

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



EL DRENAJE AGRICOLA CON SUS DIFERENTES  
ALTERNATIVAS DE SOLUCION.

OPCION II-A

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO  
AGRONOMO PARASITOLOGO

PRESENTA:

ELIAS LOREDO CRUZ

T  
S621  
L6  
c.1

MAYO DE 1988

T  
S621  
L6  
C.1



1080063961

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA**



**EL DRENAJE AGRICOLA CON SUS DIFERENTES  
ALTERNATIVAS DE SOLUCION.**

**OPCION II-A**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO  
AGRONOMO PARASITOLOGO**

**PRESENTA:**

**ELIAS LOREDO CRUZ**

T  
S621  
L6

040 631  
FA5  
1988



*Tesis*

**A MI ASESOR:**

**DR. RIGOBERTO VAZQUEZ**

**Por su colaboración en la realización  
de este trabajo.**

**A MIS MAESTROS**

**A MIS COMPANEROS**

**En especial al:**

**ING. CARLOS OCHOA GOMEZ**

**Por el gran apoyo y la amistad  
que siempre me ha demostrado.**

A DIOS

A MI ESPOSA

HITA CASTILLO CORTES

Por su amor, apoyo y comprensión  
que me has dado para llegar a la  
culminación de mi carrera.

A MIS HIJOS

Aceneth Saray

Elías

A MIS PADRES

SR. JOSE LOREDO ORTIZ

SRA. MA. DOLORES CRUZ BALLEZA

Con cariño y gratitud eterna a los  
esfuerzos y sacrificios para que  
lograra la culminación de mi carre  
ra.

A MIS HERMANOS

NICANOR

J. REFUGIO

SARA

DANIEL

ISRAEL

ELISEO

## INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Causas del exceso de agua en el suelo.....	5
2.2.1. Principales fuentes que aportan excedentes de agua en el perfil del suelo.....	5
2.3. Beneficios del buen drenaje para la tierra y el - cultivo.....	6
2.4. Formas de desalojar el excedente de agua en el -- suelo.....	7
2.4.1. Zanjas abiertas.....	8
2.4.1.1. Caracterfsticas del diseño de una zanja abierta.....	9
2.4.1.2. Profundidades de las zanjas y su- pendiente.....	9
2.4.1.3. Pendientes de los taludes.....	12
2.4.1.4. Formas de una zanja abierta.....	13
2.4.2. Drenajes enterrados.....	13
2.4.2.1. Drenes por tubos.....	14
2.4.2.2. Drenes topo.....	20
2.4.3. Otras alternativas de drenaje.....	23
2.5. Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de drenes.....	28
2.5.1. Zanjas abiertas.....	28
2.5.2. Drenes entubados.....	29

	Pág.
2.5.3. Tubos de plástico.....	30
2.5.4. Tubos corrugados de plástico.....	33
2.5.5. Drenes topo.....	34
2.6. Criterios para la elección de un sistema de drenaje.....	34
2.6.1. Metodología a utilizar.....	36
2.7. Costos del drenaje.....	37
3. BIBLIOGRAFIA.....	42

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA		Pág.
1	Drenes abiertos y drenes enterrados.....	10
2	Diferentes tipos de zanjas abiertas.....	11
3	Diferentes formas de tubos de barro para drenaje -- agrícola.....	15
4	Diferentes tipos de tubos de plástico para drenaje- agrícola.....	19
5	Diferentes arados topo y galería del dren.....	21
6	Diferentes tipos de drenes por tablas y su forma de colocación.....	24
7	Diferentes tipos de drenes por piedras.....	26
8	Diferentes tipos de drenes para pacas.....	27

## INDICE DE TABLAS

TABLA		Pág.
1	Comparación de drenes abiertos y entubados.....	31
2	Comparación de drenes de barro y drenes de concreto	32
3	Comparación de los diferentes drenes.....	35
4	Tubos de concreto fabricados en Monterrey, caracte-- rísticas y precios de junio 1986 a mayo 1988.....	38
5	Tubos de barro que se construyen en Monterrey con - los precios de junio 1986 y mayo 1988.....	39

## I. INTRODUCCION

El drenaje agrícola se define como el conjunto de acciones que se realizan para eliminar los sobrantes de humedad del suelo, donde se desarrollan las raíces de un cultivo, manteniendo un nivel de agua más o menos constante por debajo de esta zona.

Donde las condiciones climáticas presentan una excesiva -- precipitación y el terreno no tiene la capacidad suficiente para eliminar los excedentes o, donde el suelo presenta un manto freático muy superficial, es necesario implementar un sistema de drenaje. También, cuando las altas concentraciones de sales en el suelo, no dejan prosperar los cultivos, se hace necesario bajar, por un lado, el manto freático y, por otro, eliminar la salinidad del perfil del suelo donde se encuentran las raíces.

En México, por su gran diversidad de regiones agrícolas, - existen grandes y diferentes problemas de drenaje, por sus diferencias topográficas, climatológicas y de cultivos. Por ésto - es necesario conocer las alternativas que tendría el campesino - para establecer un sistema de drenaje, según la región y el que dependerá además, de los recursos económicos con que cuenta el productor, la redituabilidad del cultivo, condiciones físicas - del cultivo, cantidad y calidad del mismo; que al final de cuentas será el campesino quien hará la elección definitiva, al comparar las ventajas, desventajas y diferencias, entre los diversos tipos y materiales utilizados en el drenaje del suelo y subsuelo. Siendo este el objetivo del presente trabajo, ya - que actualmente no se encuentran estudios comparativos de los -

materiales que se encuentran en el mercado.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

Ya en las grandes civilizaciones antiguas, como la de los egipcios, según Homero 400 años A.C., conocían la importancia del drenaje, encontrándose instalaciones antiguas en el Valle del Nilo. Otros historiadores antiguos, como Virgilio, Caton, etc., mencionaban que en los dominios de Roma era práctica muy usual, en ese tiempo, el drenaje de terrenos agrícolas. En América, los aztecas utilizaban sistemas de drenaje para ganar terreno a los lagos del Valle de México y, en sus chinampas para mejorar las técnicas de cultivo (Burgerss y Calude, 1960).

El actual drenaje entubado se originó en Inglaterra por los años de 1810, aunque en Francia había sido utilizado el tubo de barro por 1620 (Luthin, 1979).

Tan importante ha resultado su uso que los holandeses le han ganado terreno al mar, añadiendo a su territorio hasta un 7%, al utilizar sistemas de drenaje superficial y subterráneo, con un costo de ciento sesenta y dos dólares por hectárea. Aumentando el terreno agrícola un 10%, lo cual justifica muy bien el gasto de doscientos diez millones de dólares (Burgerss y Claude, 1960).

Una mala aereación afecta el desarrollo y funcionamiento de las raíces, donde el bajo contenido de oxígeno o el elevado bióxido de carbono, son los causantes de que las plantas no puedan absorber agua, aunque se encuentren sumergidas en la misma,

provocando que después surgan serios problemas de deficiencias nutricionales (Satorios y Balcher citados por Humbert, 1974).

En la década de los cuarenta, en las zonas cañeras de México, existía una gran preocupación por las grandes bajas en los rendimientos en los terrenos con problemas de drenaje; considerando que el cultivo de la caña de azúcar es de los más resistentes a la sobresaturación, se encontraba que en los suelos bajos de arcillas pesadas se podían dar pérdidas totales, y al aplicar un sistema de drenaje se elevaba el rendimiento hasta un trece por ciento por hectárea. Notando que en los terrenos sembrados con caña en México existe de un 30 a un 40% con problemas urgentes de drenaje (Banco de México, 1953 y Humbert, 1974).

Actualmente existe en nuestro país más de un millón de hectáreas que tienen problemas con el drenaje, necesitándose que en una forma urgente se rehabiliten (Valdes, 1982).

En los Estados Unidos de Norteamérica, alrededor de 42 millones de hectáreas se han beneficiado con algún sistema de drenaje; quince estados de ese país tienen arriba de 80% de su suelo agrícola con problemas de mal drenaje. En un orden de importancia, según la mayor utilización de estos sistemas de desalojo de humedad del suelo, son: Illinois, Iowa, Arkansas, Texas, Michigan, Carolina del Norte, Ohio, Missouri, California y Dakota del Norte, representando alrededor de un 23% de la superficie del país (Committee on the Status of Irrigation and Drainage, 1984).

Las tierras húmedas, aun de pantanos, que se drenen adecuadamente podrían llegar a ser más productivas que las que no tienen estos problemas, llegando a recuperar los costos de la inversión en 2 a 5 años (Leitch, 1983).

## 2.2. Causas del Exceso de Agua en el Suelo

Las investigaciones sobre los problemas de drenaje han determinado que los principales factores, que originan un exceso de agua en los suelos son:

- a) Inundaciones periódicas en los terrenos, debido a desbordamientos de corrientes.
- b) Inundaciones de tierras llanas por escurrimiento de laderas y pendientes.
- c) Acumulación de agua en lugares donde el suelo tiene obstáculos; tepetate, capas de arcilla, etc.
- d) Agua acumulada en lugares con depresiones por antiguos estanques o lagos.
- e) Formación de un manto freático elevado por escurrimiento de canales o ríos cercanos.
- f) Formación de un manto freático elevado por excesiva aplicación de agua durante el riego.
- g) Surgimiento de un manto freático elevado por el movimiento de agua artesiana (Chavira, 1975).

### 2.2.1. Principales fuentes que aportan excedentes de agua en el perfil del suelo.

- a) Agua de precipitación pluvial.

- b) Agua por excedentes de riego.
- c) Agua de lluvia más aguas de riego.
- d) Aguas por mantos freáticos muy superficiales.
- e) Aguas altas por escurrimiento de ríos, mares y lagos próximos (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, 1972).

