

## Manejo del Agua de Riego para una Producción Sostenible de Hortalizas en el Valle del Cauca



*Código Proyecto : 952760138*

***DIA TECNICO RIEGO POR GOTEO***

*Grupo Regional Agrícola  
Centro de Investigación Palmira  
Mayo 29 de 1996*

---

---

---

---

*Arte : James Peñaloza Acosta - Transferencia de Tecnología*

26378

Reg 63580



**PRONATTA**

***MANEJO DEL AGUA DE RIEGO PARA UNA  
PRODUCCION SOSTENIBLE DE HORTALIZAS EN  
EL VALLE DEL CAUCA***

*\* Julio Roberto Higuera  
Jorge de Jesús Peña Camacho*

*\* Grupo Regional Agrícola  
Centro de Investigación Palmira - Valle del cauca*



## MANEJO DEL AGUA DE RIEGO PARA UNA PRODUCCION SOSTENIBLE DE HORTALIZAS EN EL VALLE DEL CAUCA

### PRESENTACION

*Este material contiene la experiencia de años de investigación (especialmente en el ICA), presentando resultados aplicables a nuestro medio.*

*Se entrega como material de consulta para técnicos de las UMATA, como apoyo a sus actividades de asistencia técnica y transferencia de tecnología. Se espera que la capacitación en el manejo del sistema de riego por goteo que hoy reciben de CORPOICA, en el Centro de Investigación Palmira, se promueva una cultura que tienda a un mejor uso y aprovechamiento del recurso agua, e igualmente crear una conciencia y así obtener una mayor eficiencia en el uso del agua de riego.*

*Programa Regional Agrícola  
Centro de Investigación Palmira*

## RIEGO POR GOTEO

Por: Hernán Rojas P.\*

### INTRODUCCION

El Riego por Goteo es el más nuevo de todos los métodos comerciales de aplicación de agua. Se describe como la aplicación frecuente y en bajos volúmenes de agua a través de dispositivos llamados emisores o goteros, localizados en puntos seleccionados a lo largo de tuberías conductoras de agua. Los emisores disipan la presión existente en el sistema ya sea por medio de orificios, vértices y/o disipación de energía a través de recorridos largos y de esta manera limitan su descarga entregándola a la presión atmosférica.

Originalmente el riego por goteo fue desarrollado como riego subsuperficial, donde se aplicaba el agua por debajo de la superficie del suelo (Davis 1974). El primer trabajo experimental comienza en Alemania en 1869 donde se utilizaban tubos de arcilla para una combinación de un sistema de riego y drenaje. En el año de 1913 House (Davis 1974) reporta su primer trabajo en Colorado e indica que el concepto de goteo (riego a bajo volumen) tiene una utilización práctica y expansiva. Seguidamente en Alemania, 1920, se utiliza tubería perforada y se demuestra la factibilidad del método, así varios investigadores se adelantaron por desarrollar el sistema de riego por goteo utilizando tubería perforada en varios materiales.

En los años cuarenta (1940), el equipo de riego por goteo incluía material utilizado en invernaderos. En los años sesenta (1960) comenzó a utilizarse el riego por goteo en cultivos a campo abierto en Israel. La idea del suelo como un reservorio para almacenar agua fue descartada o minimizada y reemplazada por el concepto de riego de conservación de la evapotranspiración sobre una base diaria.

Desde Israel el concepto de riego por goteo se expandió a Australia, Norte América, Sur Africa a finales de los años sesenta y finalmente a tra-

---

\* Ingeniero Agrícola M.Sc. Sección Manejo de Aguas. CNI Palmira A.A. 233 Palmira

vés de todo el mundo.

El desarrollo de la industria del plástico después de los años cincuenta manufacturó tubería económica e hizo práctico el uso del riego por goteo, en los años sesenta innumerables publicaciones de muchos países de todo el mundo describían la expansión y el desarrollo del riego por goteo, hoy en día millares de hectáreas son regadas por goteo a nivel comercial en todo el mundo.

#### Principales Ventajas y Desventajas del Sistema:

##### Ventajas:

- Ahorro de agua
- Posibilidad de un control exacto de las dosis.
- Mayores rendimientos y mejor calidad de cosechas.
- Ahorro de trabajo y fuerza de trabajo.
- Menor manifestación de malezas.
- Menor presencia de enfermedades y plagas
- Posibilidad de utilizar aguas que contienen sales.
- Posibilidad de aplicar fertilizantes paralelamente con el agua de riego.
- Posibilidad de automatizar la operación de las instalaciones del riego.

##### Desventajas:

- Peligro de obstrucciones de los emisores
- Inversión inicial es todavía alta en nuestro medio (Colombia)
- Requiere personal altamente capacitado
- En zonas frías no protege contra heladas
- Exige un buen proyecto e instalación.
- En zonas áridas en que no existe posibilidad de lavado, el uso sistemático durante varios años con aguas de mala calidad puede arruinar los suelos, sino se maneja en forma adecuada.

## 1. COMPONENTES Y DESCRIPCION DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Por: Hernán Rojas P.\*

### 1.1 EL CABEZAL

Está conectado a la tubería principal de abastecimiento de agua a la parcela e incluye: medidor de agua, válvula "CHECK", válvulas, acoples, manómetro, filtros y regulador de presión o de caudal.

Los componentes de este "cabezal" están indicados en la Figura Nº 1.

#### 1.1.1 Medidor de Agua

El tamaño del medidor de agua colocado en el sistema, es de acuerdo al caudal que pasa por el "cabezal", pero en general y económicamente se utilizará un medidor de 2", pues el caudal fijado por el diseño está adaptado a este tamaño. El medidor de agua permite registrar las cantidades de agua utilizadas, pero actualmente se utiliza un medidor de agua adjunto a una "válvula dosificadora" automática. Esta válvula se cierra automáticamente cuando la dosis de agua que fue fijada de antemano ha sido suministrada.

#### 1.1.2 Válvula "CHECK"

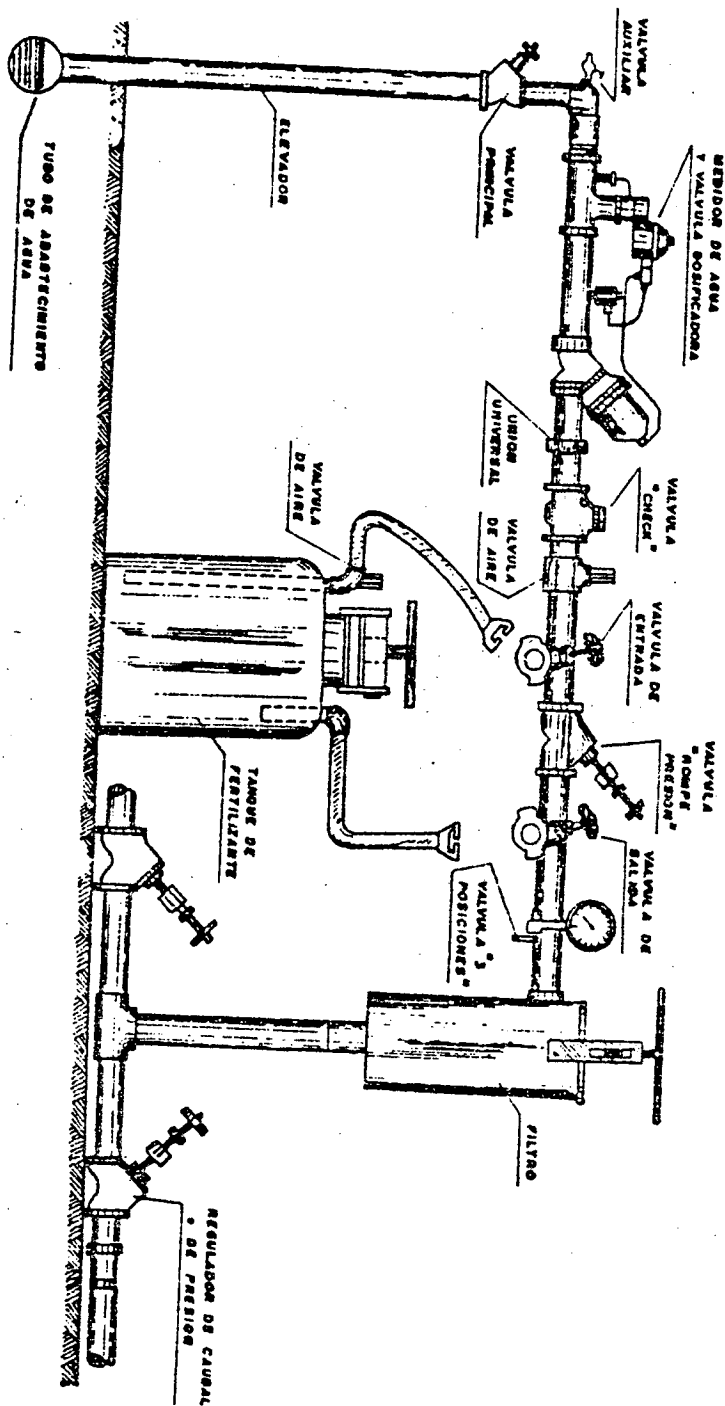
En el sistema de riego por goteo, el agua transporta a través del cabezal el fertilizante disuelto.

En caso de un corte de agua, el fertilizante puede regresar del cabezal a la fuente principal de agua potable; para evitar este efecto peligroso -para la salud de los usuarios- se coloca después del medidor de agua una válvula "CHECK" que tiene por objeto impedir el regreso de los fertilizan-

---

\* Ingeniero Agrícola M.Sc. Sección Manejo de Aguas. CNI Palmira A.A. 233 Palmira

FIG. 1- CABEZAL



tes disueltos.

### 1.1.3 Válvulas

#### ° Válvula Principal

Permite conectar o desconectar la instalación de la red general de distribución de agua al "cabezal".

#### ° Válvula de aire

Durante la fertilización, esta válvula evita el regreso del agua con fertilizantes disueltos a la red general de distribución de agua, en caso de la formación de vacío causado por la introducción del aire a la tubería.

#### ° Válvula "Rompe Presión"

Tiene por objeto "romper la presión" entre el punto de entrada del agua al tanque de fertilizante y el punto de regreso del agua al cabezal. Es necesario tomar en cuenta que para desviar una parte del caudal general al tanque de fertilizantes, es necesario crear una zona de "baja presión" (Teorema de Berneulli); con la válvula de control ya mencionada, se disminuye la presión de la red de conducción de 2 ó 3 metros. Así, los fertilizantes en el tanque están diluyéndose con el agua que continúa su trayecto en dirección al filtro y luego a los goteros.

#### ° Válvula de entrada de agua al tanque fertilizante

° Válvula de salida del agua con los fertilizantes disueltos del tanque a los goteros.

### 1.1.4 Filtros

Teniendo en cuenta que los orificios de los goteros son de tamaño pequeño (1 mm) existe el riesgo de ser obstruidos por materias extrañas contenidas en el agua como son: arena, materia orgánica, algas, costras de sal, etc; por esta razón la filtración de agua es indispensable para el buen funcionamiento de los goteros y del sistema en general.

Esta filtración se obtiene por medio de varios filtros cuyo tipo se selecciona de acuerdo al material a eliminar, su cantidad y el equipo que está protegido por el filtro.

#### 1.1.4.1 Tipos de Filtros

En la industria existen varios tipos de filtros cuya constitución varía

según el uso que se le de. Las Figuras Nº 2 y 3 muestran los diferentes filtros que son los más utilizados en riego por goteo.

#### ° Filtros de "Lámina perforada" o de Malla

Estos filtros son los más utilizados en el riego por goteo. El principio de su funcionamiento se basa en la instalación de un obstáculo en la circulación del agua, el cual retiene las materias extrañas. Este obstáculo puede ser una "lámina perforada" o una malla.

#### Elementos del Filtro:

Los diferentes elementos del filtro son señalados en la Figura Nº 2 y son los siguientes:

**Caja del filtro:** Contiene todos los elementos del filtro. Este recipiente es un cilindro metálico galvanizado y pintado con pintura anticorrosiva. Esta caja tiene 3 aberturas: una superior a través de la cual se colocan los otros elementos del filtro y dos inferiores o laterales que sirven para la entrada y salida del agua. Además existe una válvula de purga para la eliminación de las materias extrañas que se han sedimentado.

El tamaño de un filtro está en función al tamaño de la "caja" que puede variar de 3/4" - 3". En el riego por goteo, el filtro de 2" es el más utilizado.

**Cuerpo de filtración:** Es el obstáculo que impide el paso de las materias extrañas. Este puede ser una "lámina" perforada en acero inoxidable o una malla metálica o de plástico. La circulación del agua puede realizarse del exterior al interior del cuerpo o al contrario. El primer caso tiene la ventaja que los elementos extraños se fijan a la cara externa de la malla y eso permite lavar más fácilmente este cuerpo de filtración.

En la industria se puede encontrar filtros simples con un solo cuerpo de filtración o filtros dobles como lo señala la Figura Nº 2. El filtro doble permite hacer una filtración en etapas: la primera malla impide el paso del material grueso y la segunda el material fino. Con esta finalidad se utilizan mallas con perforación de tamaños diferentes (80 mesh y 150 mesh).

