de los objetivos es evitar las inundaciones agrícolas durante la temporada de lluvia que los erosionan. Con la construcción de la obra los integrantes de la ampliación del ejido, tendrán la posibilidad de obtener mayores niveles de ingresos y bienestar.

#### 3.6.1.3.- Localización del Area

Los terrenos de la ampliación del ejido "La Manga", donde se pretende llevar a cabo la construcción de la obra, se localiza a 12 km al poniente de la ciudad de Hermosillo. Está comunicado mediante 10 km de carretera pavimentada y 2 km de terracerías. Sus coordenadas geográficas son las siguientes:

Latitud Norte: 29°05'30"

Longitud Oeste: 111°06'35"

#### 3.6.1.4.- Suelos

En general son suelos profundos de textura franco-arcillo-arenosa, con permeabilidad moderadamente lenta; presentan relieve casi plano con pendiente menor del 1%, no se observó pedregosidad superficial ni en el perfil.

El PH fluctúa de 6.60 a 7.80, oscilando alrededor de la neutralidad, condición favorable para el desarrollo de la gran mayoría de los cultivos adaptados climáticamente. La conductividad eléctrica presenta valores menores de 4 MILIMHOS, éste parámetro se muestra elevado (6.30 y 7.0 MILIMHOS/cm) en otros lugares del mismo terreno, lo que indica que en estos horizontes existe acumulación de sales.

Las propiedades químicas como el PH y la conductividad eléctrica, no se consideran negativas para el proyecto. La última afecta capas subsuperficiales, condición que se modificará al aplicar las láminas pesadas de agua que provocan el lavado o lixiviado del exceso de sales a capas más profundas del perfil.

#### 3.6.1.5.- Hidrológico

El área se localiza en la clave hidrológica 9B-1 Región Sonora Sur, Cuenca Costa de Hermosillo, Subcuenca Zona Centro.

La corriente principal en el área cuyos escurrimientos se pretenden aprovechar en este proyecto, se denomina "Las Pasadas". Tiene un área de cuenca de 92.7 km<sup>2</sup> hasta el sitio del proyecto y su escurrimiento medio anual estimado es de 2'600'000 m<sup>3</sup>.

La característica de esta corriente es su régimen intermitente y su carácter torrencial, que sólo presenta escurrimientos en épocas de lluvia. Estas se presentan generalmente como fuertes avenidas de corta duración, motivo por el cual su mejor aprovechamiento para el riego es captar estos volúmenes mediante tomas directas de considerable magnitud, aplicando el agua a los suelos mediante bolseos.

#### 3.6.1.6.- Climatología

La temperatura media anual es de 24.4 °C con valores mínimos extremos de 0 °C y máximo de 46 °C. La precipitación media anual es de 321.3 mm concentrándose en mayor porcentaje durante los meses de julio a septiembre.

La evaporación media anual es de 2562.84 mm de junio a septiembre ocurren los promedios mensuales más altos y de diciembre a febrero los más bajos.

Tipo de clima muy seco, subtipo muy seco y muy cálido.

### **3.6.1.7.- Descripción del Proyecto**

El proyecto consiste en captar las aguas broncas que escurren a través del arroyo "Las Pasadas" y conducir las mediante un canal hacia la zona de riego, con un sistema de riego por bolseo que beneficiará una superficie de 100 ha.

Tomando en cuenta que el arroyo de donde se hará la captación no presenta un cauce definido, el canal que capta las aguas pluviales del norte de la ciudad de Hermosillo descarga a dicho arroyo y provoca que se exceda su capacidad original desbordándose. Esto ha provocado que con el paso del tiempo se hayan formado arroyos secundarios, que se encuentran distribuidos en una amplitud de 500 m.

De acuerdo a lo expuesto con anterioridad para la obra de captación se seleccionó un canal que intercepte y colecte dichos arroyos, su longitud será de 552 m, irá excavado en tierra y estará situado transversalmente al flujo de dichos escurrimientos. Tendrá una plantilla de 10 m como mínimo, talud 1.5:1 y profundidad de 1.0 m, para captar un gasto de 4 m<sup>3</sup>/s y los excedentes fluirán libremente por arriba de él a manera de vertedor. Este canal se contempla con una estructura de toma, con la idea de introducir controladamente el gasto mencionado a un canal de conducción que lo llevará a la zona de riego. Este canal tendrá longitud de 1,100 m y plantilla de 4 m, requiriéndose formación de bordos, porque es necesario terminar la plantilla a nivel de terreno natural (N.T.N).

La zona de riego contempla una superficie a beneficiar de 100 ha y es necesario continuar con el canal de conducción ya descrito, en una longitud de 530 m bajo las siguientes características: plantilla de 2.50 m, taludes de 1.5:1, formación de bordos con ancho de corona de 1.5 m y 2.0 m de altura, contemplándose con 5 estructuras de distribución (represas-tomas dobles) para introducir el agua a las bolsas.

Para la formación de las bolsas se requieren 12,280 metros lineales de bordos, con altura de 1.0 m, talud de 1.5:1 y corona de 1.0 m.

Adicionalmente, la obra de captación requiere cerrar los escurrideros colocando trincheras de enrocamiento semiacomodado, a manera de represas, para detener el agua y encauzarla hacia la obra de toma, funcionando también como vertedor para dejar pasar el volumen en exceso arriba del nivel del terreno natural. Estos enrocamientos tendrán una corona de 2.0 m de ancho, taludes 2:1 y 1.5:1, y longitud de 171 m.

En la siguiente página se muestra el diagrama de ubicación del proyecto del sistema de riego por bolseo al que se hace mención.



# **C A P I T U L O 4**

**EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO  
"SISTEMA DE RIEGO POR BOLSEO: LA MANGA"**

## CAPITULO 4

### EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO "SISTEMA DE RIEGO POR BOLSEO: LA MANGA"

#### 4.1.- INTRODUCCION

En el proceso de planeación de proyectos, los estudios de evaluación económica forman parte del conjunto de los estudios de factibilidad. Estos, a su vez, se desprenden de estudios más generales, denominados estudios de gran visión, que permiten identificar, con un primer nivel de aproximación, el lugar y el tiempo en el que se requiere implantar un proyecto, el orden y magnitud de las inversiones requeridas.

Por sus alcances, los estudios de gran visión proporcionan una orientación importante con respecto al tipo de proyecto por realizar, su tiempo óptimo de puesta en operación y su costo aproximado. Sin embargo, la información que arrojan es todavía muy general, por lo que se requiere efectuar un análisis detallado para cada proyecto que despeje incógnitas relativas a la conveniencia de llevarlo a cabo o no. En este capítulo, el estudio de factibilidad aborda sistemáticamente una serie de cuestiones cuyas respuestas permiten decidir si vale o no la pena implementar un proyecto de riego por escurrimiento superficial.

La ventaja que presenta el riego por escurrimiento es la baja inversión económica comparada con el beneficio obtenido. Puede citarse el distrito de riego 84 (ubicado en el municipio de Guaymas) también conocido como el Valle de Guaymas, donde los campos de cultivo están establecidos en bolsas y son irrigadas por los escurrimientos superficiales que se presentan cada año, en épocas de lluvia. Para el crecimiento de los cultivos no se utilizan fertilizantes ni químicos para controlar la maleza. La producción obtenida es de calidad de exportación. La inversión que se hace en los sistemas de riego por bolseo, es para la formación de los bordos que son erosionados cuando se presentan grandes avenidas, como la ocurrida a principios de enero de este año (1991).

El Gobierno del Estado de Sonora debe apoyar el desarrollo de la agricultura de escurrimiento y establecerlo en los poblados como ayuda para su crecimiento económico y social.

El sistema de riego por bolseo es el que requiere una inversión inicial costosa debido a las grandes dimensiones de sus bordos, pero en poco tiempo el beneficio neto será mayor que su costo total.

A continuación presento el análisis económico del proyecto "La Manga" (realizado por la SARH en julio de 1988) para mostrar la generosidad de la agricultura de escurrimiento, que sólo espera que el hombre comprenda su utilidad y

sepa explotar su potencial como lo han hecho los habitantes del desierto del Negev.