### 2.3. Beneficios del buen Drenaje para la Tierra y el Cultivo

Cuando se realiza una buena instalación de drenes, se obtienen resultados positivos en el manejo de los suelos, como:

- a) Se facilita la labranza de la tierra.
- b) Aumenta la duración del cultivo.
- c) Se proporciona una humedad realmente aprovechable y elementos nutritivos a disposición de la planta.
- d) Se favorece la ventilación del suelo.
- e) Se reduce la erosión.
- f) Se propicia la multiplicación de microflora y microfauna del suelo.
- g) Se lavan los suelos.
- h) Se asegura una temperatura alta para el suelo (Israelsen y Hansen, 1975).

Un buen desalojo del agua en el perfil del suelo, además:

- a) promueve el crecimiento de las raíces, b) induce que la planta soporte períodos de sequía, c) hace que la aplicación de fertilizantes sea más efectiva, d) aumente la probabilidad de cosechar, e) ahorra tiempo y trabajo, f) alarga el período de cose-

cha del cultivo, g) aumenta la cantidad de producción y h) eleva el valor de la tierra (Leitch, 1983).

#### 2.4. Formas de Desalojar el Excedente de Agua en el Suelo

Según sea eliminada el agua del suelo, existen dos métodos, estos son desalojo superficial y del subsuelo. En el drenaje superficial de lo que se trata es de formar una pendiente, para evacuar el exceso de agua de la superficie del suelo, hasta llevarlo por gravedad a un punto de salida o, bien confinar o desviar el agua de modo que no llegue a la zona protegida, - ya sea por zanjas, diques, muros de defensa y alineadores de - crecidas (Chavira, 1975).

En el drenaje de subsuelo, se trata de crear diferencias de carga hidráulica para evacuar el exceso de agua que existe debajo de la superficie, haciendo que se filtre hasta llegar a un conductor a cielo abierto o cubierto, que lleve el agua a una salida por gravedad (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, 1972).

El objetivo del drenaje subterráneo es hacer descender el nivel del agua libre, dentro de la zona de las raíces o tan -- cerca como se pueda, de la profundidad media del cultivo, manteniéndola como sea posible en ese nivel. Los métodos utilizados para drenar el agua son las zanjas abiertas y el drenaje - por tubos, cajas de madera o algún otro tipo de cañerfa (Chavi - ra, 1975 y de La Loma, 1972).

De acuerdo con las formas de desalojar el excedente de --

agua en el suelo, los sistemas de drenaje que se pueden establecer son también de dos tipos: zanj<sup>as</sup> abiertas y drenes enterrados, con sus diferentes modificaciones. Figura N<sup>o</sup> 1.

#### 2.4.1. Zanj<sup>as</sup> abiertas.

Los tipos de zanj<sup>as</sup> abiertas de acuerdo con su diseño y naturaleza del problema son:

- a) Canales naturales. Cualquier cauce de corriente que llegue a ser conductor de drenaje superficial, aunque esté seco.
- b) Zanj<sup>as</sup> de desagüe. Son grandes zanj<sup>as</sup> que funcionan principalmente para recoger el agua de extensas áreas y de los canales de desagüe o algún tipo de tubería de drenaje.
- c) Zanj<sup>as</sup> interceptoras. Cuando las zanj<sup>as</sup> se diseñan para que recogan el agua superficial de algún terreno alto, conduciéndola hasta la parte más baja de la pendiente o al desagüe -- más cercano.
- d) Canales de desagüe de campo. Son canales anchos y poco profundos, con taludes laterales llanos como para poder efectuar los trabajos agrícolas, sin necesidad de construir ningún puente.
- e) Surcos muertos. Son una especie de modificaciones de los canales de desagüe, más pequeños y regularmente espaciados, paralelos a los surcos o atravesados a los mismos, también con una pendiente no erosionable. Figura N<sup>o</sup> 2 (Burgerss y Calude, 1960 y Soil Conservation Service U.S. Department of Agriculture, 1973).

#### 2.4.1.1. Características del diseño de una zanja abierta.

Las principales características de una zanja abierta son:

- 1a. Que tenga una adecuada velocidad de escurrimiento para que no se produzcan deslaves ni azolves en los canales.
- 2a. Con una suficiente capacidad para conducir el agua que debe drenar.
- 3a. Taludes estables que no se desgasten o deslicen tan fácilmente (Israelsen y Hansen, 1975).

#### 2.4.1.2. Profundidades de las zanjas y su pendiente.

La profundidad de una zanja de drenaje es la distancia considerada desde el fondo del terreno hasta la superficie del agua, más el tirante de agua. Se toman en cuenta dos niveles normativos, el nivel normal y el máximo. El nivel normal es aquel que funciona en condiciones de descarga permanente o de prolongada duración, con un flujo básico de drenaje subterráneo o de exceso de riego. El nivel máximo es cuando la zanja abierta funciona bajo condiciones de carga extrema, que es de corta duración, por escurrimiento de alguna lluvia intensiva. Por lo tanto la profundidad debe garantizar que el nivel normal de agua en la zanja funcione durante épocas prolongadas, y que el nivel máximo que sucede de vez en cuando no origine desbordes. En estos sistemas de drenaje, la profundidad oscila normalmente de 1.8 a 3.3 m (Israelsen y Hansen, 1975 y Dirección General de Aguas, 1974).

La profundidad normal de las zanjas abiertas va a depender no solo del manto freático, sino principalmente de la profundi-

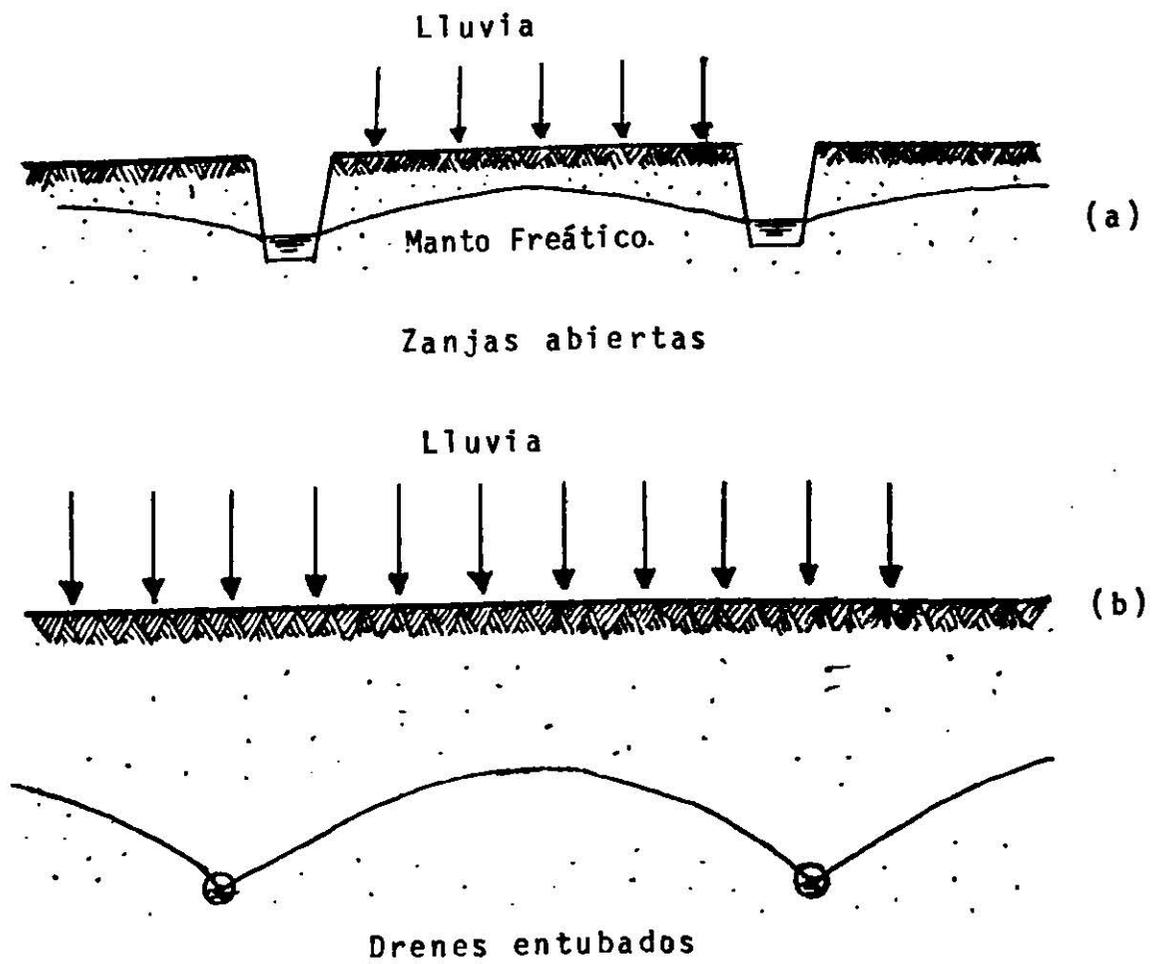


Figura Nº 1. Drenes abiertos (a) y drenes enterrados (b)