**Empaquetaduras:** Tienen como función evitar fugas de agua por el filtro.

**Limpieza de filtro:** Consiste en abrir el filtro y lavar las mallas con

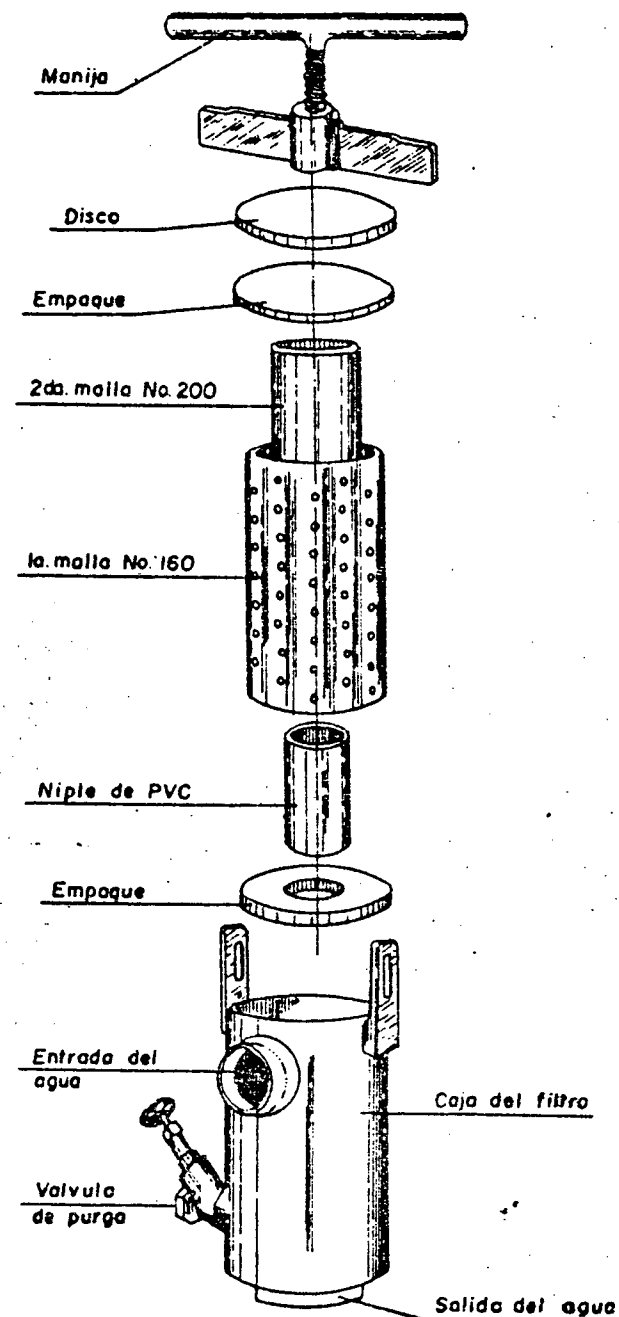


FIG. 2 - FILTRO DOBLE DE MALLA

agua a fin de sacar las materias extrañas. Esta limpieza se hace periódicamente de acuerdo a la calidad del agua.

### Filtro de Grava

Este filtro es destinado para filtrar agua que contiene cantidades grandes de materia orgánica o cualquier materia similar.

El principio consiste en filtrar el agua a través de capas de gravas (basalto) que impiden el paso de la materia orgánica. La Figura Nº 3 muestra las diversas capas de grava que son de tamaño diferente (1 a más de 4 mm).

El proceso de limpieza del filtro consiste en pasar un chorro de agua en sentido contrario de la circulación normal del agua hasta la limpieza total. Para esta operación se necesitan centenas de metros cúbicos de agua.

Los resultados obtenidos con estos filtros son satisfactorios y su uso es recomendable.

### Filtro de Turbulencia

Este filtro de tipo "hidrociclón", es utilizado para separar del agua las partículas sólidas como arena, por el uso de una fuerza centrífuga.

El principio consiste en introducir el agua a un tanque cónico a gran velocidad de tal manera que pueda crear en el tanque una turbulencia que empuje las partículas sólidas a las paredes del aparato. El agua circula en un trayecto "arremolinado" en dirección de la parte inferior del cono llevándose con él las partículas hasta el fondo del cono. Cerca de este lugar el agua cambia de sentido y una vez limpia circula en dirección hacia arriba para salir del filtro mientras que las partículas sólidas se depositan en un recipiente colector.

Este filtro tipo "hidrociclón" señalado en la Figura Nº 4 es utilizado especialmente para eliminar la arena del agua. De esta forma, puede resolverse los problemas de filtración en algunas zonas áridas donde el agua contiene grandes cantidades de arena.

La pérdida de carga de este filtro es relativamente baja, por ejemplo: El hidrociclón fabricado en Israel por "Netafim" de tamaño 16" tiene una pérdida de carga de 2 mt con un caudal de 50 mt<sup>3</sup>/hr.

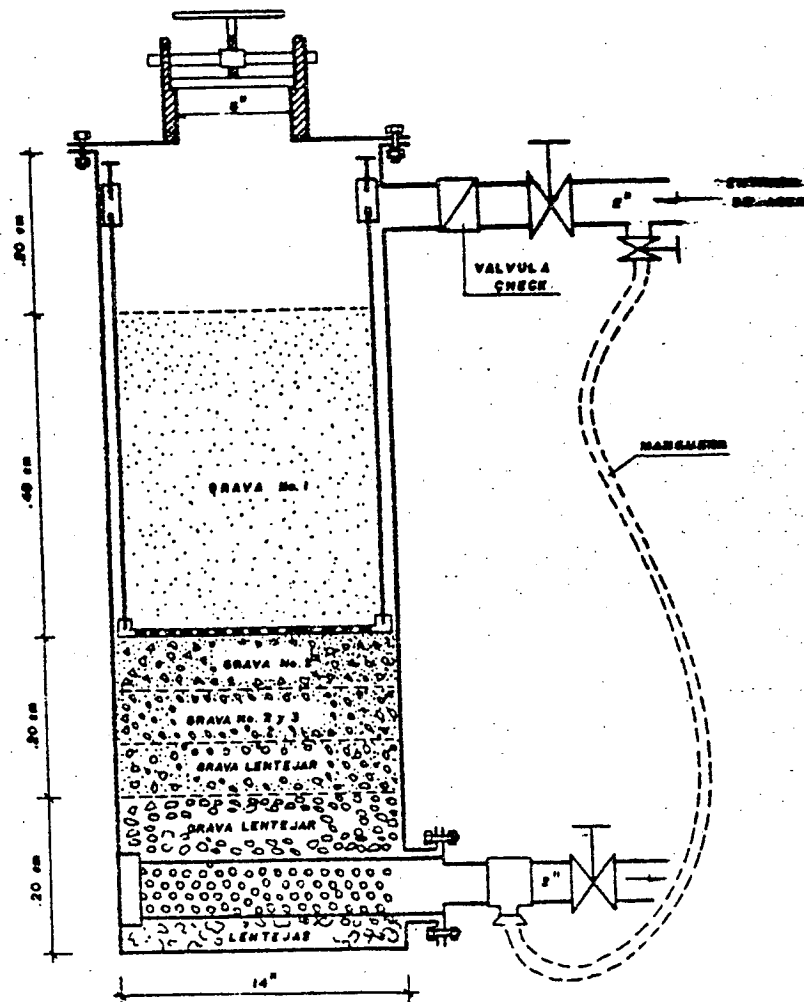


Fig. 3 - FILTRO DE GRAVA

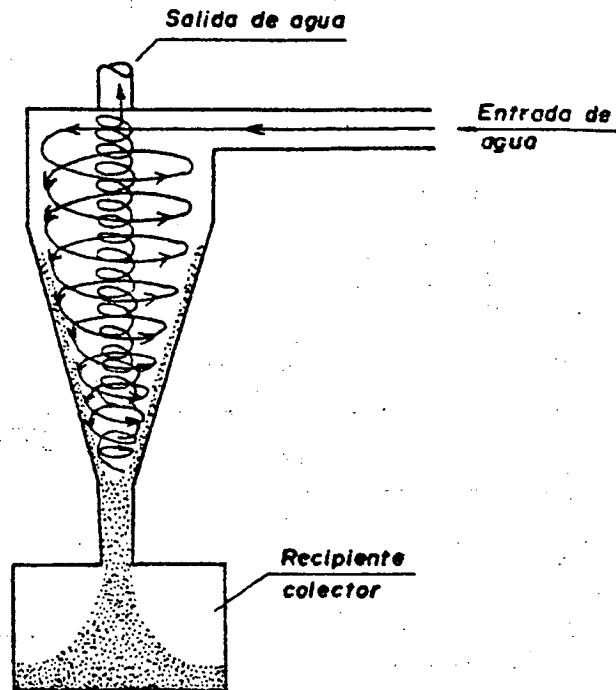


Fig. 4 - FILTRO A TURBULENCIA

### 1.1.5 Reguladores

La regulación de la presión o del caudal es la condición indispensable para asegurar el buen funcionamiento del sistema de riego por goteo, pues en la red de distribución del agua, existen presiones más altas que las requeridas, variaciones bruscas de presión, variaciones en el caudal como consecuencia de las obstrucciones de los filtros y diferencias de niveles topográficos entre partes del sistema que se están regando.

Para evitar estos problemas se utilizan reguladores que pueden ser de caudal o de presión.

#### ° Regulador de Caudal

El regulador tiene por objeto asegurar un caudal fijo en el sistema de riego por goteo a pesar de las variaciones bruscas de presión que pueden producirse en la red de distribución. Además, el regulador de caudal tiene como ventajas: Dar una distribución uniforme de agua en la parcela independiente de las condiciones de topografía; no es sensible a "golpes de ariete" y no necesita mantenimiento.

El regulador de caudal está basado en la presencia de un anillo de caucho en el regulador que es sensible a la velocidad de la circulación del agua y permite solamente el paso del caudal requerido.

Los tamaños que existen son:

Diámetro		Caudal	
- 1/2"	desde	27 l/h	hasta 170 l/h
- 3/4"	"	220 l/h	" 2600 l/h
- 1"	"	2700 l/h	" 6800 l/h
- 1" 1/4"	"	8.1 M <sup>3</sup> /H	" 21 M <sup>3</sup> /hr
- 2"	"	13.5 M <sup>3</sup> /H	" 34 M <sup>3</sup> /hr

La desventaja principal del regulador de caudal es que la pérdida de carga requerida para su funcionamiento es de 7 a 8 mt; esto significa que hay que utilizar este regulador de caudal solamente en caso que haya por lo menos una presión de 30 mt. en la fuente de agua. Este limita su uso en casos de zonas donde existe baja presión. Algunos modelos están conectados mediante mandos eléctricos o hidráulicos y mecanismos de reloj o válvulas de cierre; de tal manera que hacen posible programar el tiempo y/o caudal a entregar, después del cual el flujo se interrumpe automáticamente. Este mecanismo conjunto constituye lo que se denomina "Válvula Dosificadora" o "Válvula Volumétrica", y en algunas ocasiones pueden estar conectadas por mandos hidráulicos para lograr operar en secuencia y permitir así operar el riego por turnos.

#### ° Regulador de Presión

Tiene por objeto obtener una presión constante y requerida para el goteo a pesar de la variación brusca de presión. Este regulador tiene por ven-

taja que la pérdida de carga requerida es de 1 a 2 metros. El mecanismo regulador consiste en una válvula de cierre provista de un muelle en espiral el cual cede proporcionalmente al cambio de presión, dando lugar a un cierre parcial.

### 1.1.6 Tanque de Fertilización

Los tanques son recipientes o depósitos de metal protegido contra la acción destructiva de los fertilizantes por medio de pinturas, cromo, etc. Existen también tanques de "fibroglass".

El volumen del tanque puede variar de 30 a 200 litros con un diámetro de 40 a 50 cms.

La Figura Nº 5 muestra un tanque para fertilización con sus diferentes partes (mangueras de plástico de 1 metro de longitud con un diámetro de 16-20 mm con acoples rápidos 3/4" para permitir su conexión al cabezal y una válvula de aire que se coloca en la manguera de entrada del agua al tanque).

El tamaño del tanque está en función de la superficie de la parcela, las condiciones de abastecimiento de agua y al sistema de fertilización.

### 1.1.7 Tuberías de Conducción y Distribución

En el riego por goteo como en el riego por aspersión, el uso de tuberías de polietileno es lo más corriente. Este material tiene como ventajas: conservar su calidad muchos años (más de 10 años); resistir a la corrosión; ser neutra a los elementos químicos y no estar influenciado por los efectos de la radiación solar.

En el sistema de riego por goteo se tienen dos tipos de tuberías como muestra la Figura Nº 6.

° Tuberías de Conducción de agua

Cuyo diámetro es de acuerdo a la longitud de la tubería y caudal de descarga.