#### 4.2.- PRESUPUESTO DEL PROYECTO

**OBRA DE CAPTACION:** canal colector, canal de conducción, estructuras de toma y formación de trincheras.

CONCEPTO	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
Excavación en tierra y/o terraplén por cualquier procedimiento	7095.0 m <sup>3</sup>	3000	21,285,000.00
Formación de bordos con pres-tamos laterales	11,585.0 m <sup>3</sup>	2100	24,328,500.00
Formación de enrocamiento semiacomodado para trincheras	347.0 m <sup>3</sup>	35,000	12,145,000.00
Fabricación y colocación de concreto ciclópeo	79.0 m <sup>3</sup>	110,000	8,690,000.00
suministro de madera	210.0 P.T	2000	420,000.00

TOTAL: \$ 66,868,500.00

**ACARREOS**

En el 1er. km de arena y/o grava	52.0 m <sup>3</sup>	1322.0	68,744.00
En el 1er. km de piedra	380.0 m <sup>3</sup>	3856.0	1,465,280.00
Subsecuentes al 1er. km de piedra (5 km)	1900.0 m <sup>3</sup> /km	800.0	1,520,000.00

TOTAL: \$ 3,054,024.00

**MATERIALES**

Cemento	14.0 ton	190,000	2,660,000.00
---------	----------	---------	--------------

TOTAL: \$ 2,660,000.00

COSTO DE LA OBRA DE CAPTACION: \$ 72,582,524.00

**ZONA DE RIEGO:** canal de conducción con 5 estructuras de distribución y bordos para balseos.

CONCEPTO	CANTIDAD	P.UNITARIO	IMPORTE
Excavación	775 m <sup>3</sup>	3000	2,325,000.00
Formación de bordos con prestamos laterales	38,753 m <sup>3</sup>	2100	81,381,300.00
Fabricación y colocación de concreto ciclópeo	280 m <sup>3</sup>	110,000	30,800,000.00
Suministro de madera	1575 P.T	2000	3,150,000.00

TOTAL: \$ 117,656,300.00

**ACARREOS**

En el 1er. km de arena y/o grava	180 m <sup>3</sup>	1322	237,960.00
En el 1er. km de piedra	112 m <sup>3</sup>	3856	431,872.00
Subsecuentes al 1er. km de piedra	560 m <sup>3</sup> /km	800	448,000.00

TOTAL: \$ 1,117,832.00

**MATERIALES**

Cemento	50 ton	1,900,000	9,500,000.00
---------	--------	-----------	--------------

TOTAL: \$ 9,500,000.00

COSTO DE LA ZONA DE RIEGO: \$ 128,274,132.00

**COSTO TOTAL DE LA OBRA:**

OBRA DE CAPTACION	\$ 72,582,524.00
ZONA DE RIEGO	\$ 128,274,132.00
	\$ 200,856,656.00

**4.3.- EVALUACION ECONOMICA****COSTO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO****COSTO DE OPERACION**

Valor de la M.O.N.C	\$ 7405.00
Número de jornales	36
Salario del operador	\$ 266,580.00

NOTA: M.O.N.C = mano de obra no calificada

**MANTENIMIENTO**

Mantenimiento co- rrectivo	_____
Captación	\$ 7,241,694.00
Zona de riego	\$ 15,918,819.00

**COSTO TOTAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO: \$ 23,427,093.00**

**VALORES RESIDUALES:**

OBRA	COSTO	%	IMPORTE
Sistema de riego por bolseo (obra de cap- tación)	72,582,524.00	30	21,774,757.00
Zona de riego	128,274,132.00	30	38,482,240.00

**COSTO TOTAL DEL VALOR RESIDUAL: \$ 60,256,997.00**

**CALCULO DEL COSTO DE OPERACION**

Se consideró que para este proyecto se presentan tres avenidas máximas durante un año, requiriéndose una brigada de 4 personas durante 3 días por cada riego.

Número de riegos	3
Número de jornales (3) (3 días) (4 personas)	36
Valor de la M.O.N.C	\$ 7405.00

**COSTO DE CONSERVACION ANUAL: \$ 266,580.00**

CULTIVO SORGO FORRAJERO  
 PRODUCCION FUTURA  
 PROYECTO "LA MANGA" MPIO.: HERMOSILLO EDO.: SONORA

CONCEPTO COSTO POR HECTAREA (PESOS)  
1o. AÑO    2o. AÑO    3o. AÑO    25o. AÑO

TOTAL

PREPARACION DE LA TIERRA

RASTREO	15,453	15,453	15,453
---------	--------	--------	--------

SIEMBRA

SIEMBRA	17,329	17,329	17,329
---------	--------	--------	--------

LABORES DE BENEFICIO

ADO. SEMILLA	40,000	40,000	40,000
--------------	--------	--------	--------

COSECHA

CORTE	27,605	27,605	27,605
FLETE	24,000	24,000	24,000

CUOTA DE AGUA

RENDIMIENTO	18.0	20.0	25.0
PRECIO RURAL	45,000	45,000	45,000
JORNADAS			

TOTAL :	124,387	124,387	124,387
---------	---------	---------	---------

CULTIVO CARTAMO  
 PRODUCCION FUTURA  
 PROYECTO "LA MANGA" MPIO.: HERMOSILLO EDO.: SONORA

COSTO POR HECTAREA (PESOS)

CONCEPTO	1o. AÑO	2o. AÑO	3o. AÑO	25o. AÑO
TOTAL				

PREPARACION DE LA TIERRA

<u>RASTREO</u>	<u>15,453</u>	<u>15,453</u>	<u>15,453</u>	

SIEMBRA

<u>SIEMBRA</u>	<u>17,329</u>	<u>17,329</u>	<u>17,329</u>	

LABORES DE BENEFICIO

<u>ADQUISICION DE SEMILLA</u>	<u>30,000</u>	<u>30,000</u>	<u>30,000</u>	

COSECHA

<u>TRILLA</u>	<u>18,465</u>	<u>18,465</u>	<u>18,465</u>	
<u>FLETE</u>	<u>24,000</u>	<u>24,000</u>	<u>24,000</u>	

CUOTA DE AGUA

RENDIMIENTO	0.8	0.9	1.0	
PRECIO RURAL	414,000	414,000	414,000	
JORNADAS				

TOTAL :            105,247            105,247            105,247

CULTIVO TRIGO  
 PRODUCCION FUTURA  
 PROYECTO "LA MANGA" MPIO.: HERMOSILLO EDO.: SONORA

CONCEPTO	COSTO POR HECTAREA (PESOS)			
	1o. AÑO	2o. AÑO	3o. AÑO	25o. AÑO
TOTAL				

PREPARACION DE LA TIERRA

RASTREO	15,453	15,453	15,453

SIEMBRA

SIEMBRA	17,329	17,329	17,329

LABORES DE BENEFICIO

INSUMOS				
ADQUISICION DE SEMILLA	45,000	45,000	45,000	

COSECHA

TRILLA	22,605	22,605	22,605
FLETE	24,000	24,000	24,000

CUOTA DE AGUA

RENDIMIENTO	2.0	2.2	2.4
PRECIO RURAL	310,000	310,000	310,000

JORNADAS

TOTAL :	124,387	124,387	124,387
---------	---------	---------	---------

NOTA: Actividades mínimas consideradas en una explotación agrícola con riego por bolseo.

**PROYECTO:** "LA MANGA"  
**MUNICIPIO:** HERMOSILLO  
**ESTADO:** SONORA

**PROGRAMACION AGRICOLA**

**FECHA:** JULIO DE 198

CULTIVOS	SUPERFICIE Ha.	RENDIMIENTO Ton/Ha.	PRODUCTO TOTAL Ton.	PRECIO RURAL \$/Ton.	VALOR DE LA COSECHA \$	COSTO TOTAL CULTIVO \$	BENEFICIO NETO \$	JORNADAS	INCREMENTO JORNADAS	INGRESO POR INCREMENTO JORNADAS
				2° AL 3ER. AÑO PRODUCTIVO:						
SORGO FORRAJERO	60	18.0	1080.0	45,000	48'600,000	7'463,220	41'136,780			
CARTAMO	20	0.8	16.0	414,000	6'624,000	2'104,940	4'519,060			
TRIGO	20	2.0	40.0	310,000	12'400,000	2'487,740	9'912,260			
<b>T O T A L :</b>	100		1136.0		67'624,000	12'055,900	55'568,100			
				4° AL 5° AÑO PRODUCTIVO:						
SORGO FORRAJERO	60	20.0	1200.0	45,000	54'00,000	7'463,220	46'536,780			
CARTAMO	20	0.9	18.0	414,000	7'452,000	2'104,940	5'347,060			
TRIGO	20	2.2	44.0	310,000	13'640,000	2'487,740	11'152,260			
<b>T O T A L :</b>	100		1262.0		75'092,000	12'055,900	63'036,100			
				6° AL 26° AÑO PRODUCTIVO:						
SORGO FORRAJERO	60	25.0	1500.0	45,000	67'500,000	7'463,220	60'036,780			
CARTAMO	20	1.0	20.0	414,000	8'280,000	2'104,940	6'175,060			
TRIGO	20	2.4	48.0	310,000	14'880,000	2'487,740	12'392,260			
<b>T O T A L :</b>	100		1568.0		90'660,000	12'055,900	78'604,100			