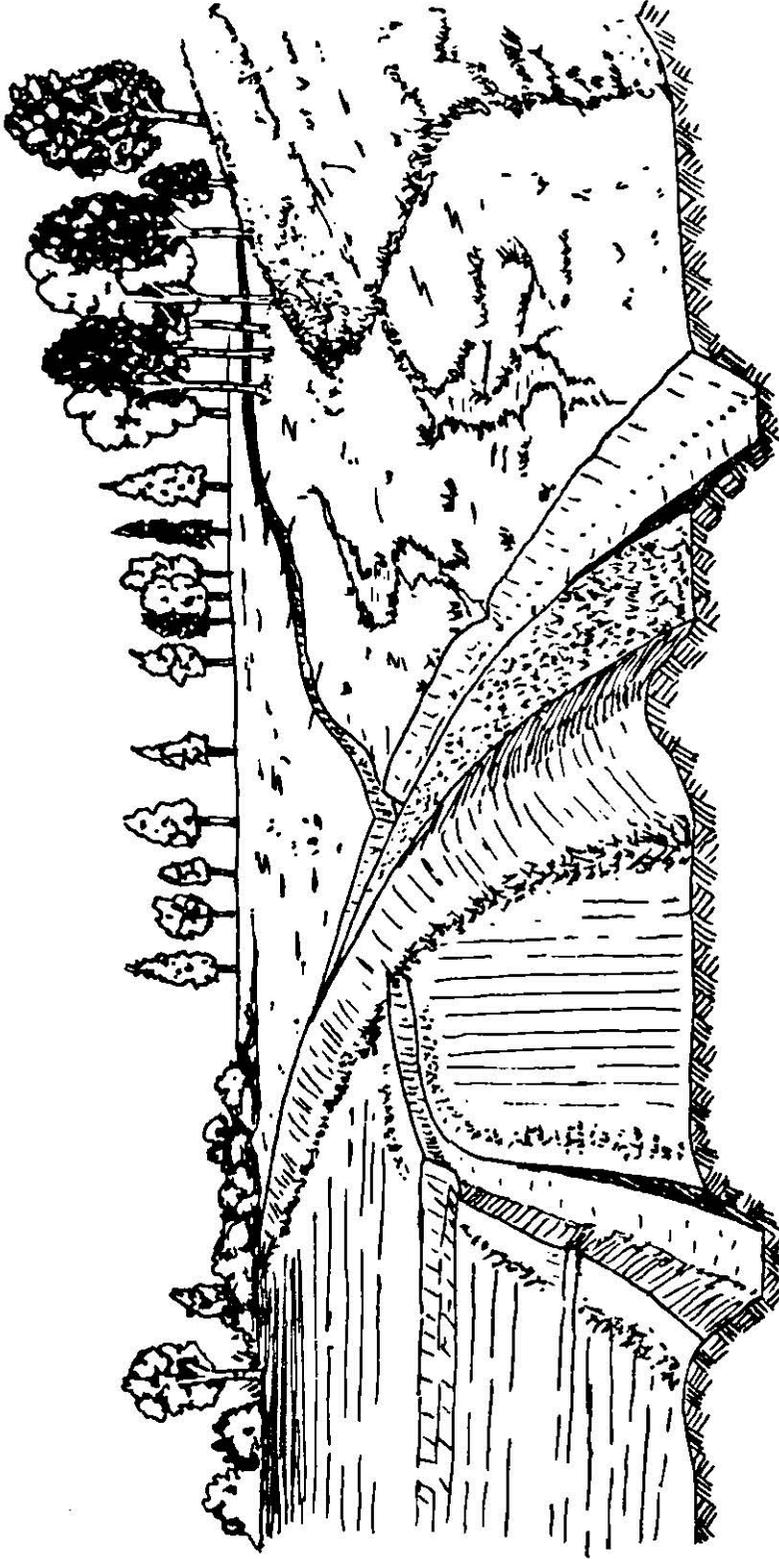


Figura Nº 2. Diferentes tipos de zanjas abiertas.

dad radicular del cultivo. Por ejemplo la caña de azúcar requiere de una profundidad normal superior a la que se necesita para establecer maíz (Pissani, 1976).

La pendiente, por otra parte, debe garantizar que no haya azolves, ni deslaves excesivos de tierra; por lo cual se consideran una pendiente mínima y una máxima. La primera debe asegurar una descarga sin que la excavación sea excesiva, condiderán dose como mínima 0.57 m por cada 100 m. La pendiente máxima, que evitará velocidades excesivas en la zanja, deberá ser de -- 0.5 a 1.07 por cada 100 m, siempre dependiendo del tamaño del dren y de la estabilidad del terreno (Dirección General de Aguas 1974).

#### 2.4.1.3. Pendientes de los taludes.

La inclinación de los taludes depende casi de un modo absoluto del tipo de suelo, desde pendientes de 200% para terrenos arcillosos compactos, hasta 30% para arenas muy sueltas (Israel sen y Hansen, 1975 y Vidales, 1985).

Además, las pendientes de taludes en las zanjas abiertas de beran ser lo más pronunciado posible para así, reducir el ancho del dren, tomando como factores los siguientes:

- 1º La coección del suelo; suelos arcillosos pendientes mayores y suelos ligeros pendientes menores.
- 2º Las condiciones hidrológicas del lugar; ya que el ingreso de agua en los lados de la zanja por infiltración escorrentía, puede traer una fuerte erosión.

3º La cobertura vegetal adecuada; para favorecer la estabilidad de taludes pronunciados (Pissani, 1976 y Arenas, 1981).

#### 2.4.1.4. Formas de una zanja abierta.

Teóricamente la forma de sección transversal para una zanja abierta eficiente es la de semicírculo; pero por la dificultad de construir y conservarla no se practica mucho y, ya que la forma que más se asemeja al semicírculo es la trapezoidal y por ser de fácil construcción y conservación, es ésta la más -- utilizada en zanjas abiertas (Burgerss y Calude, 1960).

El tamaño de la zanja o la capacidad que se requiere, dependerá de la función que desempeñe; si va a aceptar agua de -- descarga superficial o de algún drenaje entubado, si es dren -- troncal, dren colector o solo un dren de campo. Figura Nº 1. También la capacidad dependerá del ritmo de evacuación que se -- requiera o del tiempo máximo permisible, para desalojar el agua de la zona radicular, en una tormenta dada y que ésta no cause -- perjuicios a la cosecha; de 2 a 4 horas en los cultivos más -- delicados, como papas, hortalizas, etc., 2 días para cultivos más -- tolerantes como trigo, maíz y demás granos y una semana para -- cultivos que soportan encharcamientos como zacates, caña de azú -- car, etc. (Burgerss y Calude, 1960).

#### 2.4.2. Drenajes enterrados.

Estas formas artificiales de desalojar el agua de las raíces del cultivo, son conductos cubiertos por el terreno para no impedir el libre tráfico en la superficie, pudiendo ser drenes--

mediante tablas, piedras, cajas con piedras o madera, pacas de trigo, rastrojo, etc. y drenajes entubados de arcilla, concreto, plástico, P.V.C., corrugados de plástico y de entubar, Figura N° 2. (Luthin, 1979 y López, 1973).

#### 2.4.2.1. Drenes por tubos.

De los medios artificiales que actualmente más se utilizan son los tubos, en sus diferentes materiales; barro, concreto, plástico liso, corrugado, P.V.C., acero (Arenas, 1981 y Theobald, 1964). Para una efectiva conducción del agua por los tubos es necesario considerar, principalmente el radio hidráulico del tubo, así como la conductividad eléctrica y porosidad del suelo que se va a drenar (Walker and Wells, 1983 y De la Loma, 1972).

##### a) Tubos de barro.

Los tubos de barro o arcilla son los más usados en la mayor parte de los países, teniendo por lo general una longitud promedio de 30 cm, con campana o sin ella, utilizándose por lo general los tubos sin campana; con diámetros interiores variables: 5, 10, 13, 15, 17, 20, 22 y 25 cm. En España e Inglaterra se han reportado muy variadas formas: cuadrados, hexagonales, en forma de U o semicírculo o losetas agujeradas, etc., construyéndose así, para facilitar la transportación o colocación de los tubos en la zanja, con la tendencia a utilizar más la forma cuadrada con interior redondo. Figura N° 3 (Pizarro, 1975 y Dirección General de Aguas, 1974).

Los tubos de barro son resistentes al hielo a los ácidos e sulfatos del suelo, a la ruptura y su calidad esta dada por la-

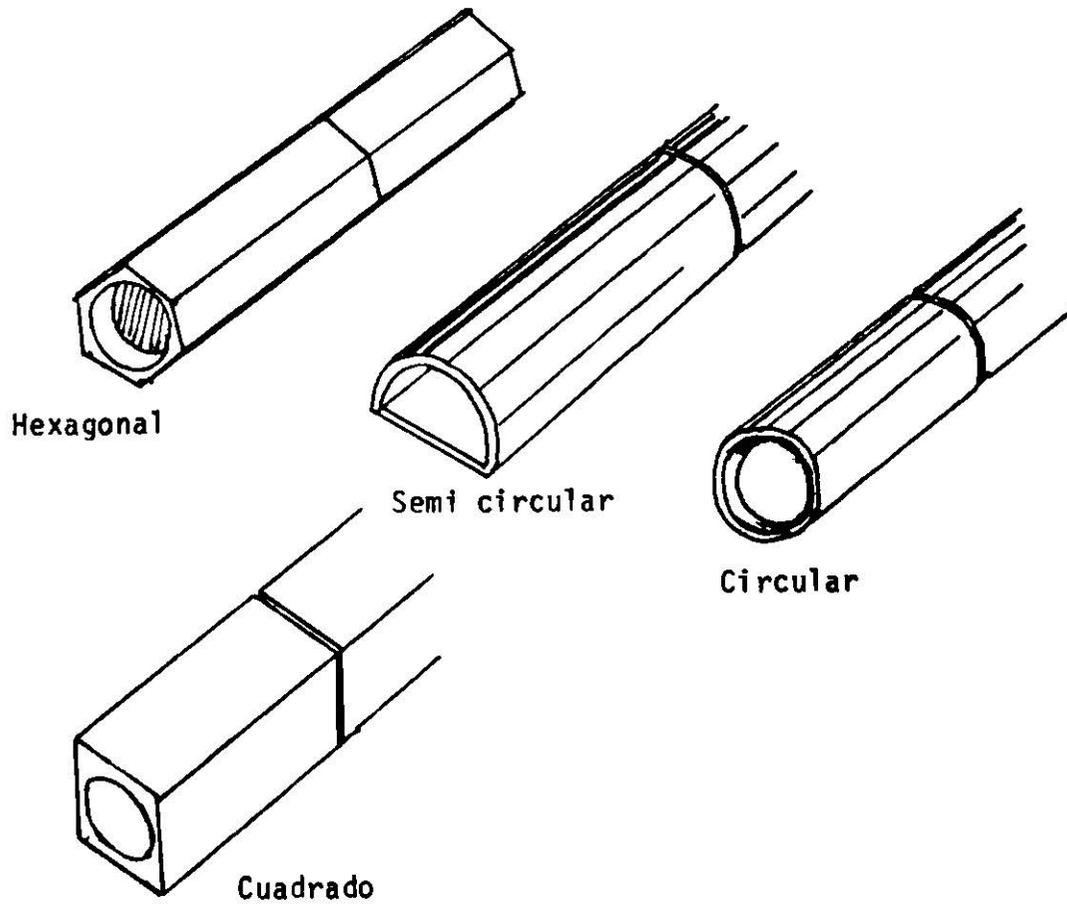


Figura N° 3. Diferentes formas de tubos de barro para drenaje agrícola.