° Tuberías de Distribución

0 "ramales" de pequeño diámetro: 12, 16, 20, 25 y 32 mm. En general son conectadas perpendicularmente a las tuberías de conducción y sobre los

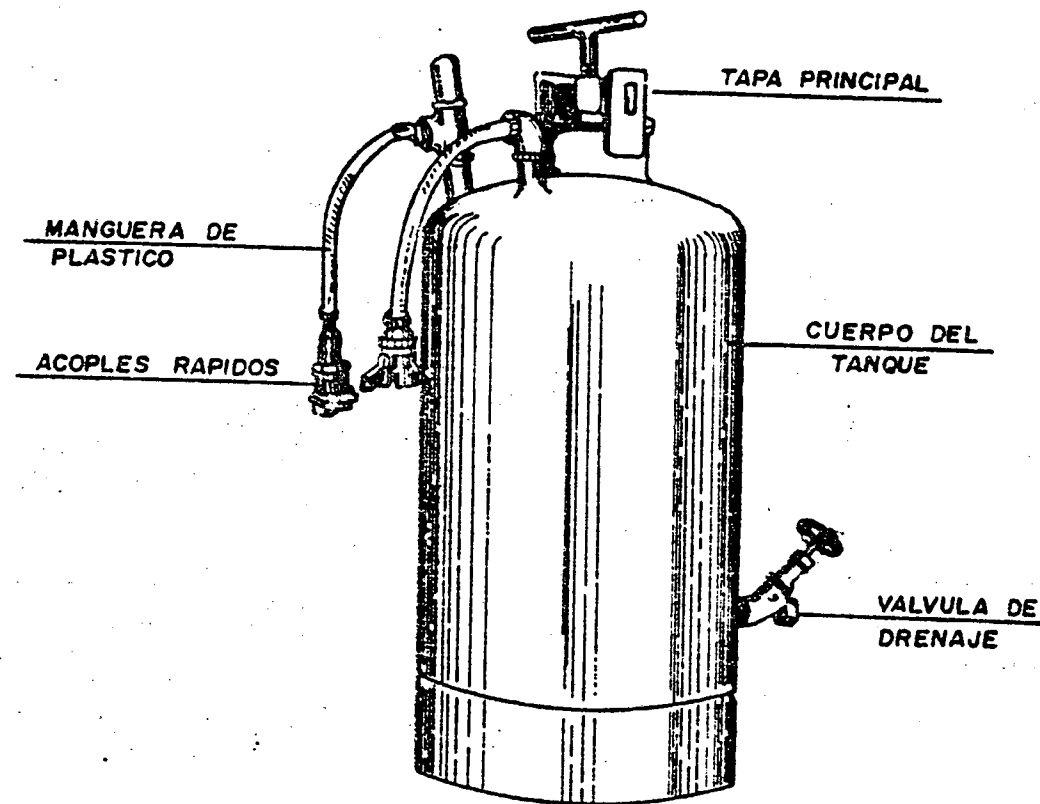


Fig. 5 - TANQUE DE FERTILIZANTES

cuales son insertados los goteros.

En polietileno existen dos categorías clasificadas según la presión de funcionamiento: 4 y 6 atmósferas. Generalmente la categoría 4 es utilizada para las tuberías fijas y la 16 para las tuberías portátiles.

### 1.1.8 Conexiones

Tiene por objeto conectar los diferentes elementos del sistema desde la fuente principal del agua hasta los goteros.

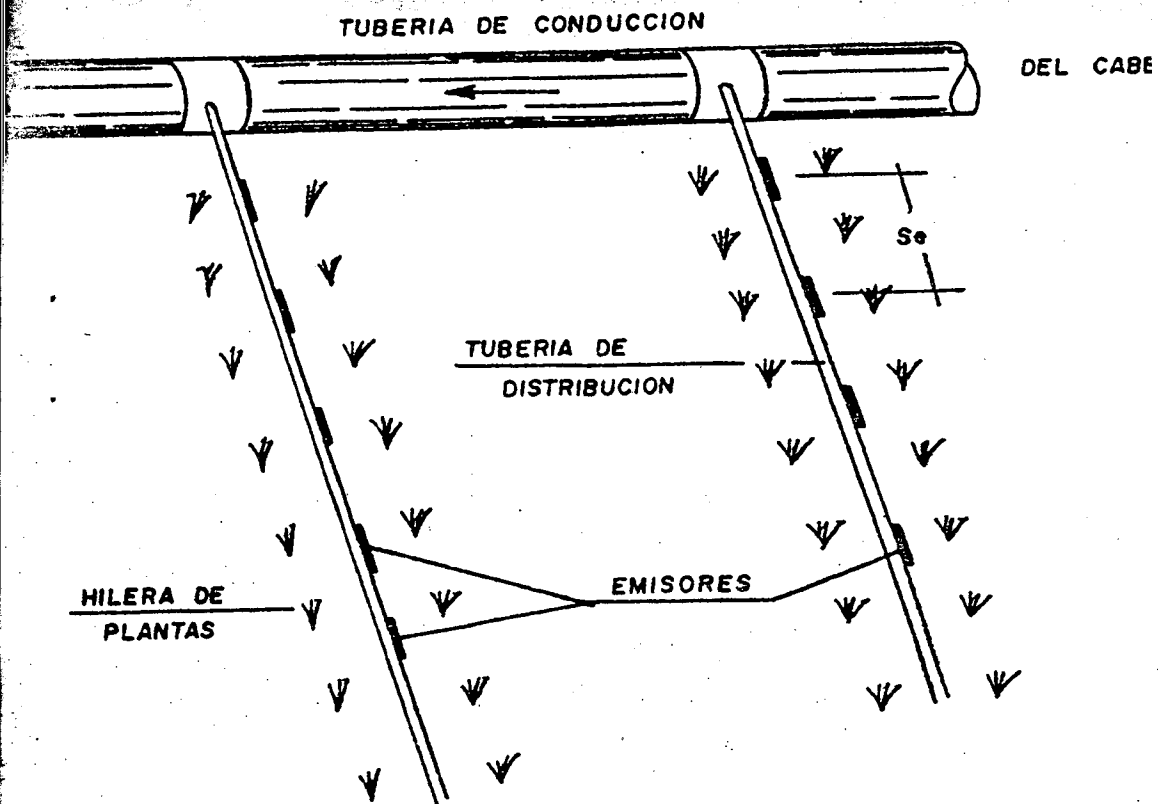


Fig. 6 - RED DE DISTRIBUCION Y CONDUCCION

Las conexiones deben ser de buena calidad a fin de evitar fugas de agua en el sistema disminuyendo el mantenimiento y reparaciones. Además, se exige de estos elementos el resistir altas presiones (6 a 10 atmósferas).

Las conexiones de uso actual son metálicas (aluminio y latón) o en plástico, pero la tendencia es a utilizar solamente los elementos de plástico.

En la industria existen dos modelos de conexiones principales:

° Externo: La unión se hace empujando el tubo en la conexión; ésta tiene en su lado interior dientes que retienen el tubo. La presión hidráulica aumenta la adherencia.

° Interno: En este caso se une el tubo con la conexión cuyo lado interior del tubo es retenido por dientes externos de la conexión.

### 1.1.9 Goteros

Son las boquillas de goteo a través de las cuales sale el agua de los ramales de plástico al suelo para ser absorbida por la planta. La condición hidráulica para conseguir goteo es desde tuberías con agua a presión, es obtener una presión casi nula en el punto de emisión.

Los goteros son de plástico y su caudal puede variar de 1 a 10 litros por hora a una presión de 10 metros. La Tabla Nº 1 da como ejemplo los diferentes tipos de goteros que existen en Israel con sus caudales respectivos.

TABLA Nº 1. Caudales de los Goteros en litros por hora

Fabricante	Tipo	Caudal	PRESION EN METROS		
			10	15	20
NETAFIM	168	8	7.8	9.2	10.8
NETAFIM	164	4	4.3	5.5	6.4
NETAFIM	124	4	4.2	5.2	6.1
NETAFIM	122	2	2.3	3.0	3.6
PLASTRO	Gris	6	5.7	6.6	7.4
PLASTRO	Negro	7	7.5	9.2	10.4
PLASTRO	Rojos	11	8.6	10.8	12.4
TECHNORAM	Negro	9	8.6	10.8	12.4

Los emisores o goteros deben cumplir las siguientes condiciones:

- ° Sus descargas o caudales deben ser bajos, uniformes y constantes.
- ° Tener la mayor sección libre posible para evitar al máximo las obstrucciones.

° Ser baratos y compactos.

La característica más importante de un gotero está dada por la curva de presión-caudal, que define los cambios del caudal debidos a la variación de la presión; mientras menos pronunciada la curva, menos sensible será el caudal a las variaciones de la presión; lo cual es una particularidad deseable. La mejor manera de evaluar dicha curva es definirla por la siguiente ecuación:

$$Q = kd.H^x \quad [1]$$

donde:

Q = Caudal del emisor en (L<sup>3</sup> T<sup>-1</sup>)

kd = Constante para cada emisor en particular

H = Presión de trabajo del emisor [L]

x = Exponente del emisor

El valor promedio de X para un intervalo de presión dada es:

$$x = \frac{\log (Q_1/Q_2)}{\log (P_1/P_2)} \quad [2]$$

Donde:

Q<sub>1</sub> y Q<sub>2</sub> son los caudales bajo las presiones P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub>

El significado de X es "La capacidad del gotero para regular presión".

Así:

X = 1.0 se tiene flujo laminar (baja capacidad de regulación)

X = 0.5 se tiene flujo turbulento (caudal varía con H)

X = 0.0 Autoreguladores (no responde a diferencias de presión).

Los goteros pueden clasificarse en:

a) Microtubo

La reducción de presión se consigue por fricción haciendo circular el agua a través de tubos de diámetro muy pequeño (± 1.0 mm), en estos tipos

goteros la magnitud de la descarga es función de la longitud y de la temperatura del agua.

b) Goteros tipo "Cilindro Alargado"

El gotero es un cilindro de plástico de diámetro 2.5 y de longitud 9 cm. El principio es basado en la circulación del agua en este cilindro pasando por un trayecto espiral o "arremolinado" como puede observarse en la Figura Nº 7. Las pérdidas de carga son determinadas por la fricción longitudinal del agua durante su trayecto.

Los goteros son conectados entre ellos por un tubo de plástico de diámetro determinado de acuerdo al caudal y a la distancia requerida.

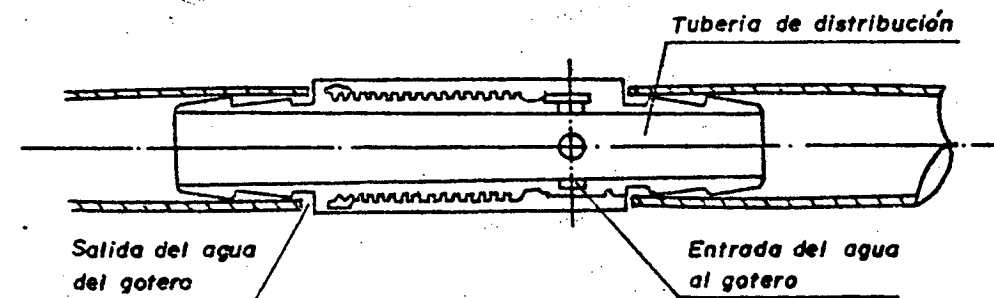


Fig. 7 - GOTERO "CILINDRO ALARGADO"

La Figura Nº 7 muestra el esquema de este tipo de gotero y el modelo "NETAFIM" que fue fabricado en Israel según el principio ya mencionado.

Este tipo de goteros ofrece las ventajas de tener un caudal preciso, de no obstruirse fácilmente y de permitir la reducción del diámetro de las tuberías (caudal pequeño) pero su desventaja principal es la dificultad de limpiarlo cuando se tapa, especialmente por la materia orgánica. En estos casos hay que cambiar los goteros.

c) Goteros a orificio "estrangulado"

Este tipo señalado en la Figura Nº 8 se inserta sobre el tubo de plástico (ramal) por medio de su parte inferior en forma de cono. En la extremidad de este cono se encuentra un orificio de 0.5 mm de diámetro. El agua penetra a través de esta apertura que se va ampliando continuamente para salir al exterior. En la parte superior del gotero hay una tapa con dos orificios que permiten la salida del agua en gotas. De esta manera, la descarga está reducida por las pérdidas de presión resultadas por "estrangulamiento" del caudal en el orificio de la salida del agua.

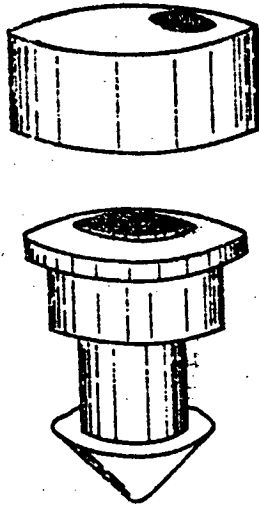


Fig. 8 - GOTERO A  
ORIFICIO ESTRANGULADO

La ventaja de este gotero es de armarlo sobre cualquier tubo de diferentes diámetros, esto significa la utilización de ramales a larga distancia. Además la limpieza se ejecuta sin dificultad. La desventaja principal

es la obtención de una gran precisión de los orificios en la fabricación para conseguir una descarga según las especificaciones técnicas de este gotero.

d) Goteros a Turbulencia

Este tipo se inserta también sobre el tubo de plástico pero su principio es diferente que el anterior. La entrada de agua se hace por un orificio de 0.9 mm. que se encuentra a un lado del gotero y sale por el centro de su parte superior. Esta constitución provoca una turbulencia del agua. Este efecto tiene como consecuencia una reducción del caudal. La Figura Nº 9 muestra un tipo de gotero de esta clase.

Este gotero tiene las mismas ventajas que el anterior pero tiene más posibilidades de obstruirse por causa de que el orificio de salida está descubierto.