DIRECCION GENERAL DE SEGUIMIENTO Y CONTROL  
DE OBRAS HIDRAULICAS  
DELEGACION EN EL ESTADO DE SONORA  
RESIDENCIA GENERAL DE ESTUDIOS

Proyecto: "LA MANGA"  
Municipio: HERMOSILLO  
Estado: SONORA

CALCULOS DE RELACION BENEFICIOS-COSTOS

AÑOS	FACTOR DE ACTUALIZACION	FLUJO DE COSTOS	FACTOR DE ACTUALIZACION	COSTOS ACTUALIZADOS	FLUJO DE BENEFICIOS	FACTOR DE ACTUALIZACION	BENEFICIOS ACTUALIZADOS
0	1.0000						
1	0.8928	200'856,658	0.8928	179'324,822			
2	0.7971	24'893,673	6.9500	173'011,027	55'568,100	0.7971	44'293,333
3	0.7118				55'568,100	0.7118	39'553,374
4	0.6355				63'036,100	0.6355	40'059,442
5	0.5674				63'036,100	0.5674	35'766,683
6	0.5066				78'604,100	4.2907	337'266'612
7	0.4523						
8	0.4039						
9	0.3606						
10	0.3220						
11	0.2875						
12	0.2567						
13	0.2292						
14	0.2046						
15	0.1827						
16	0.1631						
17	0.1456						
18	0.1300						
19	0.1161						
20	0.1037						
21	0.0925						
22	0.0826						
23	0.0738						
24	0.0659						
25	0.0588						
26	0.0525	35'363,324	0.0525	1'856,974			
27	0.0469						
28	0.0419						

TOTALES

350'479,275

496'939,444

RELACION B/C = 1.4178

# SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

DIRECCION GENERAL DE SEGUIMIENTO  
Y CONTROL DE OBRAS HIDRAULICAS

DELEGACION EN EL ESTADO DE SONORA

RESIDENCIA GENERAL DE ESTUDIO

PROYECTO : LA MANGA

MUNICIPIO : HERMOSILLO

ESTADO : SONORA

VALOR INCREMENTADO AGRICOLA  
( A PRECIOS: de mercado )

PERIODO	BENEFICIO NETO CON EL PROYECTO	BENEFICIO NETO SIN EL PROYECTO	INCREMENTO
2 - 3	55,568,100	_____	55,568,100
4 - 5	63,036,100	_____	63,036,100
6 - 26	78,604,100	_____	78,604,100

#### 4.4.- CONCLUSION DEL PROYECTO

Para que un proyecto sea factible económicamente, la relación beneficio-costos debe ser mayor que la unidad (Riggs James L. "Ingeniería Económica". Representaciones y Servicios de Ingeniería. México, 1983.):

$$B/C = \text{valor presente de los beneficios/valor presente de los costos} > 1$$

El proyecto "La Manga" tiene un beneficio actualizado (valor presente) de \$ 496,939,444 y un costo actualizado (valor presente) de \$ 350,479,275 por lo que la relación beneficio-costos es

$$B/C = 496939444/350479275 = 1.4178$$

y el proyecto es aceptado económicamente.

El proyecto fue planteado con un factor de interés del 12 % anual y los factores de actualización utilizados en la hoja " CALCULOS DE RELACION BENEFICIO-COSTO" fueron calculados con la siguiente fórmula

$$F = P(1 + i)^N$$

donde F = suma futura de dinero que se devuelve en un período

P = dinero recibido en préstamo

i = factor de interés

N = número de períodos de interés

así

$$P/F = 1/(1 + i)^N$$

que nos da el factor de actualización para el período correspondiente.

## CAPITULO 5

EJEMPLO DE AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO  
APLICADA AL DESIERTO DE SONORA

## CAPITULO 5

### EJEMPLO DE AGRICULTURA DE ESCURRIMIENTO APLICADA AL DESIERTO DE SONORA

Uno de los grandes retos de la agricultura de escurrimiento es sin duda su aplicación en los desiertos distribuidos en todo el mundo. Por eso, he decidido desarrollar un ejemplo en una región sonorense donde las lluvias son escasas y de corta duración, estableciendo un sistema de control de escurrimiento con la intención de llamar la atención de técnicos y especialistas de cualquier área, capaces de apoyar el desarrollo de esta técnica y darle una nueva esperanza a los habitantes de las zonas áridas del Estado de Sonora. El lugar de interés donde se aplicará la técnica de agricultura de escurrimiento, se localiza a 20 km al este de la ciudad de Sonoyta en el municipio Plutarco Elías Calles<sup>5</sup>.

Esta región conocida como "V.R. NO. 706 Sonoyta" en el ciclo agrícola 1984-1985, se sembraron 7339 ha de las cuales se cosecharon 5154 ha, con una producción de 17905 toneladas arrojando una derrama económica de \$ 1018,884,000. En el siguiente ciclo agrícola hasta la fecha, no se tiene información en los cuadernos básicos de la SARH<sup>6</sup> de esta zona de cultivo. Probablemente esta zona tuvo problemas por incosteable porque la energía eléctrica utilizada en los pozos para extraer el agua de los acuíferos, es una gran limitante en todo el Estado de Sonora por su alto costo. Actualmente se riega una superficie de cultivo muy reducida (aproximadamente 100 ha) utilizando las aguas almacenadas en una presa construida en la región. Con limitantes como el alto costo de la energía eléctrica, así como la escasez de agua para irrigar grandes superficies de cultivo en las regiones del desierto, debe optarse por pequeños sistemas de aprovechamiento de escurrimiento superficial como los presentados en esta obra.

El problema de ejemplo que se desarrolla en este capítulo se presenta en dos partes: en la primera parte se hace un análisis probabilístico de las precipitaciones máximas en 24 horas registradas en la estación hidrométrica Sonoyta, para obtener la precipitación de diseño; y en la segunda parte, se diseña el sistema de control de escurrimiento aplicando conocimientos de hidráulica e hidrología de superficie. El diseño de estos sistemas deben ser sencillos y prácticos para que sean mejor comprendidos por la sociedad.

Antes de presentar el cálculo del sistema, debo aclarar que algunos datos en la segunda parte de este capítulo son supuestos pero considerando las características de la región. A continuación se presenta el desarrollo del problema en particular.

---

<sup>5</sup>Sonoyta pertenecía al municipio de Puerto Peñasco. Actualmente pertenece al recién fundado municipio al que se hace mención.

<sup>6</sup>Fuente: "Información Agrícola; 22 de enero de 1991"; Subdelegación de Normatividad Agrícola de la Delegación en Sonora de la SARH.

P A R T E 1

PRECIPITACION DE DISEÑO

Análisis Probabilístico: precipitaciones máximas en 24 horas

TABLA 5.1

AÑO	MES	PRECIPITACION MAXIMA (mm)
1960	octubre	42.0
1961	agosto	79.0
1962	septiembre	58.0
1963	marzo	47.0
1964	agosto	47.2
1965	diciembre	39.7
1966	julio	23.0
1967	agosto	35.0
1968	febrero	15.0
1969	septiembre	38.0
1970	agosto	35.0
1971	agosto	24.0
1972	julio	39.5
1973	noviembre	12.4
1974	julio	37.8
1975	septiembre	28.0
1976	septiembre	19.0
1977	julio	29.3
1978	octubre	33.6
1979	enero	59.0
1980	julio	13.5
1981	enero	26.5
1982	septiembre	36.2
1983	diciembre	62.9
1984	agosto	28.1
1985	noviembre	26.0
1986	julio	38.3
1987	julio	47.8
1988	agosto	61.6
1989	enero	31.6
1990	diciembre	33.9

Los datos anteriores (tabla 5.1) se ordenan de mayor a menor, asignándole un período de retorno de acuerdo a la ecuación de Willbul (tabla 5.2):

$$T = (n + 1)/m \quad (5.1)$$

donde T = período de retorno del evento

n = número de datos

m = número de orden en una lista de datos, asignándole el número 1 al dato mayor y el último al dato menor

TABLA 5.2

PRECIPITACION MAXIMA (mm)	m	T
79.0	1	32
62.9	2	16
61.6	3	10.7
59.0	4	8.0
58.0	5	6.4
47.8	6	5.3
47.2	7	4.6
47.0	8	4.0
42.0	9	3.6
39.7	10	3.2
39.5	11	2.9
38.3	12	2.7
38.0	13	2.5
37.8	14	2.3
36.2	15	2.1
35.0	16	2.0
35.0	17	1.9
33.9	18	1.8
33.6	19	1.7
31.6	20	1.6
29.3	21	1.52
28.1	22	1.45
28.0	23	1.39
26.5	24	1.33
26.0	25	1.28
24.0	26	1.23
23.0	27	1.18
19.0	28	1.14
15.0	29	1.10
13.5	30	1.06
12.4	31	1.03

A continuación, se calculará la precipitación de diseño (Pm) con un período de retorno T = 1.25 años con el 80% de confiabilidad, que es lo que se recomienda para una obra de captación de escurrimiento superficial (Subdelegación de Estudio en Sonora de la CNA).