ruptura y su calidad esta dada por la ausencia de rajaduras, de defectos de acabado en su forma y tamaño, con bordes netos, suaves, cortes rectangulares y que al golpearlos den un "timbre claro" (Pissani, 1974). En este tipo de drenes prácticamente es de vida permanente si se instala con cuidado y si utilizamos materiales de buena calidad, ya que se han encontrado tubos funcionando adecuadamente desde hace 30 y 40 años, calculando su vida útil de hasta 100 años (Theobald, 1964).

Los tubos de barro más utilizados en las zonas con problemas de drenaje en México, son de longitudes de 30 cm hasta 60 cm; con diámetros interiores de 5, 10 y 15 cm; i.e. 2, 4 y 6". Con profundidades en las zonas húmedas de México de 75 cm a 1.5 m de fondo de zanja (De la Peña, 1975).

#### b) Tubos de concreto.

Estos tubos son los utilizados cuando no se encuentran tubos de barro. En México los tubos de concreto que más se han utilizado son de diámetros de 6 a 20 cm, aunque los más empleados son de 2, 4 y 6", con una longitud promedio de 1 m, con campana o sin ella (Theobald, 1964 y De la Peña, 1975).

En ninguna circunstancia se deberán instalar tubos dren de concreto de baja calidad, ya que la salinidad y los sulfatos del suelo los afecta mucho; una de las principales consideraciones para que un tubo de concreto dure, es que debe tener la más baja permeabilidad, por lo cual el concreto debe ser de una calidad adecuada para evitar la porosidad; además, la utilización de un buen cemento para su fabricación, asegura la durabilidad-

del tubo en zonas de alta alcalinidad, por lo mismo, el alumina to tricalcico de 5.5%. El tipo de cemento conocido como alúmina o aluminosa, ha probado ser altamente resistente a los sulfatos del suelo, más si se fragua a temperaturas altas (Luthin,-- 1967).

En México no se usan cementos con aluminosa adecuada y solo se emplea el cemento portland ordinario, con un 40% de aluminio y no el 5.5 a 10% que es lo recomendado (Arenas, 1981). Los cementos de alúmina son más bajos en cal y más concentrados en  $Al_2O_3$  y los portland normales llevan alrededor de 63% de CaO y de 5 a 10% de  $Al_2O_3$ ; mientras los de alúmina un 25 a 40% de ---  $Al_2O_3$  (Luthin, 1967).

En el mercado existen tres tipos de tubos de concreto; el-A, con revestimiento asfáltico interno, con espesor de menos de 2 milímetros; el tipo B, con revestimiento mayor de 2 mm, y el-tipo de tubos C, sin revestimiento, con diámetros de 15, 20, 30, 38, 45, 53 y 60 cm, respectivamente. En los distritos de riego de México, los tubos se están colocando a profundidades de 1.8- a 2.5 m y aún a 3 m, por lo que es necesario que los tubos sean resistentes a 1,600 y 2,400 kg por metro lineal a la prueba de-tres puntos (Arenas, 1981).

### c) Tubos de plástico.

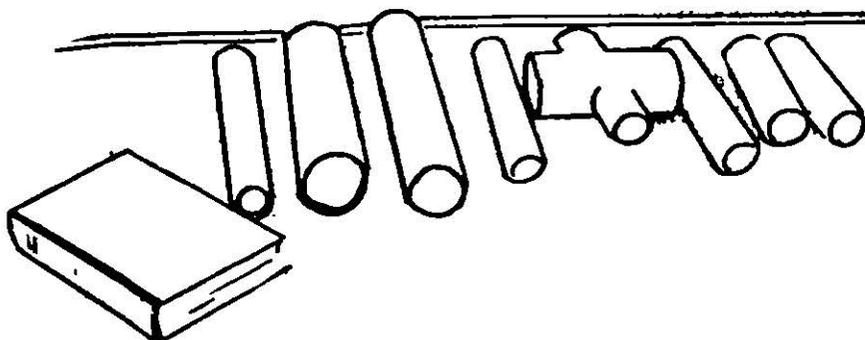
Este tipo de tubos es el que más ha venido ganando terreno en el mercado, pudiendo ser de polietileno, lisos y corrugados; poliestireno y de policloruro de vinilo (P.V.C.) (Valdes,1982). Los tubos plásticos que más son utilizados en los Estados Uni--

dos de Norteamérica, son de polietileno y en Europa son los de P.V.C., todos ellos colocados en forma mecanizada (Schilfgaard, 1974).

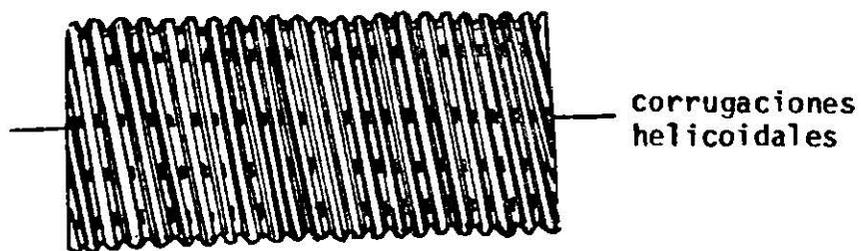
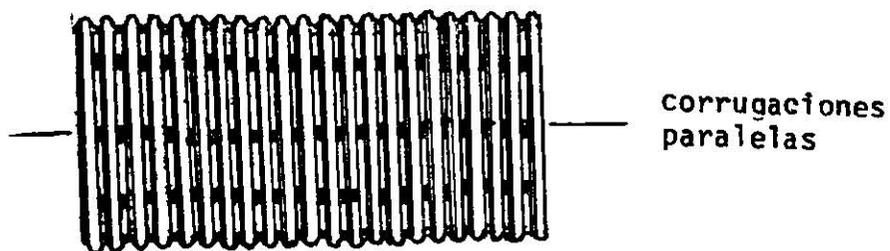
En 1959, aparecieron en España los drenes de plástico y - actualmente se han colocado más tubos de este tipo que los de barro, siendo el PVC el más usado debido a que es más económico que el de polietileno, pudiendo ser lisos o corrugados, --- siendo los primeros los que más se usaban, mientras que última mente los corrugados son más demandados (Pizarro, 1975 y Dielman y Trafford, 1976).

En México, normalmente se fabrican de PVC rígidos, ligeros y resistentes a la corrosión, con regular resistencia mecá nica y a los cambios de temperatura, con diámetros de 5 hasta 15 cm, mientras que su espesor varía de 2.5 a 6 mm. La longitud normalmente utilizada es de 3 y 6 m, con extremo cónico pa ra las uniones. Figura N° 4 (De la Peña, 1975).

Los tubos de plástico más usados son de diámetros de 2, 4 y 6 pulgadas; en terrenos agrícolas, con ranuras de 2.5 cm de largo por 0.6 mm de ancho; con cuarenta perforaciones mínimo y de 3 a 6 m de longitud. Existe actualmente en el mercado tu bos de plástico flexibles, corrugados y ya perforados. Figura N° 4, que se pueden mecanizar en un 100%, mejorando la eficiencia y rapidez en la instalación, ya sea de PVC, poliestireno - (espuma plástica) o polietileno, utilizados en gran escala en México, principalmente en Sinaloa y en Tamaulipas (De la Peña, 1975 y Pissani, 1974).



Tubos de polietileno y PVC



Tipos de tubos corrugados PVC

Figura N° 4. Diferentes tipos de tubos plásticos para drenaje agrícola.

d) Tubos de acero.

Estos tubos en el drenaje agrícola son poco usados por su elevado costo y solo en zonas de alta carga como caminos y puentes, los cuales son ranurados previamente para que funcionen como drenes. Se utilizan frecuentemente con ranuras longitudinales de 0.5 mm de ancho y 2 a 4 cm de largo, con 40 a 60 ranuras por metro lineal. Cuando son ranuras transversales con un milímetro de ancho y la longitud correspondiente a 120 grados de la sección del dren. La unión entre dos tubos se realiza con ensanchamientos que se tienen al final del dren y son encajados a presión (López, 1973).

2.4.2.2. Drenes topo.

Este tipo de drenaje es realizado por un arado de cincel - subsoleador, donde se le coloca un espolón o bala de 5 a 10 cm de diámetro, con profundidades generalmente de 50 a 90 cm. El agua penetra en el dren por toda la superficie del mismo y principalmente por las grietas que deja la reja del arado. Figura - Nº 5. Es utilizado en suelo de baja permeabilidad, con alto contenido de arcilla, donde la arena esta en una proporción menor de 20% y la arcilla mayor de 45%; así, funcionará eficientemente durante varios años (Luthin, 1979 y Burgerss y Calude, 1960).