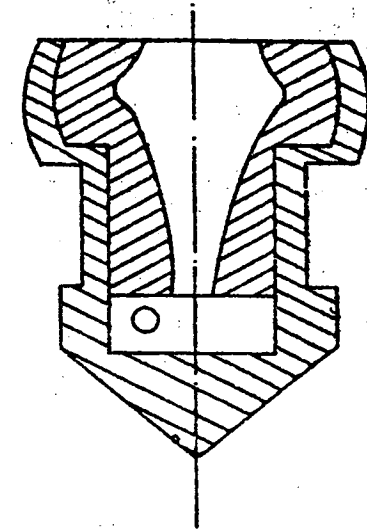


Fig. 9 - GOTERO A TURBULENCIA

e) Goteros tipo "Laberinto"

En este gotero el agua circula en un largo zig-zag que fija el caudal, aparentemente es un cilindro alargado que se conecta en los dos lados al

tubo de plástico como el primer tipo ya mencionado, Figura Nº 10.

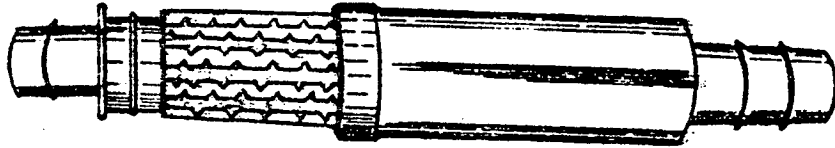


Fig. 10 - GOTERO "LABERINTO"

#### f) Goteros de Múltiples Orificios

Estos goteros son insertados en el tubo de plástico (ramales). El agua entra por un orificio central de 0.6 mm de diámetro y sale por 3 o más orificios con un caudal igual. En las salidas son conectadas mangueras de polietileno con un diámetro de 4 mm que transportan el agua a los puntos de emisión.

La Figura Nº 11 muestra el tipo de este gotero.

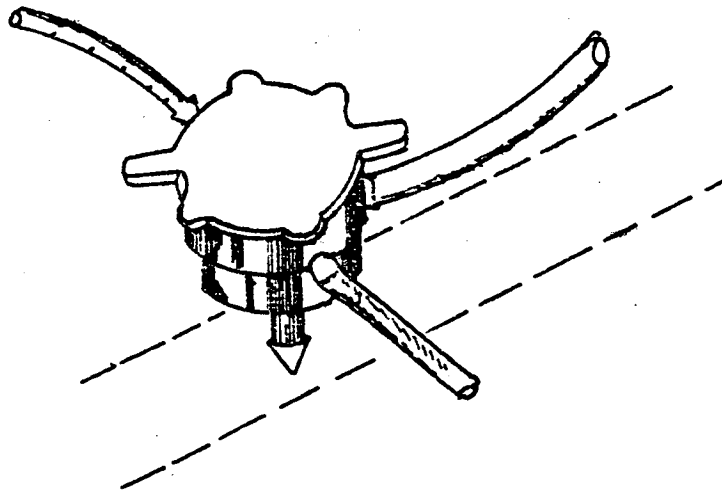


Fig. 11 - GOTERO DE SALIDAS MULTIPLES

## 1.2 SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO

### 1.2.1 Sistema Fijo

Este sistema se usa en huertos de frutales y en hortalizas y permite un buen control sobre las cantidades de agua y sobre el modo de abastecimiento del mismo, una combinación de labores agrotécnicas (riegos, fumigaciones, cosechas, etc.).

En los huertos (naranjos, perales, manzanos, etc), "Los ramales" son instalados longitudinalmente cerca de las hileras de los árboles con distanciamiento entre goteros de 100 a 125 cm.; en la vid esta distancia puede llegar hasta 180 cm.

En general, en cada fila de árboles se colocan uno o dos ramales según la especie del cultivo y tipo de suelo.

La "precipitación" del riego es de 0.5 - 2 mm/hora.

En cuanto a legumbres el sistema es fijo durante toda la época del crecimiento del cultivo y luego todo el equipo de riego se traslada a otras parcelas o se le guarda para emplearlo en la próxima campaña agrícola, en la misma parcela. En el riego de estos cultivos los ramales son instalados longitudinalmente cerca de las hileras de las plantas. Según el tipo de suelos y de especies hortícolas se colocan 2 ó 3 ramales con goteros a distancias de 50 a 100 cm. Este sistema se utiliza en tomates, pepinos, melones, etc.

### 1.2.2 Sistema Semi-fijo

En este caso el equipo utilizado está destinado solamente para la mitad del área cultivada, debiendo regarse el resto del campo en turnos. La ventaja de este sistema es de economizar la mitad del material. Se utiliza este sistema en huertos y legumbres cultivadas en "Campo abierto" (tomate, pepino, zapallos, etc.).

### 1.2.3 Sistema Portátil

Este sistema se utiliza para campos abiertos y cultivos casi extensivos: tomate, algodón, etc., la ventaja de este sistema es su reducido costo por el poco material de riego usado por unidad de área.

El sistema se adapta bastante bien en los asentamientos de tipo comunal.

En este caso los ramales serán de 60 a 80 metros de longitud y los cambios por posición de un ramal abarca de 5 a 6 posiciones.

Los goteros más utilizados en este sistema son de turbulencia o de orificios "estrangulados".

## 2. CONSIDERACIONES SOBRE LA RELACION AGUA-SUELO-PLANTA EN RIEGO POR GOTEO

Por: Hernán Rojas P.\*

Los sistemas de riego por goteo son normalmente diseñados y manejados para humedecer sólo una parte del área del suelo con bajos volúmenes de agua y altas frecuencias de riego; así que los procedimientos utilizados para calcular los requerimientos de agua de riego, como la lámina de riego, frecuencia y control de la salinidad por otros métodos de riego deben ser ajustados para el riego por goteo.

### 2.1 HUMEDECIMIENTO DEL SUELO

El riego por goteo humedece sólo la parte del suelo, y se distribuye a las plantas en forma de gotas. El principio en que se basa este sistema es el de la ley física; "La acción capilar"; o sea, el movimiento del agua a través de los conductos capilares existentes entre las partículas del suelo.

El agua aplicada normalmente a la superficie del terreno gota a gota se mueve tanto horizontal como verticalmente, y humedece un volumen de tierra en forma de "bulbo" o "cebolla" que depende del caudal aplicado, del tiempo de aplicación y de la textura del terreno.

En la Figura Nº 1 se representa la distribución del agua en el suelo, obsérvese cómo para un suelo de textura arcillosa se forma un bulbo de forma "achatada" mientras que para un suelo de textura arenosa su configuración es de tipo "alargado".

### 2.2 PORCENTAJE DE AREA HUMEDECIDA ( $P_w$ )

El área humedecida por cada emisor es generalmente una parte muy pequeña de la superficie del suelo y  $P_w$  se determina como el promedio del área

---

\* Ingeniero Agrícola M.Sc. Sección Manejo de Aguas. CNI Palmira A.A. 233 Palmira

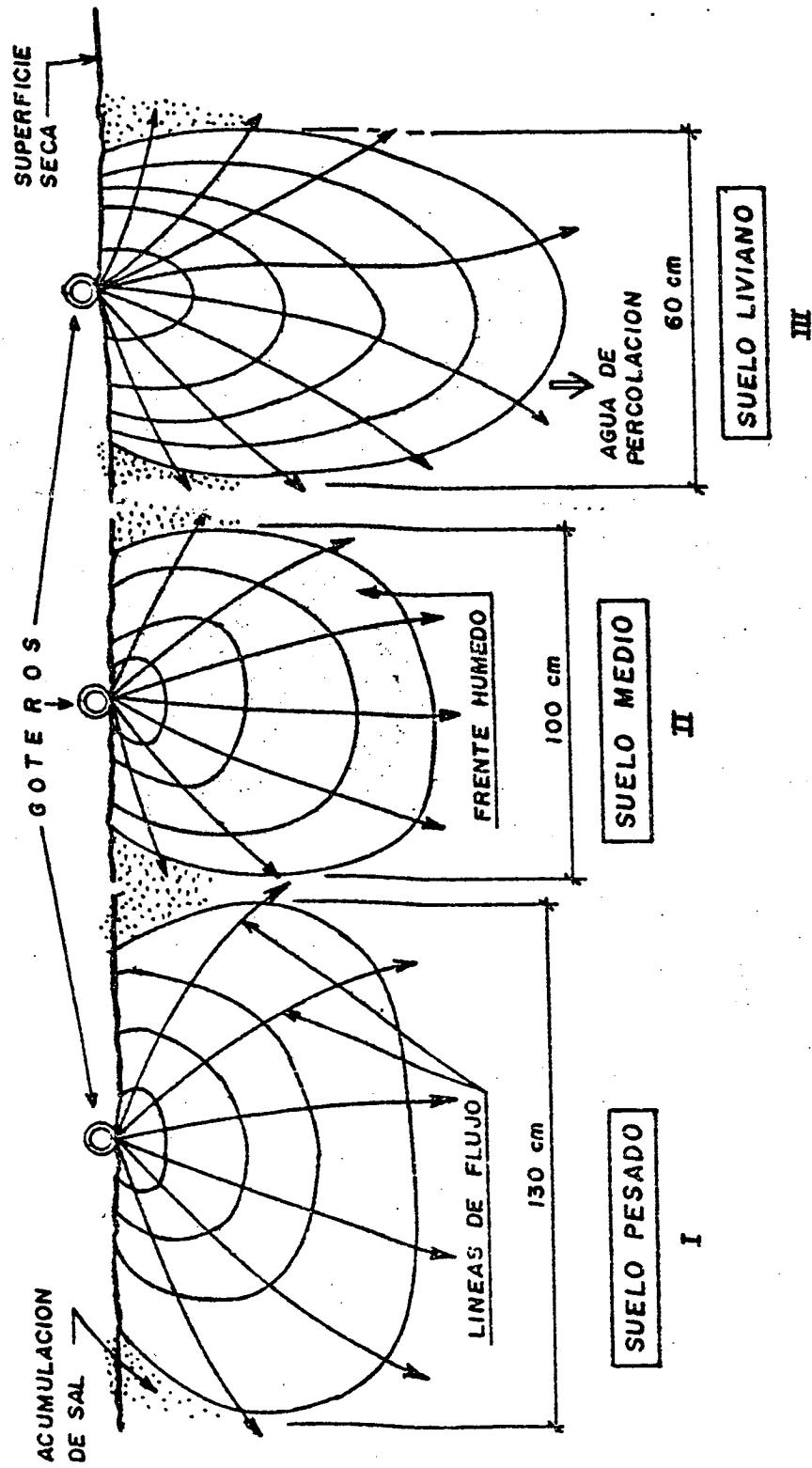


Figura 1 - Distribución típica del agua en el suelo bajo riego por goteo. El ancho del bulbo húmedo está tomado a 0.30 m de profundidad y corresponde a una aplicación de 40 mm. ( Según Karmeli ).

humedecida a una profundidad entre 15 y 30 cm por debajo de los emisores dividido por el área del cultivo.

El  $P_w$  entonces depende del caudal por emisor, de la separación entre emisores y del tipo de suelo, no existe un valor ideal de  $P_w$ , sin embargo se puede concluir que los sistemas que tienen un alto  $P_w$  pueden tener mayor almacenamiento de agua (protección en caso de una falla del sistema) y obtener todos los beneficios que ello conlleva (suministro de nutrientes).

Un razonable criterio de diseño es tener como objetivo mojar entre una tercera y la mitad de la sección transversal del área potencial del sistema radical.

En casos de huertos con árboles espaciados el  $P_w$  variará entre un 33% y 50% y en cultivos que tengan espaciamiento entre surcos menores a 1.80 mts el  $P_w$  puede llegar a ser el 100%.

### 2.2.1 Area Húmeda ( $A_w$ )

El área humedecida por cada emisor, a lo largo de un plano horizontal y a una profundidad aproximada de 30 cms de la superficie del suelo depende de la tasa de descarga y volumen del emisor, de la textura, estructura, pendiente y estratificación del suelo. Debido a la gran variabilidad del suelo, las relaciones matemáticas universales para estimar el  $A_w$  no son muy promisorias.

Para un perfil del suelo y caudal del emisor, la distancia entre el punto de aplicación (o línea portagoteros) al frente húmedo puede ser calculada aproximadamente por una relación empírica que está en función del tiempo de aplicación, ésta es:

$$X = a (T_a)^n \quad [1]$$

$$Y = b (T_a)^m \quad [2]$$

en donde:

- X y Y = Distancias horizontales y verticales del frente húmedo [L]
- $T_a$  = Tiempo de aplicación [T]
- a, n, b, m = Parámetros empíricos que dependen del tipo de suelo y características de aplicación de agua.

Para suelos homogéneos de texturas medias y finas los frentes húmedos horizontal y vertical se mueven casi a una misma tasa de avance; en suelos homogéneos de textura arenosa la tasa de avance del frente húmedo vertical es más rápida que la horizontal creándose un mayor potencial para las pérdidas por percolación profunda.

Los chequeos de campo son la vía más exacta para determinar el  $A_w$  con fines de diseño de riego por goteo. Las ecuaciones 1 y 2 pueden ser usadas como guía para extrapolar o extender los datos de campo. Los ensayos de campo consisten en poner a funcionar los goteros en unos pocos sitios representativos del área a regar y chequear los patrones de humedecimiento resultantes.

En la Figura Nº 2 se muestra la relación entre los máximos movimientos horizontal y vertical del frente húmedo para diferentes láminas de riego aplicada en un suelo arenoso uniforme. Los datos en la Figura representan diferentes tasas de aplicación y demuestra que la tasa de aplicación tiene muy poco efecto sobre el patrón de humedecimiento. En suelos uniformes el volumen del suelo mojado es una función directa de la cantidad de agua aplicada y relativamente independiente de la tasa de aplicación.