Para calcular la precipitación de diseño, se utilizará la función de distribución de probabilidad Gumbel -que es muy utilizada por los hidrólogos mexicanos- para el análisis de los valores extremos de la lista de datos, como son las precipitaciones máximas o mínimas anuales.

Se presenta un resumen<sup>7</sup> de la distribución Gumbel.

Supongase que se tiene N muestras, cada una de las cuales contiene n eventos. Si se selecciona el máximo x de los n eventos de cada muestra, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidades de x tiende a

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (5.2)$$

la función de densidad de probabilidad es

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)} e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (5.3)$$

donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de la función.

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  se pueden estimar como

$$\alpha = 1.2825/S \quad (5.4)$$

donde S es la desviación estándar de la muestra

$$S = \left[ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1) \right]^{1/2} \quad (5.5)$$

y  $\bar{X}$  es la media de la muestra

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n \quad (5.6)$$

$$\beta = \bar{X} - 0.45S \quad (5.7)$$

para muestras muy grandes o bien como

$$\alpha = \sigma_v / S \quad (5.8)$$

$$\beta = \bar{X} - \mu_v / \alpha \quad (5.9)$$

---

<sup>7</sup>Este resumen fue extraído de la obra citada: Aparicio Mijares Javier; Fundamentos de Hidrología de Superficie; Limusa, 1989.

para muestras relativamente pequeñas, donde  $\mu_y$  y  $\sigma_y$  se muestran en la tabla 5.3

TABLA 5.3

$n$	$\mu_y$	$\sigma_y$
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607
55	0.5504	1.1682
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5548	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1974
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2037
100	0.5600	1.2065

La media y la desviación estándar de la muestra, ec. 5.6 y 5.5, respectivamente:

$$\bar{X} = 37.029 \text{ mm}$$

$$S = 15.457 \text{ mm}$$

para 31 años de registro, de la tabla 5.3

$$\mu_y = 0.53702$$

$$\sigma_y = 1.1156$$

así, de las ecs. 5.8 y 5.9

$$\sigma = 1.1156/15.457 = 0.07217 \text{ mm}^{-1}$$

$$\beta = 37.029 - 0.53702/0.07217 = 29.588 \text{ mm}$$

por consiguiente, para  $T=1.25$  años, la función de distribución de probabilidad es (Aparicio, 1989):

$$F(x) = P(X \leq x) = (T-1)/T = (1.25-1)/1.25 = 0.25$$

igualando este resultado con la ec. 5.2 y despejando  $x$ , se tiene:

$$x = \beta - \sigma^{-1} \ln[\ln(1/0.25)] = 29.588 - (0.07217)^{-1} \ln[\ln(4)] = 25.062 \text{ mm}$$

la precipitación de diseño será:

$$\underline{P_m = 25 \text{ mm}}$$

## PRUEBAS DE BONDAD DEL AJUSTE

Las pruebas de bondad del ajuste más conocidas y que se utilizan en hidrología son la  $X^2$  y la de Kolmogorov-Smirnov. Estas pruebas se aplicarán a nuestro problema en particular.

### Prueba $X^2$

Primeramente, calculamos el número  $k$  de intervalos de clase. Para esto utilizamos la fórmula empírica propuesta por Sturges (1926); si el número de datos es  $n$ , el número  $k$  de intervalos entre el mínimo y el máximo valor observado será aproximadamente

$$k = 1 + 3.3 \log n = 1 + 3.3 \log(31) = 5.92$$

optamos por el número entero más próximo, en este caso  $k = 6$

Proseguimos por obtener la distribución de frecuencia como se muestra en la tabla 5.4:

TABLA 5.4

intervalo $i$	limite inferior $l_i$	limite superior $S_i$	marca de clase	frecuen- cia $f_i$
1	10	22	16	4
2	22	34	28	10
3	34	46	40	9
4	46	58	52	4
5	58	70	64	3
6	70	82	76	1

$$\Sigma = n = 31$$

posteriormente se calcula el parámetro  $D$ , con la siguiente expresión

$$D = \sum_{i=1}^k (f_i - \varepsilon_i)^2 / \varepsilon_i \quad (5.10)$$

donde:  $f_i$  es la frecuencia observada de eventos en el intervalo  $i$  y  $\varepsilon_i$  es el número esperado de eventos en el mismo intervalo y se calcula con la siguiente expresión

$$\varepsilon_i = n[F(S_i) - F(l_i)], \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (5.11)$$

$F(S_i)$  es la función de distribución de probabilidad evaluada en el limite superior del intervalo  $i$ ,  $F(I_i)$  es la misma función evaluada en el limite inferior y  $n$  es el número de eventos.

En la tabla 5.5 se presentan los cálculos para obtener el parámetro  $D$  para la función de distribución Gumbel

$$F(x) = e^{-e^{-0.07217(x-29.588)}}$$



TABLA 5.5

intervalo $i$	$F(S_i)$	$F(I_i)$	$\epsilon_i$	$(f_i - \epsilon_i)^2 / \epsilon_i$
1	0.1774	0.0164	5.0	0.20
2	0.4832	0.1774	9.480	0.0285
3	0.7364	0.4832	7.850	0.1685
4	0.8792	0.7364	4.427	0.0412
5	0.9473	0.8792	2.111	0.3744
6	0.9775	0.9473	0.936	0.0043

$$\Sigma \epsilon_i = 29.804 \quad D = 0.8169$$

Para aceptar la función de distribución Gumbel como verdadera, se debe cumplir

$$D \leq X^2_{1-\alpha, v}$$

donde  $v = k - 1 - m$  grados de libertad y  $m$  es el número de parámetros de la función de distribución,  $\alpha$  es el nivel de significación; por lo regular se escoge de 0.05 así:

$$X^2_{0.95, 3} = 7.81$$

por lo que se cumple que

$$D \leq X^2_{0.95, 3}$$

$$0.8169 \leq 7.81$$

y la función de distribución Gumbel se acepta.

## Prueba Kolmogorov-Smirnov

En esta prueba se compara el máximo valor absoluto de la diferencia (D), de la función de distribución de probabilidad observado  $F_o(X_m)$  y la estimada  $F(X_m)$

$$D = \max | F_o(X_m) - F(X_m) | \quad (5.12)$$

con un valor crítico (d) que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionada.

La función de distribución de probabilidad observada se puede calcular como:

$$F_o(X_m) = 1 - m/(n + 1) \quad (5.13)$$

donde  $m$  es el número de orden del dato  $X_m$  en una lista de mayor a menor y  $n$  es el número total de datos.

Los cálculos se muestran en la tabla 5.6

De la tabla 5.6 observamos que el máximo valor obtenido es con  $D = 0.07$ .

Para que se acepte la distribución Gumbel, se debe cumplir  $D < d$

para un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  y  $n = 31$ :  $d = 0.24$

por lo tanto se acepta  $0.07 < 0.24$

TABLE 5.6

m	Xm	F <sub>0</sub> (Xm)	F(Xm)	D
1	79.0	0.9687	0.9721	0.0034
2	62.9	0.9375	0.9136	0.0239
3	61.6	0.9062	0.9055	0.0007
4	59.0	0.8750	0.8871	0.0121
5	58.0	0.8437	0.8793	0.0356
6	47.8	0.8125	0.7644	0.0481
7	47.2	0.7812	0.7554	0.0258
8	47.0	0.750	0.7523	0.0023
9	42.0	0.7187	0.6645	0.0542
10	39.7	0.6875	0.6175	0.070
11	39.5	0.6562	0.6132	0.043
12	38.3	0.625	0.5867	0.0383
13	38.0	0.5937	0.580	0.0137
14	37.8	0.5625	0.5753	0.0128
15	36.2	0.5312	0.5377	0.0065
16	35.0	0.50	0.5083	0.0083
17	35.0	0.4687	0.5083	0.0396
18	33.9	0.4375	0.4807	0.0432
19	33.6	0.4062	0.4730	0.0668
20	31.6	0.3750	0.4211	0.0461
21	29.3	0.3437	0.3602	0.0165
22	28.1	0.3125	0.3284	0.0159
23	28.0	0.2812	0.3258	0.0446
24	26.5	0.250	0.2866	0.0366
25	26.0	0.2187	0.2737	0.055
26	24.0	0.1875	0.2238	0.0363
27	23.0	0.1562	0.20	0.0438
28	19.0	0.1250	0.1168	0.0082
29	15.0	0.094	0.057	0.037
30	13.5	0.0625	0.041	0.0215
31	12.4	0.0312	0.0315	0.003

## P A R T E 2

### DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE ESCURRIMIENTO

#### Ubicación

El lugar donde se propone construir el sistema de captación está situado dentro del municipio Plutarco Elías Calles, Sonora. Se tendrá acceso a estos terrenos, tomando de referencia la ciudad de Sonoyta, aproximadamente con 20 km de terracería en dirección este.