Según varios estudios, la duración del dren topo es mayor en los suelos arcillosos pesados y sin piedras, ni bolsas de arena y siempre que descarguen en zanjas o en tubos de captación (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y

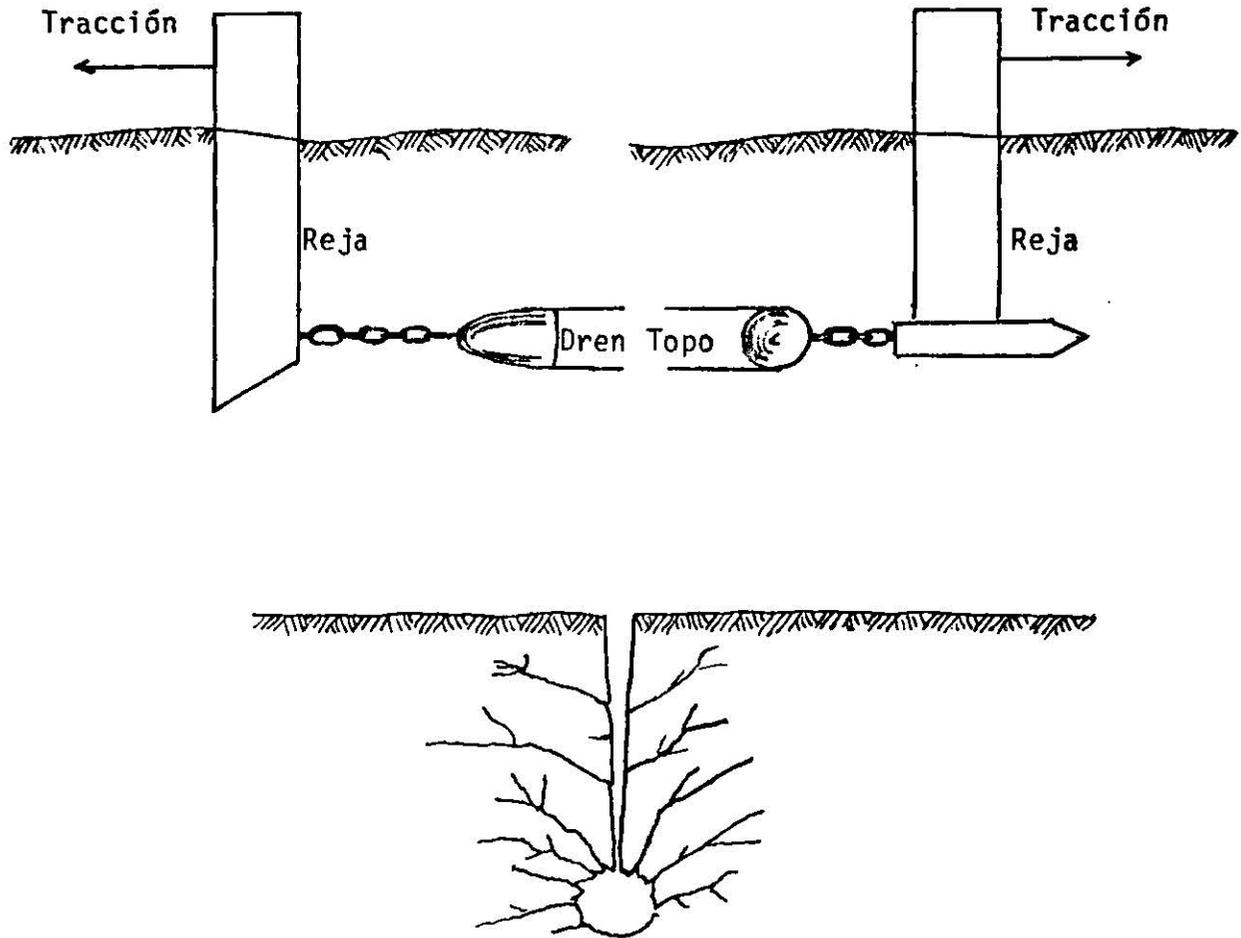


Figura N° 5. Diferentes arados topo y galería del dren.

Alimentación, 1978).

La duración media de los drenes topo varía de 3 a 10 años y se han reportado drenes que después de 25 años todavía funcionan (Theobald, 1964). Su diseño generalmente se hace después de haber nivelado el terreno, para que los drenes topo se encuentren a un nivel más o menos uniforme, ya que por una mala nivelación se presentan los mayores problemas para la duración del dren. Actualmente se utilizan dispositivos automáticos para el control uniforme de la profundidad del dren, como son nivel por rayos laser, por microondas, etc., prefiriéndose las pendientes de 2.5 a 3.3% (Nicholson, 1953 y Luthin, 1979).

En los Estados Unidos de Norteamérica, en los Estados de Oregon, Michigan y Luisiana se han utilizado diseños de drenes topo con espaciamiento de 6 m y con formas de tablero de ajedrez a profundidades de 50 a 80 cm, con descargas a zanjas o drenes entubados (Burgerss y Calude, 1960).

La duración de un dren topo dependerá, finalmente, de: i) una estructura estable del suelo, ii) el contenido de humedad durante la construcción del dren que no sea elevado, iii) de la cantidad de agua que deberá desalojar el dren cuando este en funcionamiento y iv) de la velocidad del agua en los ductos (De la Peña, 1975). También la duración dependerá de la intensidad de la precipitación, del diámetro del dren, la homogeneidad del terreno, de una pendiente uniforme y del equipo utilizado para la construcción (Luthin, 1979). Para una buena instalación el suelo deberá estar libre de piedras y que el terreno sea homogéneo (Theobald, 1964).

Por lo general en México, los drenes topo se construyen a profundidades de 40 a 60 cm y con separaciones de 2 a 6 m, siendo su longitud no mayor de 250 m (De la Peña, 1975).

#### 2.4.3. Otras alternativas de drenaje.

El problema de drenaje se podría resolver sin desembolsar una gran cantidad de dinero, al utilizar los materiales existentes en el lugar, evitando costos excesivos de compra y transporte de tubos que en algunos casos son difíciles de conseguir, por lo tal se justifican otras medidas alternas, cuando no se tienen los medios para instalar un sistema entubado (Theobald, 1964 y Burgerss y Claude, 1960). Algunas de las alternativas más comunes son abordadas a continuación.

- a) Drenaje mediante tablas. Los agricultores utilizaban mucho este método, antes de aparecer los tubos; colocaban en zanj<sub>as</sub>, tablas en forma de triángulo o cuadrado previamente agujeradas y preparadas con aceites o asfalto para protegerlas del medio. Figura N<sup>o</sup> 6. En España se han utilizado en zanj<sub>as</sub> de 90 cm de profundidad y 30 cm de ancho, siendo escarba<sub>das</sub> durante épocas de estiaje, ya que es este proceso lo que más cuenta. En algunos lugares se colocan en forma de cajas con cuatro tablas utilizando madera dura, llegando a lograr duración considerable principalmente en lugares pantanosos (Theobald, 1964 y Burgerss y Claude, 1960).
- b) Drenaje mediante piedras. Algunos lugares donde abundan las piedras, son los más viables de ser drenados con estos sis-

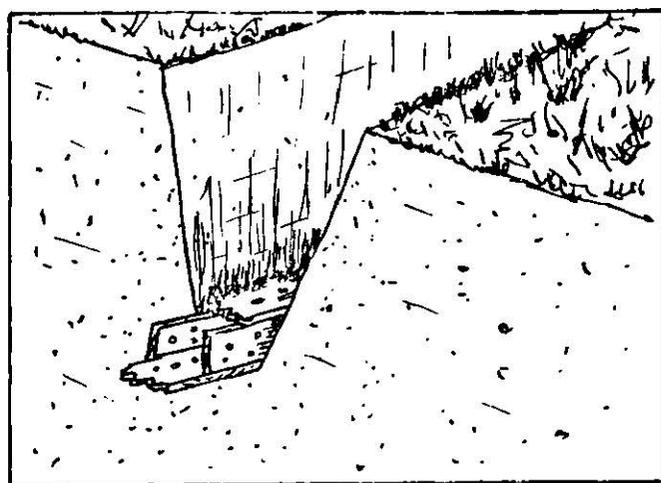
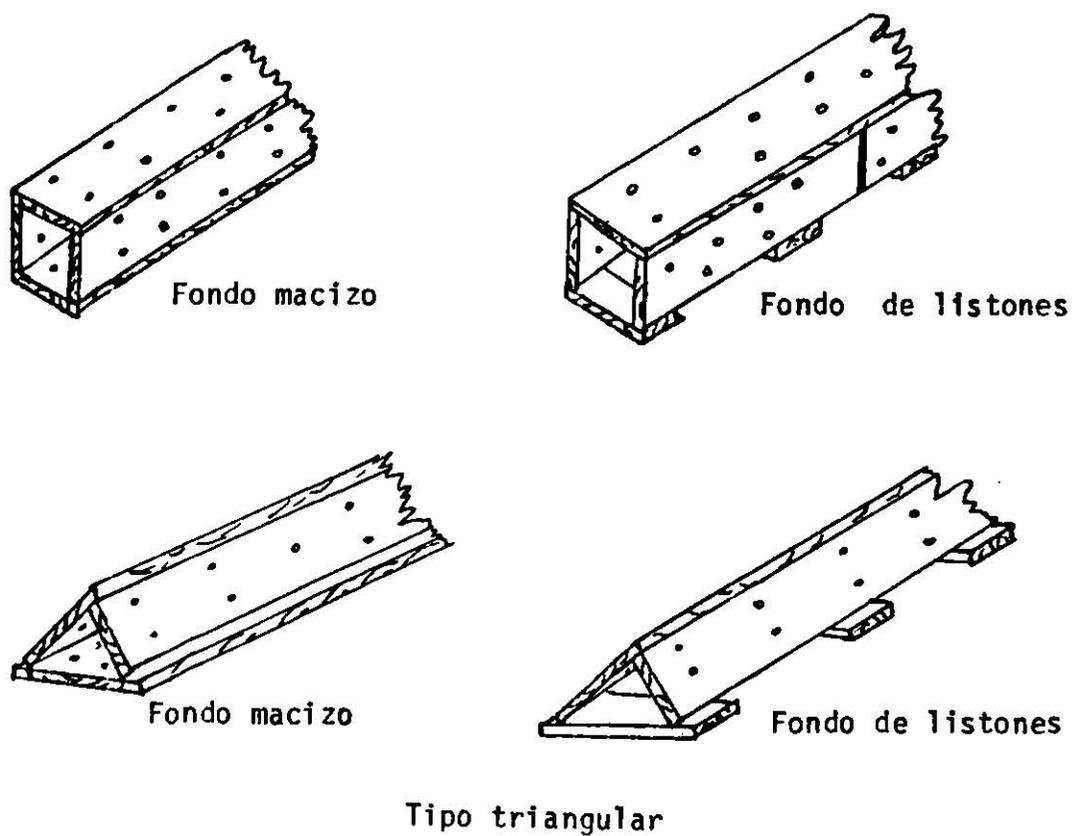