En la Figura puede verse que con aplicaciones que son grandes el movimiento vertical puede extenderse fácilmente más allá de la zona de raíces. Altas frecuencias de riego (diaria) pueden tender a minimizar las pérdidas por percolación pero resultan menores áreas húmedas.

### 2.2.2 Estimación del área húmeda

La Tabla 1 da una orientación del área horizontal (a una profundidad entre 15 y 30 cm aproximadamente), que puede ser humedecida desde un punto de emisión en diferentes tipos de suelo, (el área humedecida superficial por el emisor es generalmente más pequeña que el área subsuperficial, a menos que exista una gran descarga y se produzca escorrentía).

Los valores son basados sobre un caudal por emisor de 1 g.p.h. (galón por hora) que es aproximadamente uno de los caudales más usados en el año. Los valores de área humedecida ( $A_w$ ) son dados para varias texturas, profundidades y grados de estratificación y son basados sobre riegos diarios o cada dos días con suficiente volumen de agua aplicada para satisfacer plenamente los requerimientos de evapotranspiración.

El área húmeda estimada es dada como un rectángulo que tiene las dimensiones de ancho ( $S_w$ ) igual al máximo diámetro del círculo húmedo y el largo

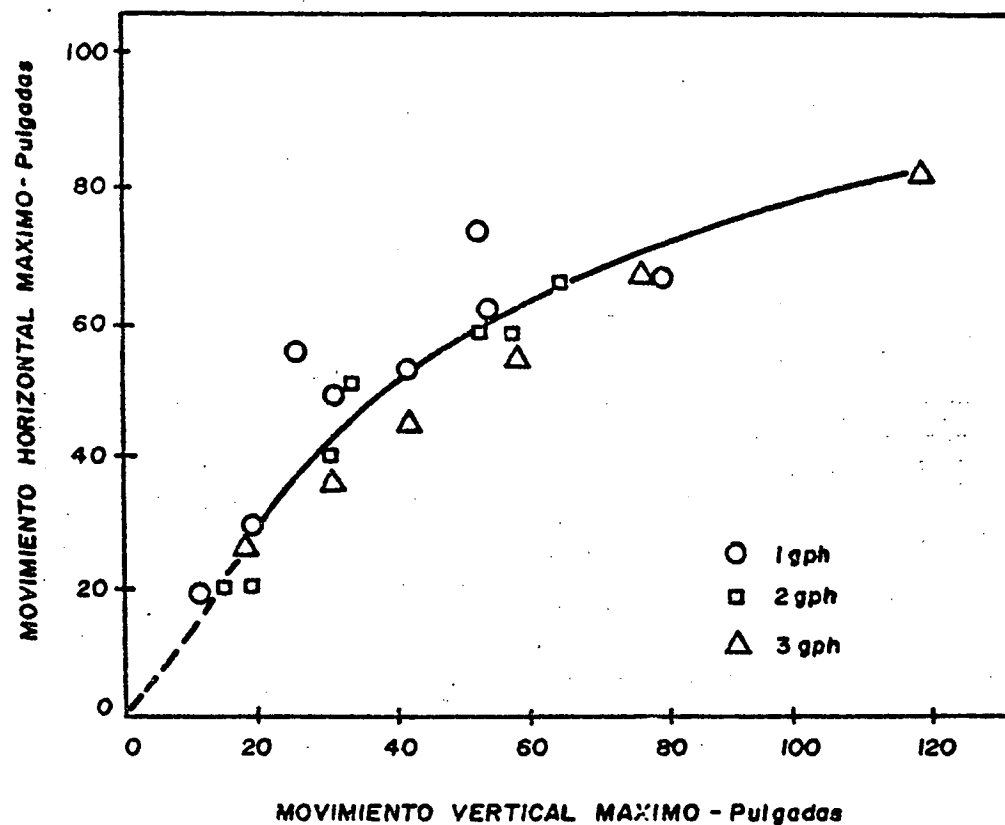


Figura 2- Relación entre el movimiento vertical y horizontal del agua para diferentes láminas de riego y tasa de aplicación de los emisores en un suelo seco arenoso. ( Tomado de Keller, 1980)

TABLA 1. Estimación del área húmeda para diferentes texturas de suelo, profundidad efectiva de raíces y grados de estratificación para una descarga por emisor<sup>1</sup> de 1 g.p.h. en condiciones normales de operación.

Profundidad y Textura 1/	GRADO DE ESTRATIFICACION DEL SUELO <sup>2/</sup>					
	Homogéneo		Estratificado Uniforme		Estratificado en capas <sup>3/</sup>	
	AREA EQUIVALENTE DE SUELO HUMEDO <sup>4/</sup>					
	Sé	x Sw	Sé	x Sw	Sé	x Sw
	ft	x ft	ft	x ft	ft	x ft
<b>Prof. 2.5 ft</b>						
Gruesa	1.2	x 1.5	2.0	x 2.5	2.8	x 3.5
Media	2.4	x 3.0	3.2	x 4.0	4.0	x 5.0
Fina	2.8	x 3.5	4.0	x 5.0	4.8	x 6.0
<b>Prof. 5.0 ft</b>						
Gruesa	2.0	x 2.5	3.6	x 4.5	4.8	x 6.0
Media	3.2	x 4.0	5.6	x 7.0	7.2	x 9.0
Fina	4.0	x 5.0	5.2	x 6.5	6.4	x 8.0

- 1/ Gruesa: Incluye arena gruesa y media; Media: incluye suelos francos y franco arenosos; Fina: incluye desde franco arcillo-arenoso a arcillosos.
- 2/ Algunos suelos son estratificados uniformemente o en capas; los estratificados uniformes se refieren a una textura más o menos uniforme con alguna orientación de partículas y/o relativa compactación de sus horizontes y tienen permeabilidad tanto horizontal como vertical buena. Los suelos estratificados en capas se refieren a cambios en la textura con la profundidad del suelo como también orientación de partículas y una compactación moderada.
- 3/ Para suelos con extrema estratificación en capas los valores Sé y Sw pueden llegar a ser dos veces los de la tabla.
- 4/ El área de un rectángulo de dimensiones Sé y Sw es equivalente a 0.8 veces el diámetro húmedo.

(Se) es igual al ochenta por ciento del máximo diámetro húmedo y que es igual al espaciamiento entre emisores para el cual se espera una buena uniformidad y una franja húmeda continua (la multiplicación de los dos valores da aproximadamente la misma área que un círculo, por ejemplo:  $1.0 \times 0.8 \approx 1.0 \pi/4$ ).

Cuando los suelos son estratificados lo mejor es realizar chequeos de campo y consignar el comportamiento del frente húmedo, igualmente, pueden existir suelos donde hay capas compactadas ya por la acción propia del suelo (reacciones químicas) o por acciones externas como el de la maquinaria, en estos casos es mejor realizar un acondicionamiento del suelo si es posible y posteriormente realizar ensayos de campo para determinar el área húmeda.

El efecto de la PENDIENTE DEL TERRENO es a distorsionar el patrón de humedecimiento en dirección de la pendiente y en algunos casos extremos (pendientes muy fuertes) ésta puede llegar a producir un patrón distorsionado más del 90% pendiente abajo, es decir existe un escurrimiento del área húmeda.

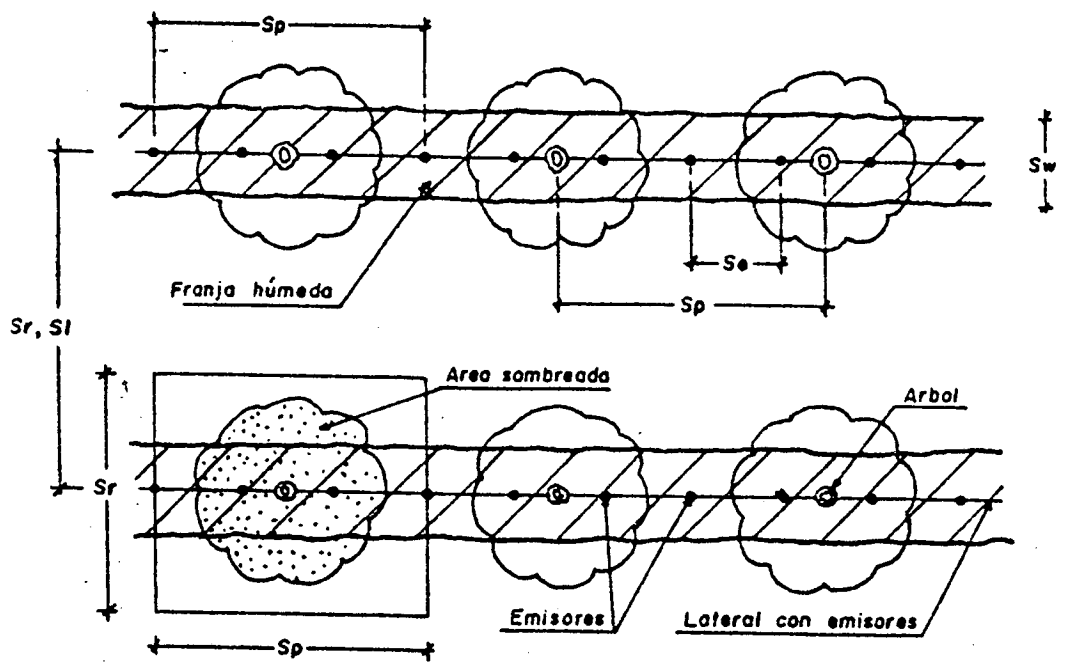
En general el Aw se incrementa con el tiempo de aplicación, número de emisores por planta y caudal del emisor, así que bajas frecuencias de riego por goteo podrán producir un área húmeda mayor; no obstante los sistemas más utilizados usan altas frecuencias y la estación del sistema es diseñada para mayor tiempo de operación en forma continua. En suelos que tienen una baja tasa de infiltración o existen capas restrictivas en el perfil del suelo con baja permeabilidad una forma de incrementar el Aw es incrementando el caudal por emisor (qa).

### 2.2.3 Cálculo de Pw

El porcentaje del área húmeda, Pw, es el área húmeda promedio en la parte superior (15 a 30 cm) de la zona de raíces de las plantas, dado como un porcentaje del área total del cultivo.

Algunos términos usados para describir la disposición de los emisores (gotos) y patrones de humedecimiento son: (Ver Figura Nº 3).

- Se = Es el espaciamiento entre emisores o puntos de emisión a lo largo de la línea
- Sé = Espaciamiento óptimo entre emisores que es el 80% del diámetro húmedo estimado por la Tabla 1 u obtenido por ensayos de campo.
- Sw = Es el ancho de la franja que es humedecida por una serie de emisores separados a una distancia Sé a lo largo de una línea lateral. Sw es también equivalente al diámetro del círculo humedecido por un emisor se puede estimar por la Tabla 1 o por ensayos de campo.
- Sl = Es el espaciamiento entre líneas laterales de goteo.
- Sp = Es la distancia entre plantas
- Sr = Es la distancia entre hileras de plantas.



$e$  = Es el número de emisores por planta.  
 $P_s$  = Es el área horizontal de sombra de la planta al medio día tomado como un % del área total.

Para laterales en línea recta y emisores en línea en que  $Se \leq S_e'$  el porcentaje de área húmeda puede calcularse como:

$$P_w = \frac{e \cdot Se \cdot S_w}{Sp \cdot Sr} \times 100 \quad [3]$$

Si  $Se > S_e'$ : entonces el  $Se$  de la ecuación 3 puede reemplazarse por  $S_e'$ .

Para sistemas con lateral doble éstos se pueden separar  $S_e'$  para maximizar el área húmeda sin tener un área apreciable seca entre las líneas. Para disposiciones en zig-zag, cola de marrano y salidas múltiples los emisores o puntos de emisión pueden separarse para maximizar el área humedecida por salida; con el fin de no tener zonas secas entre el área humedecida, los puntos de emisión podrán colocarse a una distancia  $S'e$  de la línea de árboles.

El cálculo de  $P_w$  se realiza para óptimo esparcimiento por:

$$P_w = \frac{e \cdot S_e' (S_e' + S_w)}{2 Sr \cdot Sp} \times 100 \quad [4]$$

Si la disposición no es diseñada para máximo humedecimiento y  $Se < S_e'$  entonces en la ecuación 4 puede utilizarse  $Se$ .

Dado que los principios del riego por goteo son aplicados al riego con micro-aspersores el porcentaje de suelo húmedo para estos sistemas se puede calcular como:

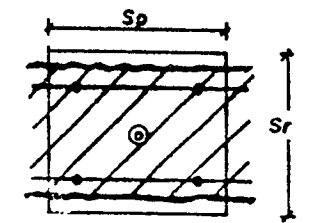
$$P_w = \frac{e As + (S_e'/2 \times P_s)}{Sp \times Sr} \times 100 \quad [5]$$

Donde:

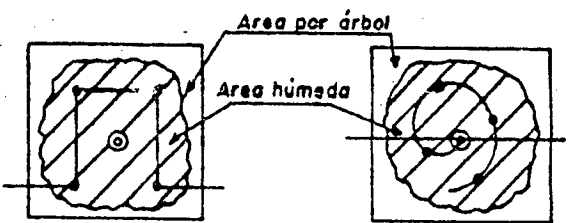
$As$  = Es el área regada directamente por el micro-aspersor en  $ft^2$

$P_s$  = Es el perímetro del área directamente regada por el microaspersor en ft.