Sus coordenadas son:

Latitud norte 31°46'

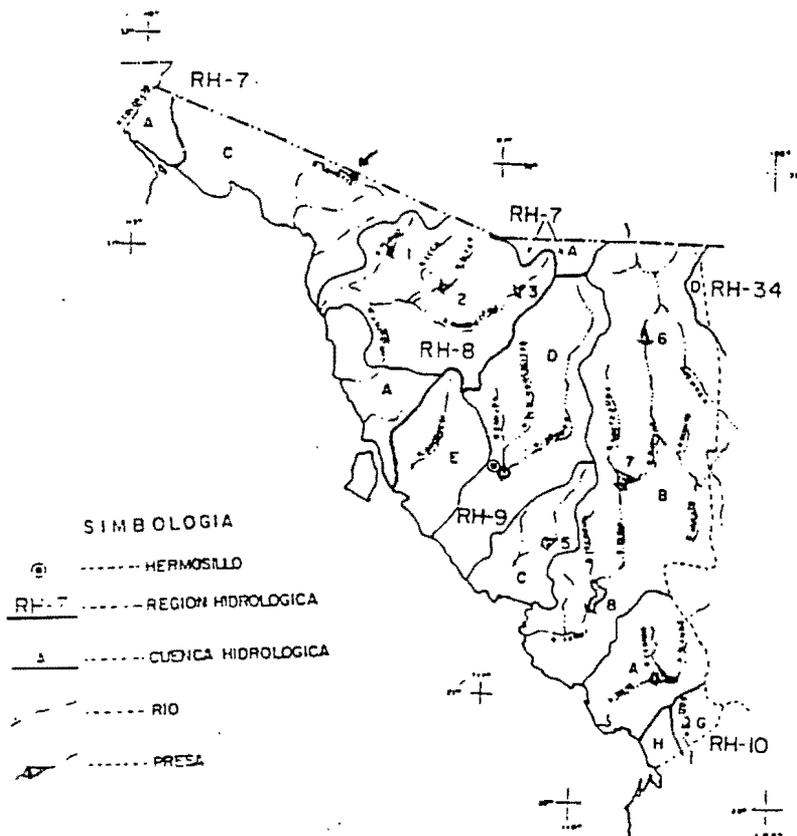
Longitud oeste 112°40'

#### Hidrología

El lugar de interés se encuentra ubicado (figura 5.1) en la zona Sonora Norte, Región Hidrológica 8, cuenca C: Desierto de Altar - Río Bamori.

FIGURA 5.1

#### HIDROGRAFIA



## Topografía

La topografía del lugar de interés, es plana, con una pendiente estimada de  $S = 0.005$ .

## Suelo

El suelo en el lugar de interés, está caracterizado por yermosoles y en menor grado por regosoles. En esta región existe la fase física gravosa con partículas menores de 7.5 cm de largo en la superficie del terreno, o a poca profundidad.

Para esta aplicación en particular, consideraré que esta fase física no impide el uso del suelo. La clase textural en esta región es areno-limoso.

## Cultivo

En la región crece la jojoba, que es una planta nativa del desierto de Sonora, se está comercializando considerablemente a nivel internacional y a pesar de eso, en México no se ha sabido aprovechar esta planta.

Para este caso en particular supongo un área de aprovechamiento de 10 hectáreas de jojoba con una lámina de riego de 250 mm. Este cultivo tardará 3 años en dar sus frutos para comerciar, por lo que este punto debe ser tomado en cuenta por los agricultores de temporal.

## Cuenca artificial: área de escurrimiento

Área aprovechada:  $A_a = 10 \text{ ha} = 100\,000 \text{ m}^2$

Lámina de riego:  $L_r = 250 \text{ mm} = 0.25 \text{ m}$

Coefficiente de escurrimiento:  $C_e = 0.1$

Precipitación de diseño:  $P_m = 25 \text{ mm} = 0.025 \text{ m}$

El volumen de agua requerida por el cultivo es (ec. 3.4.1)

$$V_a = 0.25 \times 100\,000 = 25\,000 \text{ m}^3$$

el volumen de lluvia es (ec. 3.4.2)

$$V_{LL} = 25\,000 / 0.1 = 250\,000 \text{ m}^3$$

el área de escurrimiento necesario es (ec. 3.4.3)

$$A_e = 250\,000 / 0.025 = 10 \times 10^6 \text{ m}^2 = 10 \text{ km}^2$$

### Dimensionamiento del área de escurrimiento.-

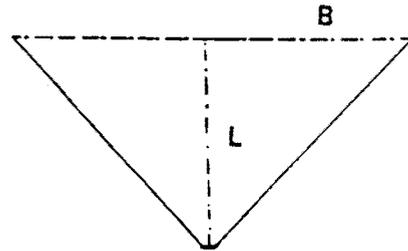
El área de escurrimiento tendrá la forma triangular, con la condición de que  $B = 2L$  (se supone como la condición que mejor se adapta al lugar); donde  $B$  es la longitud de la base de la figura y  $L$  la longitud normal desde el punto de interés hasta la base, en otras palabras, es la longitud del cauce principal. Así:

$$B.L/2 = Ae$$

$$L = \sqrt{Ae} = \sqrt{10}$$

$$L = 3.162 \text{ km}$$

$$B = 6.324 \text{ km}$$



la altura de los lados  $b$  será igual a los bordos del canal conductor o la obra de toma (lo más factible). El lado  $B$  no se construirá para captar los escurrimientos superficiales de lluvias en las regiones topográficamente más altas.

### Gasto de diseño.-

El gasto de diseño se calculará utilizando el método del hidrograma unitario triangular porque sólo se cuenta con las características físicas de la cuenca (referencia 5):

Para estimar el tiempo de concentración se utiliza la fórmula de Kirpich

$$t_c = (0.86L^3/H)^{0.325}$$

donde  $L$  es la longitud del cauce principal, en km

$H$  es el desnivel entre los extremos del cauce principal, en m

$t_c$  es el tiempo de concentración, en h

la pendiente estimada de la región es  $S = 0.005$ , por lo que el desnivel  $H$  se calcula como:

$$H = SL = 0.005(3162) = 15.81 \text{ m}$$

el tiempo de concentración es:

$$t_c = [0.86 \times 3.162^3 / 15.81]^{0.325} = 1.2 \text{ h}$$

la duración efectiva de lluvia se calcula con la expresión

$$d = 2\sqrt{t_c}$$

donde  $d$  es la duración efectiva, en h

Así:

$$d = 2\sqrt{1.2} = 2.2 \text{ h}$$

el tiempo de retraso  $t_R$  se estima como

$$t_R = 0.6t_c = 0.6 \times 1.2 = 0.72 \text{ h}$$

el tiempo pico  $t_p$  se obtiene como

$$t_p = 0.5d + t_R = 0.5 \times 2.2 + 0.72 = 1.82 \text{ h}$$

y el gasto pico se obtiene con la expresión

$$Q_p = 0.208A/t_p$$

donde  $Q_p$  es el gasto pico, en  $\text{m}^3/\text{s}$

$A$  es el área de la cuenca, en  $\text{km}^2$

por lo tanto:

$$Q_p = 0.208 \times 10 / 1.82 = 1.143 \text{ m}^3/\text{s}$$

que es el gasto de diseño

El tiempo de vaciado de escurrimiento superficial de la cuenca artificial, está dado por la siguiente expresión

$$N = 0.827A^{0.2}$$

donde  $N$  es el tiempo de vaciado del escurrimiento, en días

$A$  es el área de la cuenca, en  $\text{km}^2$

entonces:

$$N = 0.827 \times 10^{0.2} = 1.31 \text{ días} = 31.46 \text{ h}$$

### Canal de conducción

El canal se diseña de acuerdo con el método de la fuerza tractiva presentado en la sección 3.4.2. La plantilla del canal estará a nivel del terreno natural. Los bordos se construirán con material local, el cual es un suelo de textura areno-limoso con un alto porcentaje de grava debido a la fase física que existe en la región. El 25% de este suelo tiene un diámetro mayor de los 35 mm y es de forma angular.