Figura Nº 6. Diferentes tipos de drenes por tablas y su forma de colocación.

temas. Las piedras deberán ser planas, colocáéndolas en forma de triángulo o cuadrado para formar un conducto por donde circule el agua. Cuando no se cuenta con piedras planas, se coloca en la zanja pequeñas piedras irregulares de un grosor de 15 a 20 cm con relleno parcial o total de la zanja. Figura N° 7. Este sistema, uno de los más utilizados en países como Inglaterra, España y otros (Theobald, 1964 y Burgerss y Claude, 1960).

- c) Drenaje mediante pacas de paja. Se han encontrado en Inglaterra restos de estos drenes construídos desde hace 100 años, lo que sugiere que este método se empleaba extensamente. Consiste en la colocación de paja de trigo, maíz, arroz, etc., en una zanja de sección trapezoidal, para que sean tapadas con la misma tierra donde el agua fluirá por las ranuras de la paja. Figura N° 8. Este tipo de drenaje durará según el tipo de paja usada, encontrándose que la paja de trigo su duración mínima es de 4 a 6 años, siempre dependiendo del tipo de suelo (Theobald, 1964 y De la Peña, 1975).

En algunos distritos de riego del noreste de México se han usado pacas de trigo, habiendo cumplido satisfactoriamente las necesidades de drenaje. También se han utilizado otros materiales como paja de arroz, cebada y otros con alto contenido de celulosa. Figura N° 8; empleándose en tierras con alto contenido de sales (De la Peña, 1975).

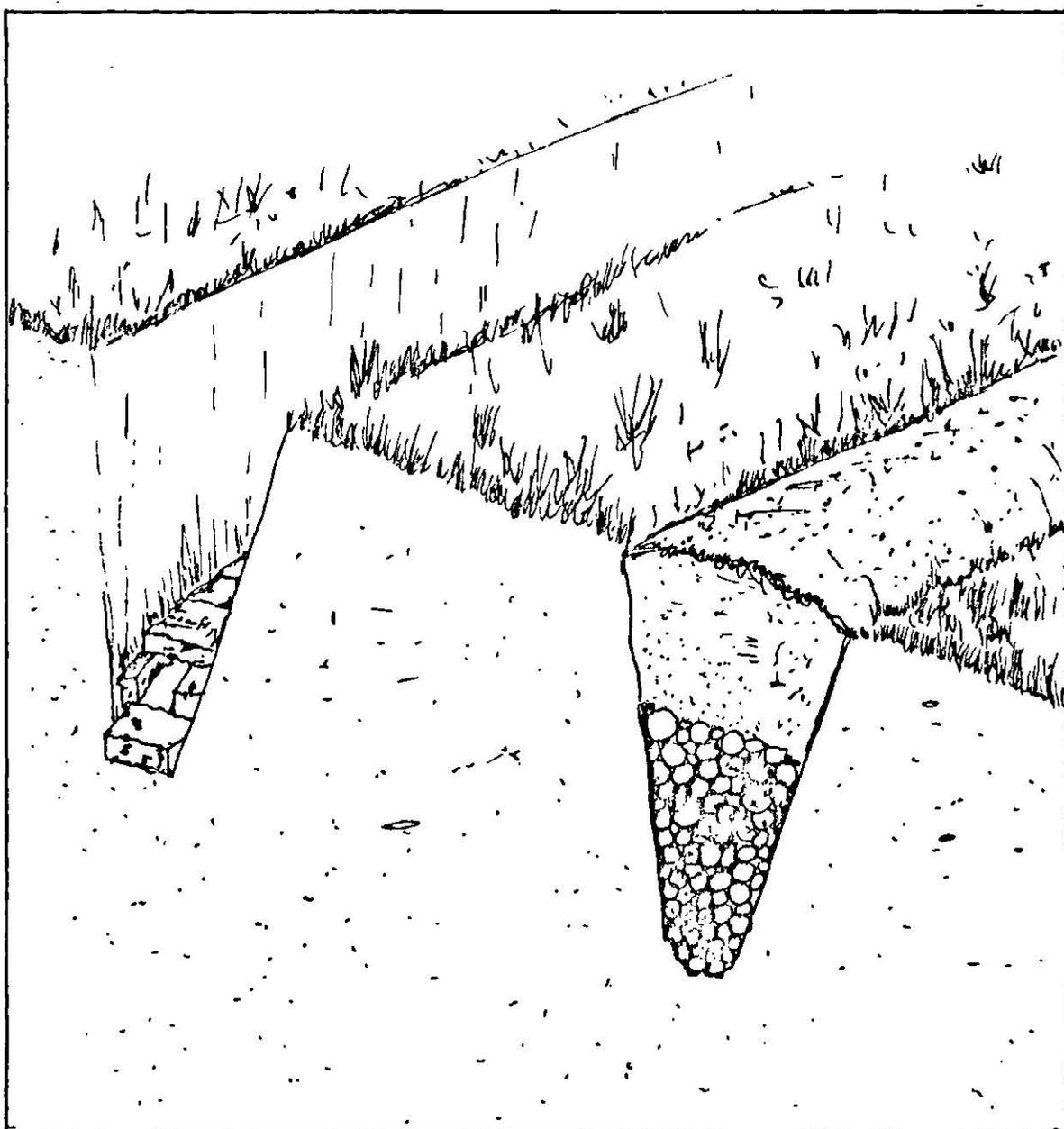
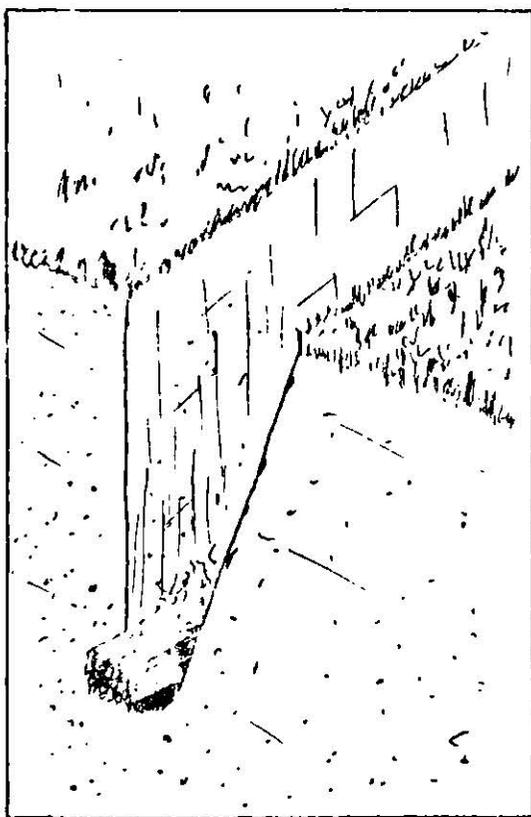


Figura Nº 7. Diferentes tipos de drenes por piedras.



Drenes de paja de maíz

Drenes por pacas de trigo

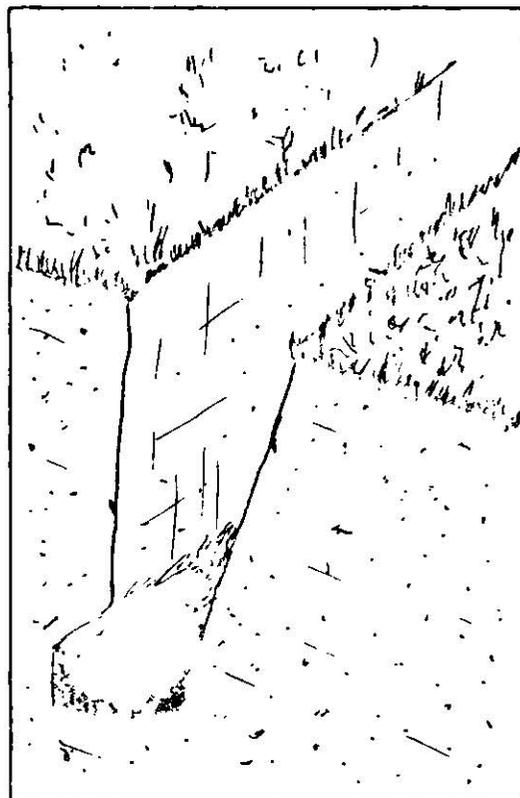


Figura IIº 8. Diferentes tipos de drenes por pacas.

## 2.5. Ventajas y Desventajas de los diferentes tipos de Drenes

Los diversos sistemas de drenes presentan características que influyen en el uso y manejo de los suelos agrícolas. Estas características pueden resultar favorables o desfavorables a los propósitos de aprovechamiento de los suelos; a continuación se analizan por separado los sistemas de drenaje más comunes, señalando estos factores:

### 2.5.1. Zanjas abiertas.

#### a) Ventajas:

1. Pueden servir para desalojar el agua superficial y subterránea.
2. Tienen una gran capacidad de drenaje.
3. Su instalación es más económica, especialmente cuando se necesita desalojar grandes volúmenes de agua.
4. Las fallas en estos drenajes se detectan rápidamente.
5. Son preferibles en áreas muy grandes.
6. Pueden servir como linderos de parcelas o propiedades.
7. Su brecha de mantenimiento puede servir como camino.
8. Pueden utilizarse como abrevaderos y almacenamientos de agua.
9. Se requiere mucho menos pendiente longitudinal. Tabla Nº 1. (Pizarro, 1966).