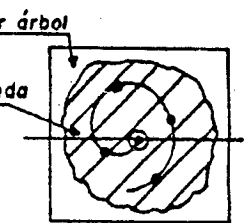
A = Un lateral por cada hilera de árboles (3 emisores por árbol,  $P_w=30\%$ ,  $P_s=55\%$ )



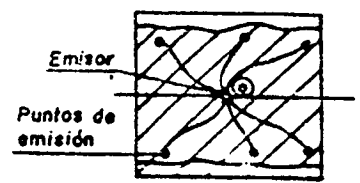
B. Doble lateral por hilera de árboles ( $P_w=60\%$ )



C. Lateral en zig-zag por cada hilera de árboles ( $P_w=40\%$ )



D. Disposición de cola de marrano con 4 emisores por árbol ( $P_w=40\%$ )



E. Emisor con 6 salidas múltiples y distribución con microtubo ( $P_w=60\%$ )

Figura 3- Varias disposiciones de laterales para cultivos con espaciamiento permanente

$S_e$  = Tomada de la Tabla 1 para suelo homogéneo

$S_p \times S_r$  = Es el espaciamiento entre árboles en ft x ft

$e$  = Es el número de microaspersores por árbol.

## 2.3 LAMINA DE RIEGO

En el riego por goteo solo una fracción de suelo es humedecido, por esta circunstancia el método para determinar la lámina de riego o volumen de agua a aplicar por ciclo de riego e intervalo de riego es único. De otra manera se espera una gran eficiencia en la aplicación del agua y ésta puede conseguirse teniendo la humedad del suelo próxima a capacidad de campo (C.C.) y tener una baja tensión, así el agua aprovechable no será la comprendida entre C.C. y punto de marchitez (P.M.) como en otros sistemas de riego, sino bastante menor.

La lámina de riego dependerá no sólo de las características físicas del suelo y de la profundidad de las raíces, como en los sistemas tradicionales; sino también el porcentaje de suelo humedecido y del nivel de agotamiento (N.A.) permitido en el porcentaje del agua aprovechable para que la planta no se resista.

Puesto que el N.A. permitido es una función económica de la relación entre agua-rendimiento de un cultivo y esta relación no es posible expresarla cuantitativamente, para la mayoría de los suelos se puede asumir un N.A. del 30% para cultivos sensibles a la sequía y de un 60% para cultivos poco sensibles a la sequía.

### 2.3.1 Lámina Neta Máxima de Riego ( $L_{max}$ )

Es la lámina de agua que se reemplaza cuando se llega a un nivel de agotamiento (N.A.) predeterminado y se calcula como:

$$L_{max} = \frac{N.A.}{100} \times \frac{(C.C. - P.M.)}{100} \times D_a \times Z \times \frac{P_w}{100} \quad [6]$$

Donde:

N.A = Nivel de agotamiento previsto en %

C.C = Capacidad de campo en % Hss.

P.M = Punto de marchitez en % Hss.

$D_a$  = Densidad aparente

$Z$  = Profundidad media de la masa de raíces [L]

$P_w$  = Fracción del área humedecida en %

Las Tablas 2 y 3 dan una guía de la profundidad de la masa de raíces y de algunas características generales de varios tipos de suelos.

## 2.4 REQUERIMIENTOS DE AGUA

En el sistema de riego por goteo solo una parte de suelo es regado y además esta zona húmeda con frecuencia se encuentra dentro de la cobertura vegetal ("Canopy") que da sombra al suelo, así las pérdidas por evaporación se reducen al máximo, con lo que prácticamente todo el consumo de agua por la planta en términos de evapotranspiración (ET) coincide con la transpiración (T), de otra manera el agua de riego es suministrada a intervalos de tiempo relativamente pequeños (diariamente o dos veces por semana) en donde la tensión de la humedad dentro de la zona de raíces continuamente se conserva más o menos a la capacidad de campo, manteniendo la tensión entre 0.3 y 0.5 de un bar, lo que finalmente se logra, así se produce una situación única que es imposible lograr con los sistemas de superficie y aspersion. La situación anterior se asimila a tener los cultivos bajo un régimen de nunca faltarles agua o de disponibilidad ilimitada de humedad lo cual se podría llamar "Régimen Potencial".

### 2.4.1 Evapotranspiración Potencial (ET<sub>p</sub>)

La ET<sub>p</sub> ha sido definida por Penman como la evapotranspiración de un campo cubierto de césped con disponibilidad ilimitada de humedad.

Se han realizado a nivel mundial una enorme cantidad de trabajos sobre el tema de ET<sub>p</sub>; en la mayoría relacionando parámetros que intervienen en ecuaciones de balance de energía, transferencia de masa o combinaciones de ecuaciones empíricas y semianalíticas y en donde se guarda una gran semejanza entre la evaporación de una superficie libre de agua (lagos) y la evapotranspiración potencial.

El tanque de U.S. Weather Bureau denominado tanque "Clase A" es el que ha tenido mayor aceptación en todo el mundo y es utilizado para medir la evaporación, éste se ha adoptado como la medida e indicador para determinar la evapotranspiración de cultivos en general y para actuar como indicador de la ET<sub>p</sub> en particular. La evaporación del tanque "Clase A" integra los principales factores del clima como la radiación, viento, temperatura y humedad, puesto que estos mismos factores intervienen en el proceso de

evapotranspiración; la evaporación del tanque "Clase A" es tomada como índice climatológico.

TABLA 2. Profundidad media de la masa de raíces y espaciamientos usados en varios cultivos bajo Riego por Goteo<sup>1/</sup>

Cultivo	Profundidad de raíces (m)	Distancia entre plantas (m)	Distancia entre hileras (m)
Hortalizas	0.3 - 0.6	1.0	1.0 - 2.0
Tomate	1.0 - 1.5	1.0	1.0 - 2.0
Pepino	0.2 - 0.4		
Pimiento	0.3 - 0.5		
Espinaca	0.2 - 0.6		
Remolacha	1.0 - 1.2		
Fresa	0.4 - 0.6		
Cebolla	0.3 - 0.5		
Plátanos	0.4 - 0.6	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0
Vid	1.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0
Arboles frutales de hoja caduca	1.0 - 2.0	2.0 - 8.0	4.0 - 8.0
Cítricos	1.0 - 1.2	3.0 - 6.0	5.0 - 7.0

1/ Adaptada de S<sup>n</sup> Juan Medina (1979); Karmelli-Keller (1974)

TABLA 3. Características de almacenamiento de humedad para diferentes tipos de suelo<sup>1/</sup>

Suelo	Textura	Da <sup>2/</sup>	Agua Aprovechable <sup>3/</sup> % Hss	mm/m
PESADO	Arcillosa	1.2 - 1.3	13 - 20	156 - 260
	Arcillo-Arenosa	1.25 - 1.35	11 - 18	138 - 243
MEDIO	Franco-Arcillosa	1.3 - 1.4	9 - 16	117 - 224
	Franca	1.35 - 1.5	10 - 14	135 - 210
	Franco-arenosa	1.4 - 1.6	6 - 10	84 - 160
LIVIANO	Arenosa	1.55 - 1.8	3 - 6	47 - 108

TABLA 3. Características de almacenamiento de humedad para diferentes tipos de suelo

1/ Adaptada de S<sup>n</sup> Juan Medina (1979); Karmelli-Keller (1974)

2/ Densidad aparente del suelo

3/ Agua retenida por el suelo entre capacidad de campo y Punto de Marchitez

Muchos científicos de todo el mundo han encontrado una alta correlación entre la ETp y la evaporación del tanque clase "A" y teniendo en cuenta la similitud de los resultados, parece seguro suponer que, para todos los propósitos prácticos, la relación entre ETp/Ev varía entre 0.6 y 0.8; es decir que:

$$ETp = Kt \times Ev \quad [7]$$

Donde:

ETp = Evapotranspiración potencial; LT<sup>-1</sup>

Ev = Evaporación del tanque clase "A"; LT<sup>-1</sup>

Kt = Coeficiente del tanque (0.6 - 0.8; se puede utilizar para todos los fines 0.75)

Dado los conceptos anteriores en el que el término de evaporación de la superficie del suelo es prácticamente minimizado en riego por goteo entonces se puede hablar de Transpiración Potencial (Tp) a pesar de que en nuestro país las investigaciones al respecto no arrojan sus resultados; la única referencia es tomada del Departamento de irrigación Universidad Hebrea, Jerusalén, Israel en donde reportan una "conclusión inicial (solamente una aproximación razonable para propósitos de diseño) de que para todos los fines y propósitos prácticos el valor de Tp deberá tomarse como 0.70 de Ev del tanque clase "A"; es decir:

$$Tp = 0.70 \times Ev \quad [8]$$

Donde:

Tp = Transpiración potencial; LT<sup>-1</sup>

Ev = Evaporación del tanque clase "A"; LT<sup>-1</sup>

0.7 = Coeficiente empírico

## 2.4.2 La Evapotranspiración Real (ETr)

La Evapotranspiración Real de un cultivo depende de muchos factores, entre ellos los de clima que en cierto modo están representados en ETp, y los de suelo, planta, manejo agronómico que se encuentran involucrados en coeficientes empíricos, llamados "Coeficientes de Cultivo" (Kc) y que son característicos de cada especie y de su estado de desarrollo, en general Kc es pequeño en los estados iniciales y finales del desarrollo y aumentan en el máximo desarrollo vegetativo, así la relación existente entre ETr y ETp será:

$$ETr = Kc \times ETp \quad [9]$$

Donde:

ETr = Evapotranspiración real; LT<sup>-1</sup>

ETp = Evapotranspiración potencial en; LT<sup>-1</sup>

Kc = Coeficiente del cultivo que varía con el tiempo.

Relacionando las fórmulas 7 y 9 podemos encontrar la relación existente entre ETr y Ev

$$ETr = Kt \times Kc \times Ev \quad [10]$$

Donde todos los parámetros ya han sido definidos.

El Programa Manejo de Aguas del ICA (Colombia) ha realizado en sus Centros de Investigación ubicados para cubrir los diferentes pisos térmicos del territorio nacional, una gran cantidad de experimentos de campo en riego por goteo cubriendo además una gran cantidad de especies, y en donde ha utilizado varios tratamientos de agua de acuerdo a relaciones predeterminadas entre ETr y Ev o coeficientes K para riego por goteo y su relación con la producción obtenida. La Tabla 4 muestra los resultados encontrados advirtiendo que el coeficiente K de la Tabla 4 equivaldría a un coeficiente global,

$$K = Kt \times Kc \quad [11]$$

(Ecuación 11) para riego por goteo y el cual fue obtenido para una frecuencia de riego diaria y el mejor rendimiento.

## 2.5 TASA PROMEDIO MAXIMA DIARIA DE TRANSPIRACION (Td)

En riego por goteo Td es una función del valor diario máximo de evapotrans-

TABLA 4. Coeficientes K para diferentes cultivos bajo riego por goteo<sup>1/</sup>

Cultivo	Localización	Ev mm/día	K
Tomate "Roma"	Sn Juan del Cesar	8.93	0.70
Pimentón "Cal. Wonder"	"	8.80	0.70
Pepino "Cohombro"	"	8.80	0.90
Melón	"	8.80	0.70
Tomate "Chonto"	Cáqueza	5.13	0.90
Tomate "Manapal"	"	5.40	1.10 ✓
Remolacha "Crosby's Egiptian"	"	5.20	0.70
Cebolla "Yellow Granex"	"	5.10	0.80
Tomate "Manapal"	Soatá	5.00	1.00 ✓
Cebolla de "Bulbo" Texas Grano 502	Palmira	4.20	1.40 ✓
Cebolla de bulbo "White Creole"	"	4.20	1.00 ✓
Papaya "5160 x 5181"	"	4.20	0.80 ✓
Zanahoria "Chantenay"	Mosquera	3.20	0.70
Espinaca "Viroflay"	"	3.20	0.90
Lechuga "White Boston"	"	3.20	1.10
Coliflor "Bola de nieve temprana"	"	3.20	0.90
Repollo "Copenhagen market"	"	3.20	1.10
Acelga "Penca Verde"	"	3.20	0.90
Remolacha "Crosby's Egiptian"	"	3.20	1.10
Lechuga "Calamar"	Tunja	3.00	1.00
Coliflor "Bola de nieve temprana"	"	3.00	1.10
Papa "ICA Sn Jorge"	"	3.00	1.10
Fresa "Tioga California"	Cota	3.00	1.10

1/ FUENTE: Programa Manejo de Aguas. Instituto Colombiano Agropecuario ICA (1975 - 1986)

piración y de un parámetro relacionado con la cobertura del follaje de la planta.

Una fórmula que relaciona estos parámetros es:

$$T_d = ET_{max} \left[ \frac{P_s}{100} + 0.15 \left( 1.0 - \frac{P_s}{100} \right) \right] \quad [12]$$

Donde:

$ET_{max}$  = Tasa promedio máxima diaria de evapotranspiración para el mes pico en;  $LT^{-1}$

$P_s$  = Área sombreada por el follaje de la planta al medio día, tomada como un porcentaje del área total.

La ecuación 12 considera una fracción de suelo cubierta por la planta y un término corrector para el efecto de oasis. A pesar de que esta fórmula no está completamente verificada, es utilizada con fines de diseño y está basada en un análisis lógico de muchas observaciones y evaluaciones de campo.