Procedimiento de la fuerza tractiva:

1.- Con el diámetro (35 mm) y forma (angular) del material, de la figura 3.1 se obtiene el ángulo de reposo

$$\varphi = 39^\circ, \text{ proponemos talud } k=2, \theta = 26^\circ 34', \text{ se cumple } \theta \leq \varphi$$

2.-  $K = \tau_s / \tau_p$

$$K = [1 - (\sin^2 26^\circ 34' / \sin^2 39^\circ)]^{1/2} = 0.7035$$

3.- El esfuerzo tangencial máximo que resiste una partícula de 35 mm de diámetro sobre la plantilla, se obtiene como:

$$\tau_p = d_{75} / 13 = 35 / 13 = 2.692 \text{ kg/m}^2$$

4.- El esfuerzo tangencial que ese mismo material resiste sobre el talud es:

$$\tau_s = K \tau_p = 0.7035 \times 2.692 = 1.894 \text{ kg/m}^2$$

5.- El esfuerzo tangencial que el flujo produce sobre el talud y la plantilla respectivamente, es:

$$\tau_s = \gamma S \varepsilon_s Y = 5 \varepsilon_s Y$$

$$\tau_p = \gamma S \varepsilon_p Y = 5 \varepsilon_p Y$$

6.- Proponemos  $b/Y=4$ , utilizando el valor del talud  $k=2$ , de la figura 3.3 y 3.4 obtenemos respectivamente:

$$\varepsilon_s = 0.77 \text{ y } \varepsilon_p = 0.97$$

sustituyendo estos valores en las ecuaciones del paso 5, tenemos

$$\tau_s = 3.85 Y_s \text{ y } \tau_p = 4.85 Y_p$$

7.- Se igualan las ecuaciones del paso 6 con los esfuerzos permisibles de los pasos 3 y 4:

$$1.894 = 3.85 Y_s \text{ de donde } Y_s = 0.5$$

$$2.692 = 4.85 Y_p \text{ de donde } Y_p = 0.55$$

$$\text{se escoge } Y = 0.5 \text{ m}$$

8.-  $b = 4y = 4 \times 0.5 = 2 \text{ m}$

9.- Se calcula el gasto de diseño

$$n = 0.01195 \varepsilon^{1/6} = 0.01195 (35)^{1/6} = 0.021$$

$$A = bY + kY^2 = 2 \times 0.5 + 2(0.5)^2 = 1.5 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2Y(1 + k^2)^{1/2} = 2 \times 0.5 + 2(0.5)^2 = 4.236 \text{ m}$$

$$Q = (0.005)^{1/2} (1.5)^{5/3} / [0.021 (4.236)^{2/3}] = 2.528 \text{ m}^3/\text{s}$$

10.- Como el gasto calculado no es el deseado, se escoge un nuevo valor de  $b/Y$ , y se repite el procedimiento a partir del paso 6 hasta satisfacer esta condición.

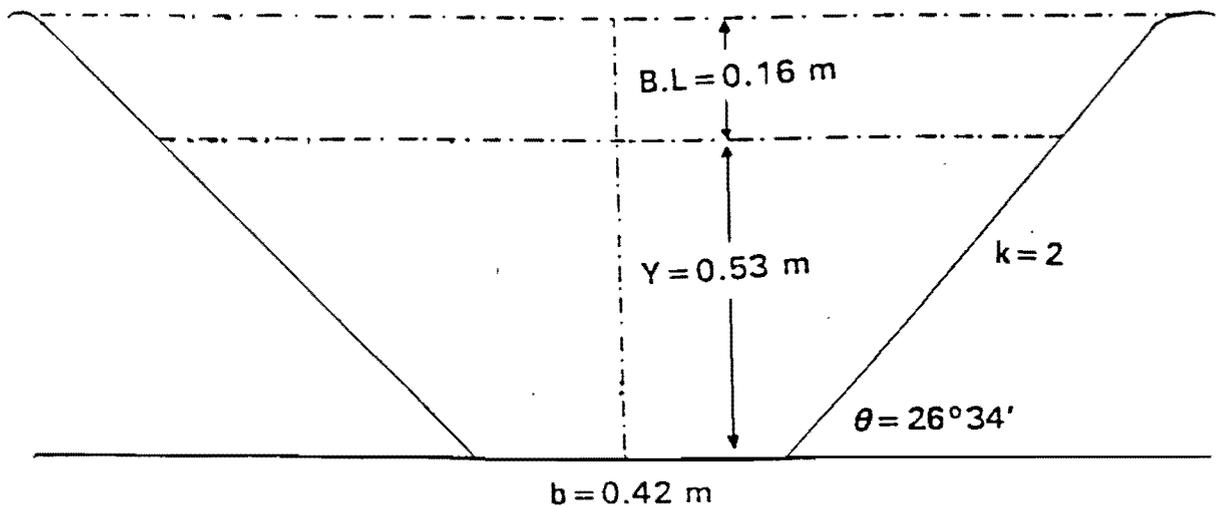
Enseguida se presenta una tabla de los tanteos para determinar la sección:

$b/Y$	$\epsilon_s$	$\epsilon_p$	$Y_s$	$Y_p$	$Y$	$b$	$A^{6/3}$	$P^{2/3}$	$Q$
4	0.77	0.97	0.50	0.55	0.50	2	1.965	2.618	2.528
2	0.75	0.90	0.505	0.598	0.505	1.01	1.033	2.202	1.580
1	0.72	0.8	0.526	0.673	0.526	0.526	0.733	2.023	1.219
0.8	0.71	0.78	0.533	0.690	0.533	0.426	0.682	1.991	1.154
0.78	0.71	0.77	0.533	0.70	0.533	0.415	0.674	1.986	1.143

La velocidad  $V$  del canal de conducción

$$V = n^{-1}(A/P)^{2/3}S^{1/2} = (0.021)^{-1}(0.7897/2.799)^{2/3}(0.005)^{1/2} = 1.45 \text{ m/s}$$

Aceptando un bordo libre de  $0.3Y = 0.16 \text{ m}$ , las dimensiones finales de la sección son:



## Obra de Toma.-

La obra de toma es la conexión de la cuenca artificial y el canal de conducción. Se propone toma directa de orificio circular.

Gasto de diseño:  $Q = 1.143 \text{ m}^3/\text{s}$

si el número de Reynolds  $Re > 10^5$  entonces el coeficiente de descarga  $Cd = 0.6$  (referencia 24).

El diámetro del orificio, se calcula con la siguiente ecuación (referencia 23)

$$Q = CdA(2gH)^{1/2}$$

donde A es el área del orificio, en  $\text{m}^2$

g es la constante de gravedad,  $9.81 \text{ m}^2/\text{s}$

H es el desnivel entre la superficie libre del agua y el centro de gravedad del orificio

despejando el área

$$A = Q/[Cd(2gH)^{1/2}]$$

poniendo el área en función del diámetro

$$D^2 = 4Q/[Cd\pi(2gH)^{1/2}]$$

sustituyendo valores

$$D = [4 \times 1.143 / (0.6 \times \pi \times (19.62)^{1/2} H^{1/2})]^{1/2}$$

resumiendo

$$D = 0.74/H^{1/4}$$

a continuación se presenta una tabla de los tanteos del diámetro en función de la carga hidráulica H

H	D
0.4	0.93
0.45	0.90
0.50	0.88
0.60	0.84

se propone obra de toma directa de orificio circular con  $D = 90 \text{ cm}$ .

Número de Reynolds:  $Re = VD/\nu = (2gH)^{1/2}D/\nu$

donde  $\nu$  es la viscosidad cinemática del agua a  $20^\circ C = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

sustituyendo valores

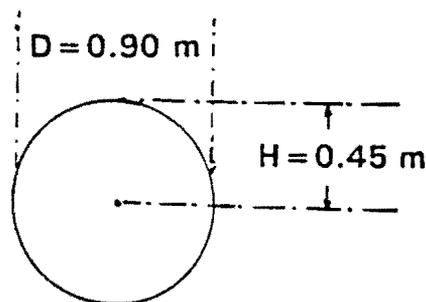
$$= (19.62 \times 0.45)^{1/2} (0.9) / 1 \times 10^{-6} = 2.67 \times 10^6$$

con lo que se cumple la condición  $Re > 10^5$

$$Q = CdA(2gH)^{1/2} = 0.6(\pi \times 0.9^2 / 4) \times (19.62 \times 0.45)^{1/2} = 1.134 \text{ m}^3/\text{s}$$

que es muy aproximado al gasto de diseño:  $Q = 1.143 \text{ m}^3/\text{s}$

Las dimensiones de la obra de toma son:



### Obra de Captación

La obra de captación o área aprovechada que es irrigada por escurrimiento se ha propuesto, tomando en cuenta la topografía de la región, el siguiente dimensionamiento: 10 secciones formadas en una sola hilera dividida por diques a cada 100 m, que siguen la dirección de las curvas de nivel del terreno. La altura de estos diques y los bordos laterales tendrán una altura de 69 cm (igual a los bordos del canal conductor).

Las secciones están conectadas entre sí, a través de vertedores rectangulares que permiten retener una lámina de 25 cm.

El terreno tendrá que ser nivelado para garantizar una buena distribución del agua.