#### b) Desventajas:

1. Se pierde hasta un 10% de la superficie útil del terreno.
2. Representan grandes obstáculos para la maquinaria agrícola y los animales domésticos.

3. Su costo de mantenimiento es elevado al controlar las malezas y la erosión.
4. Son de difícil construcción para profundidades mayores de -- 1.5 m.
5. Al fraccionar los campos, aumenta en gran manera la dificultad y el costo de las faenas agrícolas.
6. Se consideran como amenaza para los animales domésticos.
7. Se necesitan mayor control de malezas en sus alrededores.
8. Menor acceso al terreno, particularmente para la maquinaria agrícola.
9. Sirven de criadero de insectos, especialmente Culícidos.
10. Ofrecen mal aspecto de los terrenos agrícolas. Tabla Nº 1. (Pizarro, 1966).

#### 2.5.2. Drenes entubados.

##### a) Ventajas

1. No se reduce la superficie agrícola.
2. Mayor acceso para la maquinaria agrícola, aunque esta sea pesada.
3. Se disminuye el número de puentes en cruces y canales.
4. No obstaculizan las faenas agrícolas.
5. Podrían ser permanentes si se usan buenos materiales y su instalación es adecuada.
6. No presentan aspecto desagradable.
7. La cañería de tamaño pequeño es relativamente más barato -- que las zanjias descubiertas.
8. No se necesita mantenimiento contínuo.

9. Se pueden utilizar en todo tipo de suelo. Tabla 2 . (Pissani, 1976 y Dirección General de Aguas, 1974).

b) Desventajas

1. Elevado costo inicial.
2. Se requiere personal capacitado para una adecuada instalación (Theobald, 1964).
3. Elevado costo de transporte y de manejo en el campo.
4. Se desaloja solamente agua del subsuelo.
5. Existe un límite de desalojo de volúmenes de agua, ya que su capacidad depende del diámetro de la tubería (Dirección General de Aguas, 1974) Tabla Nº 2 .

2.5.3. Tubos de plástico.

a) Ventajas

1. Poco peso y mayor longitud, facilitando el manejo y transporte.
2. Mejor alineamiento en terrenos, con menores juntas o sin ellas.
3. Menor riesgo de desplazamiento en los terrenos sueltos por su mayor longitud y su menor número de pegazones.
4. La abertura de entrada es más uniforme y regularmente distribuida, ya que puede ser manufacturada con mayor precisión de acuerdo a las especificaciones requeridas.
5. Mayor rapidez en la instalación porque se puede lograr una total mecanización, al utilizar maquinaria de excavación y colocación de la tubería.

Tabla N° 1. Comparación de drenes abiertos y entubados.  
(Fuente: Pizarro, 1966; Pissani, 1976, Dirección -  
General de Aguas, 1964).

Calidad	Drenes Abiertos	Drenes Entubados
Desaloja	Agua superficial y sub- terránea	solo subterránea
Instalación	Mas barata	Mayor costo
Fallas	Se detectan rápidamente	No se perciben fácilmente
Sirven de línderos	Sí	No
Capacidad de desalojamiento	Grande	Es limitada su capacidad
Se pierde terreno	Sí	No
Costo elevado de mantenimiento	Sí	No
Pendiente longitudinal	Menor	Mayor
Obstáculos para maquinarias	Sí	No
Sistema para áreas	Grandes	Pequeñas
Mayor dificultad al construir la zanja	Mayor	Menor
Necesita control de malas hierbas	Sí	No
Madriguera de insec- tos y animales	Sí	No
Mal aspecto	Sí	No
No requiere puentes ni cruces	Sí	No
Duración	Menor	Pueden ser permanentes
Costo inicial	Mínimo	Elevado
Se puede utilizar en todo tipo de suelo	No	Sí
Requiere personal capacitado	No necesariamente	Sí lo requiere

Tabla N° 2. Comparación de drenes de barro y drenes de concreto.  
 (Fuente: Pissani, 1976, Dirección General de Aguas, 1974).

Cualidad	Tubos de arcilla	Tubos de concreto
Costo	Menor	Mayor
Peso del mismo tamaño	Menor	Mayor
Transporte	Menor costo	Mayor costo
Instalación	Igual	Igual
Tipos y formas	Mayor diversidad	Menor diversidad
Deformación y ruptura	Mayor	Menor
En suelos alcalinos	No los afecta	Sí los afecta
Zanjas para la colocación	Más pequeñas	Más anchas
Duración	Mayor	Menor en suelos alcalinos
En tamaño grande de diámetro	Menos resistentes	Mayor resistencia
Utilización en México	Mayor utilización	No son muy utilizados

6. Los tubos plásticos no son afectados por suelos alcalinos.
7. Tienen mayor flexibilidad en sentido longitudinal.
8. Menor costo de instalación, al utilizar máquinas excavadoras y colocadoras del dren.
9. Menor posibilidad de tapamiento por la continuidad del dren, sin muchas uniones (De la Peña, 1975; Pizarro, 1975; Pissani, 1976 y Dirección General de Aguas, 1974).

b) Desventajas:

1. Mayor costo, en comparación con los tubos de arcilla.
2. Baja resistencia a la deformación y ruptura.
3. Baja resistencia al impacto.
4. Alta resistencia a la entrada de agua, causada por la menor circunferencia interior.
5. Menor resistencia a los cambios bruscos de temperatura (Dirección General de Aguas, 1974; y Pizarro, 1975).

2.5.4. Tubos corrugados de plástico.

a) Ventajas:

1. Más baratos que los tubos plásticos lisos, por utilizar menos plástico.
2. La resistencia a la presión exterior es mayor que los lisos.
3. Facilitan su transporte e instalación ya que son longitudinalmente flexibles.
4. Se pueden instalar mecánicamente en un 100% (Pizarro, 1975; Geohring and Thomas, 1983 y Kanwor et al., 1986).

## b) Desventajas:

1. Mayor resistencia hidráulica.
2. Los diámetros deben ser mayores de 5 a 15%.
3. Propician sedimentaciones. Tabla N° 3 (Pizarro, 1975).

## 2.5.5. Drenes topo.

## a) Ventajas:

1. Bajo costo inicial; más o menos una décima parte del costo del drenaje por tubos.
2. Se requiere poco mantenimiento.
3. No existe ninguna pérdida de superficie agrícola.
4. No se requiere materiales, solo la maquinaria operativa.
5. No se necesita mano de obra (Luthin, 1979).

## b) Desventajas:

1. Solo se pueden utilizar en suelos arcillosos.
2. Estos suelos además, deben ser de textura uniforme.
3. Solo funcionan cuando el subsuelo tiene humedad no excesiva.
4. Se necesitan drenes colectores ya sea tubulares o abiertos.
5. Son medios temporales de drenaje. Tabla N° 3. (Luthin, 1979).

## 2.6. Criterios para la Elección de un Sistema de Drenaje

Antes de elegir una alternativa para solucionar un problema de drenaje, deberán hacerse estudios técnicos, procurando -- evitar erogaciones elevadas o inútiles; conocer realmente la -- causa del problema y la forma de corregirlo al menor costo.

Tabla N° 3. Comparación de los diferentes drenes.  
 (Fuente: Pizarro, 1975; Pissani, 1976; Luthin, 1979; Theobald, 1974; De la Peña, 1975).

Cualidad	Tubos Barro	Concreto	Plástico	Piedras	Zanjas abiertas	Drenes topo	Paja
No se pierde terreno	no	no	no	no	sí	no	no
Costo inicial	alto	alto	alto	alto	regular	mínimo	regular
Costo de mantenimiento	mínimo	mínimo	mínimo	ninguno	alto	mínimo	ninguno
Se puede utilizar en todo tipo de suelo	sí	suelos alcalinos no	sí	sí	arenoso no	solo arcilloso	si
Duración	mayor	mayor	mayor	poca	regular	poca	regular
Se requiere mantenimiento continuo	no	no	no	no	sí	no	no
Costo de transporte	alto	alto	poco	alto	ninguno	ninguno	mínimo
Desalojará agua de	subsuelo	subsuelo	subsuelo	subsuelo	superficie y subsuelo	subsuelo	subsuelo
No requiere personal especializado	sí	sí	sí	no	no necesariamente	no	no

El Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica señala que el costo depende de un 50% del sistema que se requiere implantar (Nicholson, 1953). Las características - estrictamente locales y la naturaleza del problema son las que deberán determinar el sistema a utilizar (Chavira, 1975). Al decidir un sistema de drenaje no se debe generalizar, pues depende de condiciones muy particulares, disponibilidad de mano de obra, maquinaria, materiales existentes, etc. (Dirección General de Aguas, 1974).

#### 2.6.1. Metodología a utilizar.

Las metodologías que se deberán seguir antes de establecer cualquier medio correctivo del drenaje son las siguientes:

- a) Determinación de las condiciones actuales de drenaje.
- b) Analizar las causas y factores que determinan el problema
- c) Jerarquizar estas causas, por su importancia, para establecer el orden de ejecución de las prácticas correctivas o preventivas.
- d) Aplicación de los métodos seleccionados (De la Peña, 1975).