### 2.5.1 La Transpiración estacional ( $T_s$ )

Puede calcularse reemplazando  $ET_{max}$  por la evapotranspiración estacional calculada,  $ET$ .

$$T_s = Et \left[ \frac{P_s}{100} + 0.15 \left( 1.0 - \frac{P_s}{100} \right) \right] \quad [13]$$

Donde:

$Et$  = Evapotranspiración estacional (período de tiempo en; L

## 2.6 REQUERIMIENTOS DE RIEGO

### 2.6.1 La Lámina Neta ( $L_n$ )

Se estima mediante la siguiente ecuación:

$$L_n = T_d \times F_i \quad [4]$$

Donde:

$L_n$  = Lámina neta de riego en; L

$T_d$  = Tasa promedio máxima diaria de transpiración para el mes pico; [ $LT^{-1}$ ]

$F_i$  = Frecuencia de riego; [T]

Con propósitos de diseño  $T_d$  se toma para el cultivo maduro o de máximo desarrollo ( $P_s$  máximo) y puede ser tenido en cuenta para seleccionar el tamaño de la red de tubería, no obstante la lámina neta deberá ser menor o igual que la lámina neta máxima de riego es decir:  $L_n \leq L_{max}$ .

### 2.6.2 La Lámina Bruta ( $L_b$ )

Cuando las pérdidas de agua inevitable son mayores que los requerimientos de lavado se calcula como:

$$L_b = \frac{L_n \cdot Tr}{EU/100} \quad [15]$$

Donde:

$Tr$  = Relación de transpiración para el período pico ( $T_d$  transpiración real)

$EU$  = Uniformidad de emisión en %

La ecuación 15 debe cumplir que  $Tr \geq 1/(1.0 - LR)$  ó  $LR \leq 0.1$ , en donde:

$LR$  = Relación de requerimiento de lavado en riego por goteo.

En caso contrario si  $Tr < 1/(1.0 - LR)$  y  $LR > 0.1$ ; la lámina bruta se puede estimar como:

$$L_b = \frac{L_n}{EU/100 (1.0 - LR)} \quad [16]$$

$Tr$  es la relación entre la lámina de agua aplicada al suelo donde  $Tr$  es exactamente satisfecha a la lámina de agua transpirada, algunos valores utilizados con fines de diseño son:

a)  $Tr = 1.0$

En suelos donde se desarrollan patrones de raíces profundos ( $> 150$  cm), exceptuando suelos muy porosos como gravas; cultivos de raíces medias (70 - 150 cm) sobre suelos de texturas medias y finas; y para cultivo de raíces superficiales ( $< 70$  cm) sobre suelos de texturas finas.

b)  $Tr = 1.05$

En cultivos con raíces profundas sobre suelos gruesos tipo grava; cultivos

de raíces medias sobre suelos de textura arenosa; y cultivos de raíces superficiales sobre suelos de textura media.

c)  $Tr = 1.10$

Cultivos de raíces medias sobre suelos de textura gruesa (gravillosos); o cultivos de raíces superficiales sobre suelos de texturas arenosas.

La uniformidad de emisión (EU) describe la variación del caudal del gotero a lo largo de una línea lateral; y puede calcularse como:

$$EU = 100 \left( 1 - 1.27 V \right) \frac{qn}{qa} \quad [17]$$

Donde:

$V_s$  = Coeficiente de variación de fabricación (suministrado por el fabricante)

$qn$  = Caudal mínimo del gotero (l.p.h.) correspondiente a la presión mínima en el sistema.

$qa$  = Caudal de diseño del gotero (l.p.h.)

La relación de requerimiento de lavado (LR) para riego por goteo se calcula como:

$$LR = \frac{CE_w}{CE_{dw}} \quad [18]$$

Donde:

$CE_w$  = Conductividad eléctrica del agua de riego en ds/m.

$CE_{dw}$  = Conductividad eléctrica del agua de drenaje (o percolación profunda) en ds/m.

$P_s$  representa la cantidad mínima de agua, en términos de fracción de lámina aplicada, que debe pasar por la zona de raíces para prevenir incrementos en salinidad.

## 2.7 EL VOLUMEN BRUTO DE AGUA REQUERIDO POR PLANTA POR DÍA ( $V_b$ )

Es usado para seleccionar el diseño y caudal del emisor y se obtiene como:

$$V_b = \frac{0.823 Sp Sr Lb}{Fi} \quad [19]$$

En donde:

$V_b$  = Cantidad de agua total requerida por la planta por día en gal/día

$Sp$  = Distancia entre plantas en pies

$Sr$  = Distancia entre hileras de plantas en pies

$Lb$  = Lámina bruta de riego en pulgadas

$Fi$  = Frecuencia de riego en días.

En unidades métricas la fórmula 19 se convierte en:

$$V_b = \frac{Sp Sr Lb}{Fi} \quad [20]$$

Donde:

$V_b$  = Está en unidades de litros/día

$Sp$  = En metros

$Sr$  = En metros

$Lb$  = En milímetros

$Fi$  = En días

## 2.8 LA LAMINA DE RIEGO ANUAL ( $LNa$ )

Involucra los requerimientos por evapotranspiración durante el período de cultivo los cuales se ven reducidos por el agua almacenada en el suelo después de un período lluvioso y la lluvia efectiva durante el período de crecimiento del cultivo. Puesto que la humedad proveniente de la precipitación cubre toda el área es mejor sustraer de ET que de  $T_s$ . Así que:

$$LNa = (ET - Pe - Ws) \left[ \frac{Ps}{100} + 0.15 \left( 1.0 - \frac{Ps}{100} \right) \right] \quad [21]$$

Donde:

$Pe$  = Precipitación efectiva en [L]

$Ws$  = Humedad residual almacenada en el suelo después de un período lluvioso en [L]

Para el análisis económico de costos de bombeo se pueden utilizar valores medios de  $Pe$  y  $Ws$ , sin embargo para un análisis de las necesidades de riego y dimensionamiento de embalses de almacenamiento se requiere utilizar un nivel de probabilidad de ocurrencia del 80% o más.

## 2.9 LAMINA BRUTA ESTACIONAL ( $Lbe$ )

Es la lámina total de agua requerida para satisfacer uniformemente los

requerimientos de lavado y pérdidas, se calcula como:

$$L_{be} = \frac{100 L_{ne}}{ES (1 - LR)} \quad [22]$$

Donde:

$L_{be}$  = está en [L]

- a)  $ES (1 - LR) = EU (1.0 - LR)$  si  $TR \leq 1/(1.0 - LR)$  y  $ES = EU$
- b)  $ES (1 - LR) = \frac{EU}{TR}$  si  $TR > 1/(1.0 - LR)$  y las pérdidas de agua son despreciables

$TR$  = Es la relación de transpiración estacional y es dada en la Tabla 5 y

TABLA 5. Relación de transpiración estacional para regiones áridas y húmedas con diferentes suelos y profundidad de raíces.

Región y Profundidad de raíces	TEXTURA			
	Muy Gruesa	Gruesa	Medía	Fina
<b>ARIDA</b>				
0.75 m	1.15 <sup>1/</sup>	1.10	1.05	1.05
0.75 - 1.50 m	1.10	1.10	1.05	1.00
1.50 m	1.05	1.05	1.00	1.00
<b>HUMEDA</b>				
0.75 m	1.35	1.25	1.15	1.10
0.75 - 1.50 m	1.25	1.20	1.10	1.10
1.50 m	1.20	1.10	1.05	1.00

1/ Estos son valores de la relación de transpiración ( $TR$ ) estacional por riego por goteo. Para microaspersores adicione al valor de la tabla 0.05 para zonas húmedas y 0.10 para zonas áridas.

representa el mínimo exceso de agua que podrá aplicarse para rebajar las pérdidas inevitables de percolación. (Lluvia o suelos con movimiento grande del agua en forma horizontal).

$ES$  = Eficiencia de riego estacional que es función de  $EU$  y  $TR$ , pérdidas por escorrentía, escapes, etc.

$LR$  = La relación de requerimiento de lavado de sales (lixiviación) para riego por goteo.

Cuando se utilizan altas frecuencias de riego diaria o cada dos días la  $LR$  se puede calcular como:

$$LR = \frac{CE_w}{2(CE_{e \max})} \quad [23]$$

Donde:

$CE_{e \max}$  = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo que puede reducir el rendimiento totalmente en ds/m. (Tabla 6)

## 2.10 VOLUMEN BRUTO TOTAL ESTACIONAL ( $V_{be}$ )

Es la cantidad total de agua requerida incluyendo pérdidas y requerimientos de lavado de sales para un período o año, se calcula como:

$$V_{be} = \frac{100 L_{ne} A}{12 ES(1.0-LR)} \quad [24]$$

TABLA 6. Valores de la Conductividad eléctrica máxima y mínima del extracto de saturación del suelo para varios cultivos (ds/m)

Cultivo	CEe Min <sup>2/</sup>	CEe max <sup>3/</sup>	Cultivo	CEe min	CEe max
Algodón	7.7	27.0	Maíz	1.7	10.0
Trigo	6.0	20.0	Frijol Arbust.	1.3	8.5
Sorgo	4.0	18.0	Frijol Volub.	1.0	6.5
Palma Africana	4.0	32.0	Uva	1.5	12.0
Toronja	1.8	8.0	Ciruela	1.5	7.0
Naranja	1.7	8.0	Mora	1.5	6.0
Limón	1.7	8.0	Aguacate	1.3	6.0
Manzana y Pera	1.7	8.0	Cereza	1.0	5.5
Durazno	1.7	6.5			
Remolacha	4.0	15.0	Pimentón	1.5	8.5
Tomate	2.5	12.5	Lectuga	1.3	9.0
Pepino	2.5	10.0	Rábano	1.2	9.0
Melón	2.2	16.0	Cebolla	1.2	7.5
Espinaca	2.0	15.0	Zanahoria	1.0	8.0
Repollo	1.8	12.0	Habichuela	1.0	6.5
Papa	1.7	10.0			

1/ Tomado de SCS. National Engineering Hand Book, Section 15, Trickle irrigation by Jack Keller. 1980.

2/ CEe min que no produce reducción en el rendimiento

3/ CEe max que no produce un 100% de reducción del rendimiento.

## BIBLIOGRAFIA

1. AVIDAN, A. 1980. Riego por Goteo. Ministerio de Agricultura, Departamento de Capacitación para el Exterior. Tel-Aviv, Israel. 54 p.
2. BLAIR, E. 1979. Riego por Goteo. III Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo. Campinas, Sao Paulo. Brasil 23 p.
3. CABRERA, I.A. y HERNANDEZ, P. P. 1979. Riego por Goteo. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones en Riego y Drenaje, Boletín de reseñas Nº 1. La Habana. Cuba. 59 p.
4. FAO. 1974. Riego por Goteo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
5. KELLER, J. 1980. Trickle Irrigation. S.C.S. National Engineering Handbook, Section 15, Irrigation, Chapter 7. 281 p.
6. RIEGOS ARTIFICIALES DE COLOMBIA. 1984. Catálogos Comerciales de Productos. Bogotá, Colombia. 25 p.
7. ROJAS, P. H. 1981. Notas de Clase. Curso Internacional sobre Métodos de Riego. HIMAT. Estado de Israel. Bogotá, Colombia.
8. TUPLA. (S. F.). Sistemas de Riego por Goteo "Doble Ducto". División Agrícola, Boletín Técnico. Caracas, Venezuela. 38 p.

## 5. EXPERIENCIAS DEL ICA EN RIEGO POR GOTEO

Por: J. Antonio Forero S.\*

### 5.1 INTRODUCCION

La participación del sector agropecuario en el Producto Interno Bruto (PIB) de la economía colombiana, representa el 22.7% aproximadamente. A pesar de que a partir de 1981, se han venido experimentando tasas negativas de crecimiento del PIB per cápita, conviene señalar que el sector agropecuario, aunque en forma moderada, ha contribuido al sostenimiento de tasas positivas de crecimiento del PIB total. Por otra parte, del valor total de bienes exportados, más del 70% provienen del sector, lo cual indica claramente que la agricultura es para Colombia el pilar de su economía.

A través de la evolución socio-económica del país, se han podido identificar plenamente dos sectores agrícolas: el moderno y el tradicional o de subsistencia. El primero de ellos cuenta con recursos de suelo y agua de una elevada productividad, tiene oportuno acceso a fuentes de financiación para sus procesos productivos, sus agricultores pueden absorber con gran facilidad los cambios tecnológicos, recibe el apoyo de políticas de mercado y puede a menudo involucrar dentro de sus planes de producción, bienes capaces de competir en los mercados internacionales.

El sector tradicional por el contrario, está caracterizado por escasez de recursos de tierra y agua, presenta altas tasas de analfabetismo y deserción escolar, no solamente es carente de tecnología sino que exhibe un alto grado de dificultad para asimilarias; el subempleo, la desnutrición y un bajo nivel de ingresos, son en general el flagelo que mina el desarrollo del pequeño campesino. Resulta sin embargo desconcertante el hecho de que pese a la pobreza de los recursos productivos, sea el sector minifundista el que abastece más del 55% de los alimentos que conforman la canasta familiar colombiana.

---

\* I. A. Ph. D. Director Nacional Programa Manejo de Aguas, ICA. Apartado Aéreo 151123 Bogotá, Colombia.