Vertedor rectangular de pared delgada.

La ecuación para vertedores rectangulares es (referencia 24):

$$Q = 2.592\mu b h^{3/2}$$

donde  $\mu$  es el coeficiente de contracción de la lámina vertiente y se puede calcular con la fórmula de Hegly:

$$\mu = [0.6075 - 0.045((B-b)/B) + 0.0041/h] \times [1 + 0.55(b/B)^2(h/(h+w))^2]$$

B es el ancho del canal

b es la longitud de cresta del vertedor

h es la carga hidráulica en el vertedor

w es la altura de la plantilla del canal a la cresta del vertedor

proponemos un vertedor con las siguientes dimensiones

$$b = 2 \text{ m}$$

$$h = 0.26 \text{ m}$$

$$w = 0.25 \text{ m}$$

$$B = 100 \text{ m (es el ancho de la sección de aprovechamiento)}$$

sustituyendo en la fórmula de Hegly

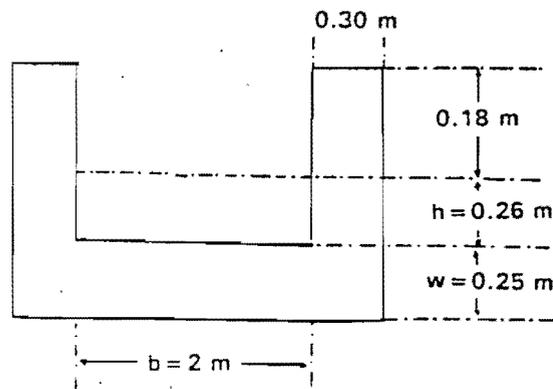
$$\mu = [0.6075 - 0.045((100-2)/100) + 0.0041/0.26] \times [1 + 0.55(2/100)^2(0.26/(0.26 + 0.25))^2] = 0.579$$

sustituyendo este valor en la ecuación para el vertedor

$$Q = 2.592 \times 0.579 \times 2 \times (0.26)^{3/2} = 0.40 \text{ m}^3/\text{s}$$

se proponen 3 vertedores rectangulares con las dimensiones propuestas para dejar pasar un gasto  $Q = 1.2 \text{ m}^3/\text{s}$  mayor de la avenida de diseño ( $1.143 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Las dimensiones del vertedor son:



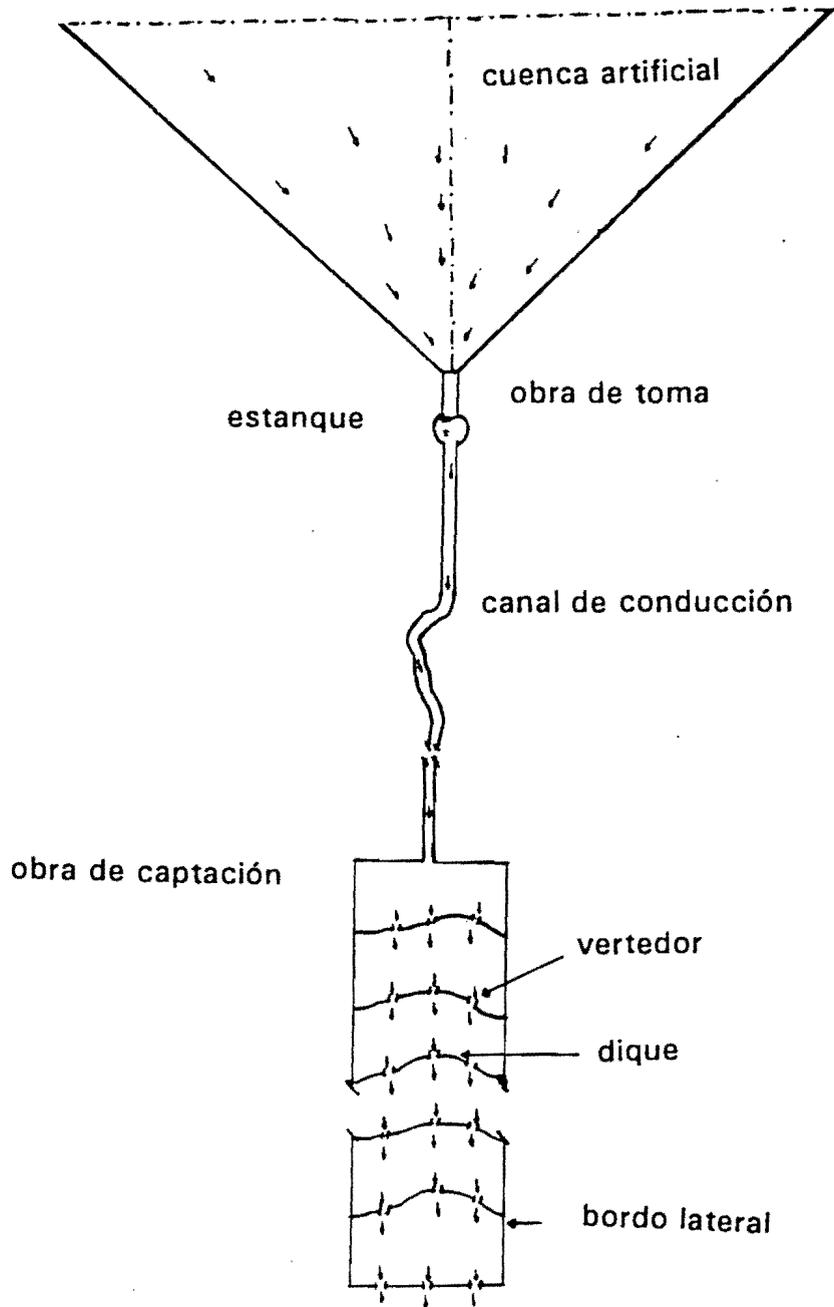


diagrama del sistema de control de escurrimiento

# **C A P I T U L O 6**

## **CONCLUSIONES**

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES

La agricultura de escurrimiento es una poderosa y versátil técnica, que puede ser aplicada en cualquier región donde se deseen aprovechar los escurrimientos para cultivos.

Los métodos que forman la agricultura de escurrimiento en el Estado de Sonora se han clasificado en dos grupos: al primero pertenecen los sistemas de riego por escurrimiento que han sido desarrollados en el desierto del Negev, donde Israel ha sido su principal impulsor y por esto lo he llamado métodos "israelíes", y lo forman los sistemas de terraza, desviación, canales de conducción, microcuenca y liman; al segundo grupo pertenecen los sistemas de riego por escurrimiento, cuyo diseño es más detallado y sus bordos son costosos porque son construidos en terreno plano y lo forman los sistemas de entarquinamiento, control de escurrimiento y bolseo.

El sistema de control de escurrimiento es un método que propongo y su funcionamiento en cuanto al aprovechamiento de los escurrimientos, está colocado entre el sistema de riego por entarquinamiento (sus dimensiones son limitadas y es utilizado para superficies reducidas de cultivo) y el sistema de riego por bolseo (el cual necesita un gasto considerable para su buen funcionamiento).

De las diferentes técnicas de aprovechamiento de escurrimiento presentados en este trabajo, el sistema de riego por bolseo es el más costoso, pero es por el cual se pueden irrigar mayores superficies de cultivo.

La relación promedio del área de captación al área cultivada, debe ser estudiada para los diferentes sistemas de aprovechamiento de escurrimiento, pues si se desea construir los bordos del área de captación para un método determinado, debemos aproximar la relación existente para que su costo sea recuperado en poco tiempo. En otras palabras, debe ser el primer indicador si el sistema por establecer será factible económicamente.

Todos los métodos que forman la agricultura de escurrimiento deben ser diseñados considerando que deben estar al alcance de otros técnicos y especialistas. Además, que no deben ser costosos ni complicados en su funcionamiento.

Cuando se proyecte un sistema de riego por escurrimiento, se debe hacer considerando la menor mano de obra posible en su funcionamiento.

En el Estado de Sonora los cultivos de temporal, están ubicados en la región sur donde la lluvia es captada directamente en los cultivos que son áreas muy reducidas, mientras que si se hiciera el manejo adecuado de los escurrimientos se podrían irrigar

superficies más extensas de cultivos a un costo muy bajo.

La SARH a través del Centro de Investigación Agrícola del Noroeste (CIANO), ha proporcionado el apoyo a los agricultores del Estado de Sonora en lo referente al mejoramiento de semillas adaptadas al lugar de cada región, lo que a generado una mejor producción por hectárea. Pero lo relacionado al manejo de escurrimiento (que es muy benéfico a los cultivos de temporal) no se le ha dado la importancia requerida, por lo que los métodos existentes de la región para el aprovechamiento de escurrimiento son muy deficientes caracterizados por una captación y conducción muy malas.