Antes de la elección de los procedimientos, primero se deberá considerar el tipo de agricultura que se practica, estudiar el tipo de suelo, topografía de la zona y regímenes de precipitación pluvial, etc., para así tener en cuenta la naturaleza real del problema. En las tierras de baja calidad donde la producción agrícola es reducida y no puede mejorarse lo suficiente, para justificar la adopción de métodos costosos, deberán emplearse otras alternativas, en lugar de colocar drenes --

entubados; por ejemplo drenaje superficial, zanjas abiertas u - otros métodos menos costosos. Los drenes entubados, por su alto costo, se adoptarían en zonas de producción rentable e intensiva, en la cual la demanda de tierra excede a la oferta o en los casos en que el uso del terreno y los gastos de operación son bien amortizados (Theobald, 1960).

### 2.7. Costos del Drenaje

Al hablar del costo de los materiales del drenaje, reconocemos que estos fluctúan considerablemente en cualquier ciclo o época económica. Tabla N° 4, por lo cual una lista de precios - en una fecha dada solo será para un período limitado, no pudiendo servir como guía suficientemente confiable en forma permanente para cálculos de costo de cualquier material; pero las unidades físicas como tiempo, peso, volumen y distancia, que son información básica serán útiles.

Los principales costos que se tienen en la construcción de un sistema de drenaje son los siguientes:

- a) Costo de ingeniería e inspección.
- b) Costo de materiales: tubos dren, tubería de acero para alcantarillas o puentes, maderas, cemento, arena, grava para filtros, etc.
- c) Entrega de materiales; en los que se incluye los gastos por transporte, añadiendo la mano de obra de carga y descarga.
- d) Costo de construcción; ya sea por un contratista o el pago al distrito de riego de la región; o la mano de obra, maqui-

Tabla N° 4. Tubos de concreto fabricados en Monterrey, características y precios de junio 1986 y mayo 1988.

Diam. Pulg.	6"	8"	8"	10"	10"	12"	12"	15"	15"
Diam. Cm.	15	20	20	25	25	30	30	38	38
Espesor en pared mm.	19	21	27	25	32	29	36	35	42
Longitud* en ml	.91	.91	1.22	.91	1.22	0.91	1.22	0.91	1.22
Peso aprox. por pieza	27	40	60	60	74	81	100	116	147
Precio por ml. Junio 1986**	\$362	\$456	\$456	\$578	\$578	\$774	\$774	\$1330	\$1330
Precio por ml. Mayo 1988	\$6105	\$6939	\$6939	\$9280	\$9280	\$10540	\$10540	\$22315	\$22315

\* Estos precios no incluyen IVA

\*\* ml = metro lineal

Tabla N° 5. Tubos de barro que se construyen en Monterrey con los precios de Junio 1986.

Diam. Pulg.	4	6	8	10	
Diam. cm.	12	15	20	25	
Long.	60cm	60cm	75 a 90 cm	90cm	
1a. Cal.	\$346.50	\$616.00	\$2023.00	\$2427.00	\$2655.00
2a. Cal.	\$236.30	\$333.50	\$1127.00	\$1372.40	\$1470.00
3a. Cal.	\$134.50	\$229.00	\$ 742.00	\$ 891.00	\$1230.00

Tubos de barro que se construyen en Monterrey con los precios de Mayo 1988.

Diam. Pulg.	4"	6"	8"	10"	
Long.	60cm	60cm	75 cm 90 cm	90cm	
1a. Cal.	\$1200.00	\$2900.00	\$8700.00	\$9200.00	\$10100.00
2a. Cal.	\$ 850.00	\$1400.00	\$5900.00	\$6200.00	\$ 5420.00
3a. Cal.	\$ 600.00	\$ 800.00	\$2800.00	\$3100.00	\$ 4500.00

naría zanjeadora, más el costo de algunas estructuras especiales como vertederos, etc., más los gastos administrativos y depreciaciones.

e) Imprevistos, como reclamos de daños y perjuicios u otros --- (Burgerss y Clauce, 1960).

El interés por el drenaje agrícola varía notablemente según sea la tendencia económica del tiempo, pues en las épocas de bajos precios agrícolas los drenajes se practican escasamente, mientras que en épocas de bonanza, estas prácticas aumentan. (Luthin, 1979).

Se ha estimado el costo de instalación de un sistema de drenaje en pantanos donde nunca se había cultivado en los Estados Unidos de Norteamérica, con un costo promedio de 657 a 855 dólares por hectárea, encontrando que el precio de instalación se recupera totalmente en 5 años máximo y en algunos lugares -- hasta en 2 años (Leitch, 1983).

En California, en la región del Lago Tulare, al recuperar suelos salinos, se instalaron sistemas de drenaje con tubos corrugados, con un costo aproximado de 500 dólares por hectárea, elevando hasta un 300% el costo de la tierra labrada (Mallory, 1981).

En el Valle de Cauca, Colombia, se implementó un sistema de drenaje con tubos de barro de 10 cm de diámetro y 33 cm de largo, con drenes a 100 m uno de otro, tendidos en forma de espigas de pescado, que descargaban en drenes abiertos, encontrándose que amortizaban el costo de instalación rápidamente y se -

podía competir en costos al mantener en funcionamiento los drenes de zanjas abiertas. Además se llegó a elevar de 83 toneladas por hectárea de caña a 160, subiendo también el rendimiento de sacarosa de 9 a 11%; después que se bajo el nivel freático - de 60 cm a 1.5 m, cifra adecuada para la caña de azúcar (Solórzano, 1981).

Los costos de mantenimiento de los drenajes por canales, - dependen de las frecuencias del cruce de maquinaria sobre el -- sistema de la lluvia, el viento, de la vegetación, si tiene pasto en los bordes o no, de las características del canal, de lo-recto que este y del tipo de tierra que se trate, etc. Estimán-dose el costo de mantenimiento en 3% del costo inicial por año- a un tercio del costo original cada 7 años (Leitch, 1973).

### 3. BIBLIOGRAFIA

- ARENAS, F.J. 1981. Estudio de la calidad de costos de diferentes tipos de tuberías para drenaje agrícola. Tesis. Ing. Agr. Fitotecnista. F.A.U.A.N.L. Monterrey, N.L. México.
- BANCO DE MEXICO, S.A. 1953. La industria azucarera en México. 2(2): 105.
- BURGERSS Y CALUDE, 1960. Drenaje agrícola para ingenieros. Omega. Barcelona. 153-177; 359-396 pp.
- CHAVIRA, J.G. 1975. Suelos salinos y sódicos. Sus problemas y remedios. Bol. Agrícola Lagunero, S.A.R.H. 18-32 pp.
- COMMITTEE ON RESEARCH OF THE IRRIGATION AND DRAINAGE DIVISION. 1984. Status of Irrigation and Drainage Research in the United States. J. Irrig. and Drain. Div. 110(1):55-74.
- DE LA PEÑA, I. 1975. Metodología establecida para la determinación y solución de los problemas de drenaje en los distritos de riego de la República Mexicana. S.A.R.H. Mem. Técnico No. 141. 127-142 pp.
- DE LA LOMA, J.L. 1972. Dos casos específicos de drenaje agrícola. S.A.R.H. Mem. Técnico No. 306. 1-55 pp.

- DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS. 1972. Principios de avenamiento o drenaje. Diana. México. 9-46 pp.
- DIELEMAN Y TRAFFORD. 1976. Ensayos de drenaje. FAO. Roma. 1-18 pp.
- DIRECCION GENERAL DE AGUAS. 1974. Curso de drenaje de tierras-agrícolas. Abril a Julio. Lima, Perú. Tomo III. 7.1/1-7.1/18 pp.
- GEOHRING, L.D. and S.L. THOMAS. 1983. Corrugate plastic Drain-Tubing Stretch, During Drain Plow Installation, Transaction of the ASAE. 25(1):88-92.
- HUMBERT, R.P. 1974. El cultivo de la caña de azúcar. C.E.C.S.A. México. 385-391 pp.
- ISRAELSEN, O.W. y HANSEN, 1975. Principios y aplicaciones del drenaje. Reverte. México.
- KANWAR, R.S. et al. 1986. Comparisson of Trenchless Drain Plow and Trench Methods of Drainy Installation. Transactions - of the ASAE. 29(2):436-461.
- LEITCH, J.A. 1983. Economics of Prairie Wetland Drainage. ---- Transaction of the ASAE. 22(3):326-333.

- LOPEZ S., J.L. 1973. Drenaje agrícola. Teoría y bases del cálculo. Dirección General de Colonización y Ordenación Rural. Serie Monográfica No. 20. Madrid. p. 20, 70 y 71.
- LUTHIN, J.N. 1979. Drenaje de tierras agrícolas. Limusa. México.
- MALLORY, R. 1981. Land reclaimed from salt with proper drainage management. Irrigation Ag. 15(5)6-7.
- NICHOLSON, H.H. 1953. Principles of field drainage. University Press. Cambridge Great Britain. 95-149 pp.
- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION . 1978. El drenaje de los suelos pesados. Roma. 61-63 pp.
- PISSANI, J.F. 1976. Drenaje. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México.
- PIZARRO, F. 1975. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Agrícola Española. Madrid. 79-423 pp.
- SCHILFGAARD, J.V. 1974. Drainage for Agriculture. Agronomy. -- Wisconsin, U.S.A. 161-177 pp.
- SOIL CONSERVATION SERVICE U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1973.

Drainage of Agricultural land. Water Information Center.  
Huntington, New York. 141-200 pp.

THEOBALD, G.H. 1964. Métodos y máquinas para el drenaje por tu  
bos. FAO. Roma. 167-491 pp.

VALDES, G. 1982. Mayor eficiencia con drenajes tecnificados.  
El surco. 78(2):7-9.

VIDALES, E.M. 1983. Diseño de un drenaje de zanja abierta para  
una zona de trópico húmedo. Tesis Ing. Agr. Fitotecnista.  
FAUANL. Monterrey, N.L., México.

WALKER, P.N. and J.D. WELLS. 1983. Pipe Drainage of Heavy soi-  
ls. A field Evaluation. Transaction of ASAE. 22(1):112-115.