El análisis de lluvia para un rango considerable de años, cuando se diseñen los sistemas de la técnica de agricultura de escurrimiento, debe hacerse utilizando la información de precipitaciones máximas en 24 horas de cada año. En el desierto una precipitación de 10 mm con una duración menor de 15 minutos produce un torrencial que es benéfico para los cultivos de temporal cuando se puede controlar el potencial destructor que siempre los ha caracterizado.

## REFERENCIAS

## REFERENCIAS

- 1.- Aparicio Mijares Francisco J. "FUNDAMENTOS DE HIDROLOGIA DE SUPERFICIE". Limusa, 1989.
- 2.- Borbón Soto José Trinidad. "COMPORTAMIENTO DE 48 HIBRIDOS DE SORGO PARA GRANO BAJO TEMPORAL EN LA ZONA DE ALAMOS, SON". Tesis. UNI-SON, ESAG. Mayo de 1980.
- 3.- Chavez Cajigas Manuel, Ortega Murrieta Pedro Francisco. "GUIA PARA LOS PRINCIPALES CULTIVOS EN EL MUNICIPIO DE FRONTERAS, SONORA". SARH-INIA-CIANO-CAECH. Hermosillo, Sonora, México. Folleto para productores Núm. 7. Diciembre 1984.
- 4.- Domínguez M. Ramón, Gracia S. Jesús. "PERDIDAS". Cap. A.1.4 del Manual de Obras Civiles, Comisión Federal de Electricidad, México, 1981.
- 5.- Fuentes M. Oscar, Domínguez M. Ramón, Franco Victor. "RELACION ENTRE PRECIPITACION Y ESCURRIMIENTO". CaP. 1.5 del Manual de Diseño de Obras Civiles, Comisión Federal de Electricidad, México, 1981.
- 6.- Gonzales Bautista Javier. "EFECTO DE CINCO METODOS DE LABRANZA DEL SUELO EN EL RENDIMIENTO DE AJONJOLI DE TEMPORAL". Tesis. ESAG, UNI-SON, Julio 1984.
- 7.- Grageda Grageda Jose. "GUIA PARA CULTIVAR RYEGRASS, ALFALFA Y MAIZ EN EL BAJO RIO BAVISPE". SARH - INIA - CIANO - CAECH. Hermosillo, Sonora, México. Folleto para productores Núm. 8. Diciembre 1985.
- 8.- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informatica. "ANUARIO ESTADISTICO DE SONORA, 1984". Tomo 1. Gobierno del Estado de Sonora.
- 9.- Lara Macías Carlos René, Duarte Ramirez José Juan, Beltran Fonseca Manuel de J., Armenta Cardenas Inés, Fierro Leyva Gustavo Adolfo, Borbón Soto José Trinidad, Moreno Ramos Oscar Humberto. "GUIA PARA PRODUCIR MAIZ DE TEMPORAL EN LA REGION DE ALAMOS, SON". SARH - INIA - CIANO - CAEVM. Navojoa Sonora, México. Folleto para productores Núm. 4. Julio 1982.
- 10.- Lopez Garcia Adislao, Loaiza Villegas Juan Manuel, Morua Leyva Jesús Gonzalo, Ortega Murrieta Pedro Francisco, Romo Ruiz Carlos, Torres Ramirez Elías. "GUIA PARA LOS CULTIVOS AGRICOLAS EN LOS RIOS SONORA Y SAN MIGUEL". SARH-INIA-CIANO-CAECH. Hermosillo, Sonora, México. Folleto para productores Núm. 6. Enero 1983.

11.- Madrid Cruz Manuel. "EVALUACION DE 6 VARIEDADES DE SORGO FORRAJERO Y 3 DE DOBLE PROPOSITO (grano y forraje) BAJO CONDICIONES DE TEMPORAL EN LOS MUNICIPIOS DE ROSARIO TEZOPACO Y EL QUIRIEGO, SON". Tesis. UNI-SON, ESAG. Agosto 1982.

12.- Maza Alvarez José Antonio. "INTRODUCTION TO RIVER ENGINEERING". División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, 1987.

13.- Ortega Murrieta Pedro Francisco, Romo Ruiz Carlos, Torres Ramirez Elias, Morua Leyva J. Gonzalo. "GUIA PARA CULTIVAR FRIJOL EN LAS RIBERAS DE LOS RIOS SONORA Y SAN MIGUEL". SARH - INIA - CIANO - CAECH. Hermosillo, Sonora, México. Folleto para productores Núm. 5. Julio 1982.

14.- Osorio Acosta Guadalupe. "OPTIMIZACION DEL AGUA DE LLUVIA MEDIANTE CAPTACION in situ, COBERTURA ORGANICA Y ARREGLO ESPACIAL EN MAIZ EN FUNCION DEL VOLUMEN DE AGUA POR PLANTA". Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 1989.

15.- Sanz Ramos Rafael. " GUION PARA LA ELABORACION DE UN ESTUDIO AGRICOLA PRELIMINAR EN AREAS A BENEFICIAR MEDIANTE SISTEMAS DE RIEGO POR BOLSEO (temporal)". Sección de Estudio de la Delegación Estatal en Sonora de la CNA. Agosto de 1987.

16.- SARH. "INFORMACION AGRICOLA". Enero 1991.

17.- Shreve and Wiggins. "VEGETATION AND FLOR OF THE SONORAN DESERT". Universidad de Arizona, 1965.

18.- SARH. "PRONTUARIO ESTADISTICO SONORA AGROPECUARIO". Representación en el Estado de Sonora (Zona Norte). Primera Edición Dic. 79.

19.- Secretaria de Planeación de Desarrollo. "AGENDA ESTADISTICA 1989 - 1990". Gobierno del Estado de Sonora.

20.- Solis Garza Gilberto. "EXP II.1.C.- EVALUACION DE ESPECIES DEL GENERO Atriplex BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE TEXTURA EN DOS EPOCAS DEL AÑO SIN APLICACION DE RIEGO". CIANO - CAECH. 1990.

21.- Solis Garza Gilberto, Molina Maldonado Carmen. "PLANTAS CON UTILIZACION ACTUAL Y POTENCIAL DEL DESIERTO SONORENSE". CIANO - CAECH.

22.- Solis Garza Gilberto, Ramonet Rascón Ricardo. "ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL CULTIVO Y PRODUCTIVIDAD DE SELECCIONES DE JOJOBA PROPAGADA VEGETATIVAMENTE". CECH. CIFAPSON -INIFAP. Apartado Postal 1031, Hermosillo, Sonora, México.

23.- Sotelo Avila Gilberto. "APUNTES DE HIDRAULICA II". Facultad de Ingenieria, UNAM, 1989.

24.- Sotelo Avila Gilberto. "HIDRAULICA GENERAL, Vol. I". Limusa, 1984.

25.- Taller Israel-México; Uso Eficiente del Agua en Zonas Aridas. "RUNOFF AGRICULTURE FOR ARID AND SEMI-ARID LANDS". Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Marzo de 1990.

26.- Tovar Salinas Jorge L., Lagaspi Guzmán Armando. Editores. "CAPTACION in situ DE AGUA DE LLUVIA Y MANEJO DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIALES A NIVEL PARCELA". MEMORIAS DEL I SIMPOSIUM NACIONAL. Primera Edición 1990. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Estado de México.

26.1.- Anaya Garduño Manuel. "INVESTIGACION SOBRE APROVECHAMIENTO DE LA LLUVIA EN ZONAS AGRICOLAS DE TEMPORAL DEFICIENTE".

26.2.- Figueroa Sandoval Benjamin. "SISTEMAS DE MANEJO DE ESCURRIMIENTOS EN LAS ZONAS ARIDAS DE MEXICO".

26.3.- Osorio Acosta Guadalupe, Tovar Salinas Jorge L. "LA PRECIPITACION CAUSANTE DE ESCURRIMIENTO COMO COMPONENTE DE UN MODELO PARA EL DISEÑO DE MICROCUENCA".

26.4.- Soto Martínez Cesar, Cortés Moreno Juan Ricardo. "OBRAS PARA LA CAPTACION DEL AGUA DE LLUVIA in situ Y MANEJO DE ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES, QUE REALIZA LA COMISION NACIONAL DE LAS ZONAS ARIDAS (CONAZA) EN BENEFICIO DE LOS CAMPESINOS DEL DESIERTO Y SEMIDESIERTO MEXICANO".

26.5.- Vázquez Avila Enrique. "EL PLAN MEVA".

27.- Valenzuela Borbón Jesus Rafael. "EVALUACION DE LA RESPUESTA A LA FERTILIZACION NITROFOSFORICA EN SORGO FORRAJERO BAJO CONDICIONES DE TEMPORAL EN ROSARIO, TEZOPACO, SONORA". Tesis. UNI-SON, ESAG. Mayo 1986.