El distanciamiento tecnológico que existe entre los dos sectores agrícolas, se suma al distanciamiento nutricional. El Estudio Nacional de Salud más reciente, llevado a cabo en 1982, examinó el estado de nutrición de todos los niveles de urbanización de la población colombiana. Entre los resultados alarmantes del estudio, conviene señalar el hecho de que los índices de desnutrición de la población rural masculina adulta, se han duplicado. Las cifras provenientes de los muestreos realizados en el período 1977-80, revelan deficiencias nutricionales en el 16% de los hombres del campo, en el 12.6% de los hombres de ciudad y en el 11.7% de los hombres de centros urbanos menores. Al comparar estas cifras con las del estudio efectuado en el período 1965-66, puede observarse un incremento del 19.2% de la población rural masculina subnutrida, en tanto que las cifras incrementales correspondientes a los sectores urbanos menores y mayores son de 11.4% y 43.2% respectivamente. Por otra parte, en cuanto a la población infantil menor de 5 años, se ha encontrado que el 47.8% en el sector rural presenta desnutrición, mientras que en la ciudad, la cifra correspondiente es inferior al 30%.

Para hacer frente a la problemática en que se encuentra envuelta la familia del pequeño agricultor, es necesario contar con lineamientos claros y precisos de una política social que integre acciones en favor del desarrollo campesino. Trazarlos no ha sido tarea fácil; especialmente si se tiene en cuenta la tradicional falta de un consenso entre dirigentes políticos y gremiales. No obstante, el Gobierno Nacional ha concebido estrategias orientadas a mejorar las condiciones de nutrición, salud y educación, propiciando a la vez un mejor nivel de ingresos para el sector minifundista. Dentro de estas políticas, el Instituto Colombiano Agropecuario ICA, ha hecho esfuerzos dirigidos a la introducción de tecnologías apropiadas que impriman una mayor dinámica a la producción agrícola. Fue así como a partir de 1975 se introdujo el riego por goteo en la producción hortícola, seleccionando para las fases experimental y demostrativa, predios representativos de la problemática del sector minifundista. Posteriormente, en 1980, el ICA junto con la Universidad Nacional, iniciaron trabajos de mejoramiento en el diseño y evaluación de microaspersores de giro rápido, con el fin de presentar una nueva alternativa para la pequeña agricultura bajo riego.

Los resultados hasta ahora obtenidos mediante el riego por goteo son ampliamente satisfactorios. De la microaspersión, cuya utilización extensiva en zonas minifundistas es muy reciente, se espera en igual forma contar con resultados halagadores en un futuro próximo.

## 5.2 FASE EXPERIMENTAL

A partir de un diagnóstico general de los problemas que afectan al pequeño agricultor, se seleccionaron predios representativos teniendo en cuenta los distintos pisos térmicos y localizándolos en zonas caracterizadas por un elevado grado de aridez, aunque aptas para la producción de especies hortícolas de importancia económica para el país.

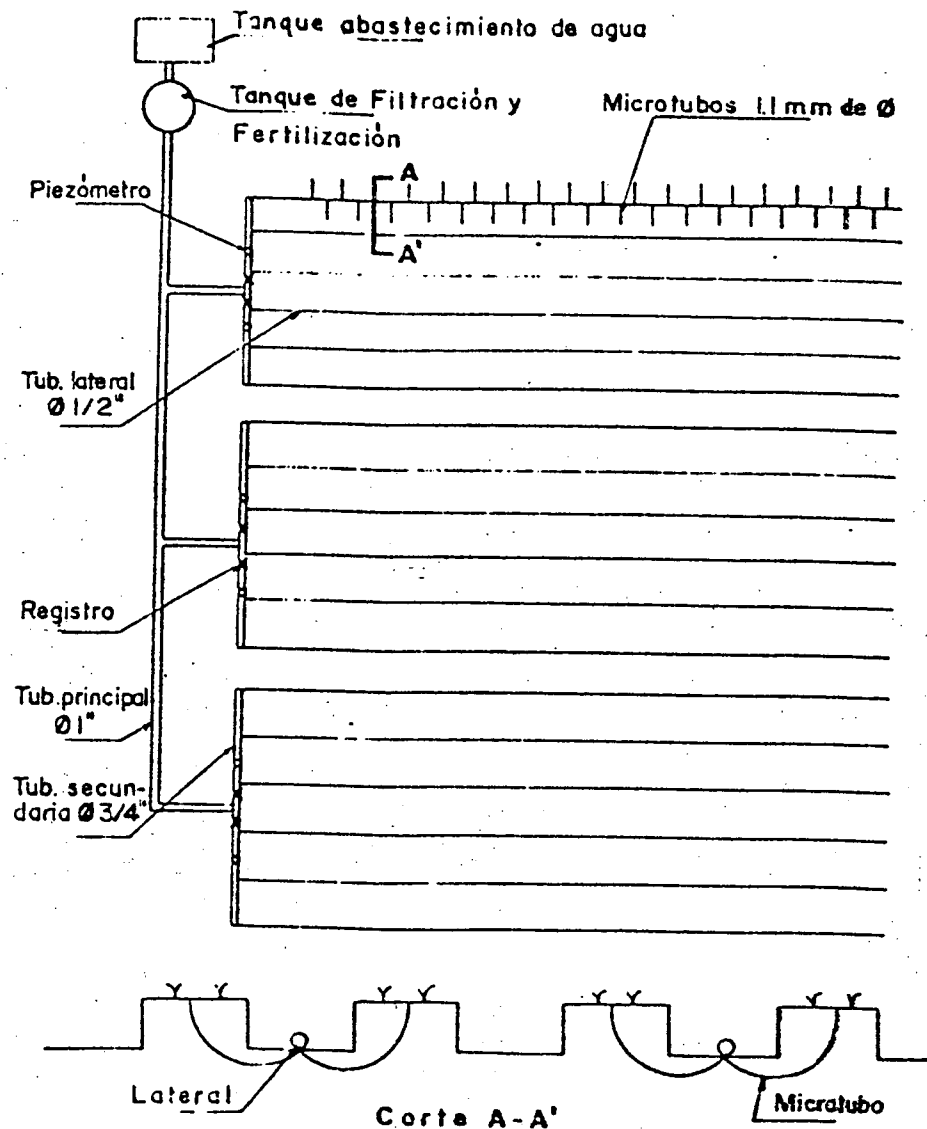
La frecuencia diaria en riego por goteo, se conocía como la más productiva, de acuerdo con trabajos ejecutados en otras latitudes. Sin embargo, se consideró importante iniciar con una comprobación de frecuencias, haciendo simultáneamente los ajustes tecnológicos que requería la introducción de esta tecnología a un sector que como el minifundista, exhibe notorias dificultades para aceptación del cambio tecnológico. Hecha esta comprobación, se procedió a dar comienzo a la fase experimental propiamente dicha, con miras a encontrar láminas óptimas de riego por goteo para distintas especies hortícolas, en diferentes pisos térmicos. De acuerdo con las condiciones climáticas y las preferencias del agricultor de las distintas zonas minifundistas, se seleccionaron las siguientes especies hortícolas: tomate, pepino cohombro, pimentón, melón, cebolla de bulbo, habichuela, arveja, remolacha, repollo, lechuga, coliflor, fresa, papa, espinaca, frijol, acelga y zanahoria.

### 5.2.1 Disposición del sistema de Riego por Goteo

La Figura 1 muestra la disposición típica del sistema de riego por goteo que ha sido utilizada en todos los experimentos y para las distintas especies hortícolas. Esta disposición permite realizar con facilidad las labores de cultivo y cosecha y puede ser utilizada para las diversas hortalizas mencionadas anteriormente. En esta forma, el pequeño agricultor puede programar una adecuada rotación de cultivos, según sus necesidades y las tendencias del mercado.

Uno de los factores que despiertan temor en el pequeño agricultor, es la inversión inicial que representa el montaje del sistema. Por esta razón, al introducir al sector minifundista una alta tecnología como la que encierra el método de riego por goteo, se le ha dado una configuración lo más elemental posible, que a la vez que represente un mínimo costo, garantice adecuada funcionalidad.

En la región andina por ejemplo, existe gran cantidad de pequeños predios relativamente cercanos a fuentes fluviales, a los cuales el abastecimiento de agua por bombeo convencional sería bastante costoso, dadas las condi-



**FIGURA I.**  
**DISPOSICION TIPICA DE UN SISTEMA DE RIEGO**  
**POR GOTEO EN ZONAS DE MINIFUNDIO**

ciones topográficas existentes. En algunos de estos predios, el abastecimiento de agua confines de riego por goteo, se hace por medio de bombas reciprocantes de cuatro pistones. Estas bombas aunque se encuentran en periodo de mejoramiento y evaluación, han presentado una buena alternativa de solución frente a la actual crisis energética, a más de que se han acondicionado bien a los requerimientos de bajo caudal y grandes diferencias del nivel. Hasta ahora, han abastecido con relativo éxito pequeños predios de riego por goteo, localizados a alturas hasta de 80 metros con relación a la fuente de abastecimiento. Además, sus componentes son tan elementales que pueden construirse en cualquier pequeño taller, como efectivamente se ha venido haciendo.

En este tipo de sistemas, el agua se almacena en tanques construidos en tierra y protegidos con polietileno para impedir pérdidas por infiltración y para evitar la contaminación física del agua. A la salida del tanque de almacenamiento se dispone un tanque de filtración, cuyo elemento filtrante consiste simplemente en 2-3 capas de gravilla gradada y una capa de arena lavada. En este mismo tanque se depositan los fertilizantes según las dosis recomendadas en cada caso.

Las tuberías que se han venido utilizando son de polietileno calibre 40. La disposición de las líneas laterales que se observa en la Figura 1, permite reducir a la mitad su número y costo, con relación a los procedimientos convencionales.

A pesar de que los microtubos han sido señalados en muchas oportunidades como los emisores más desventajosos desde el punto de vista de propensión a obstrucción, no se ha registrado problema alguno, aún cuando los filtros utilizados son rudimentarios. Por otra parte, no podría compararse su costo con el de emisores altamente sofisticados, especialmente en cuanto a disipación de energía se refiere.

Todos los materiales y equipos utilizados en sistemas de riego por goteo en zonas de minifundio, son de fabricación nacional y por esta razón presentan una ventaja económica frente a los materiales y equipos importados.

### 5.2.2 Metodología

Como parte inicial del proceso experimental, se ha hecho acopio en todos los casos de la información básica requerida: textura y profundidad de los suelos en los distintos estratos, densidad aparente y capacidad de retención de humedad del suelo, la función de infiltración del suelo, fertilidad y salinidad de los suelos, régimen pluviométrico y evaporación, cali-

dad del agua para riego, topografía del terreno, etc.

Reunida la información básica, se ha procedido al diseño hidráulico del sistema. Debe aclararse en este sentido, que las ecuaciones ampliamente conocidas sobre pérdidas de energía, no han resultado válidas para el tipo de tuberías de polietileno de fabricación nacional que se están utilizando; por esta razón se adelantan evaluaciones hidráulicas que permitan en un futuro definir ecuaciones acordes con la calidad del material. Los controles de presión de entrada se ejercen mediante piezómetros de plástico transparente, para minimizar los costos. En el montaje del sistema hay activa participación del agricultor, quien recibe instrucciones básicas sobre funcionamiento y manejo.

El diseño experimental más comúnmente utilizado ha sido el de bloques al azar. Se han estudiado diferentes módulos de riego con miras a encontrar el óptimo para cada cultivo. Los módulos de riego se han definido con base en factores K de la evaporación del tanque tipo "A". Dependiendo del clima y la especie vegetal, se han probado los siguientes factores: 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.25 y 1.50. En todos los casos se ha utilizado la frecuencia diaria e igual manejo agronómico, con el fin de no introducir ninguna otra variable distinta a los módulos de riego. En los períodos con cierto grado de pluviosidad, se han hecho comparaciones con testigos en los cuales se ha utilizado la forma tradicional de cultivo propia del pequeño agricultor.

La información de campo es reunida por el agricultor en su gran mayoría. Es él quien hace las lecturas en el tanque evaporímetro y en el pluviómetro y de tablas de equivalencias que le han sido previamente preparadas, puede tomar el tiempo de riego por tratamiento o su correspondiente volumen de agua y proceder a la aplicación del riego. El efecto de los módulos de riego sobre la producción, se ha estudiado mediante análisis de varianza y pruebas comparativas como la de Student-Newman-Keul.

Se han hecho algunos estimativos sobre la rentabilidad que puede representar para el pequeño agricultor, la explotación hortícola bajo riego por goteo. Para ello se han tomado como base los resultados de los mejores tratamientos y una hectárea como unidad de producción continua. Se han constituido en costos fijos: el tanque de almacenamiento de agua, el tanque de fertilización, el contador volumétrico de agua, las tuberías y microtubos de polietileno, los accesorios galvanizados, la unidad de bombeo recíprocante o la motobomba según el caso y el arrendamiento de la tierra. Como costos variables se han considerado los correspondientes a mano de obra requerida para la instalación y operación del riego, las labores de

tipo agronómico y su mano de obra, los fertilizantes y pesticidas, los aceites y combustibles, etc.

Para el cálculo del costo fijo anual, se ha estimado una vida útil de 10 años para la motobomba, tanques y accesorios galvanizados y de 5 años para los materiales de polietileno. Para todos los casos se ha asignado un valor de salvamento del 0%.

Se ha establecido finalmente la relación beneficio/costo, teniendo en cuenta los ingresos brutos/año y los costos fijos y variables/año, para una producción continua.

### 5.3 RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo con el planteamiento general de producción hortícola durante todo el año, se han obtenido resultados en respuesta al riego por goteo como único recurso hídrico durante la época de sequía, a la vez que resultados para el caso del empleo del riego por goteo suplementario, en la época de lluvias. La Tabla 1 muestra algunos resultados obtenidos durante épocas de sequía y la Tabla 2 ilustra sobre respuesta al riego por goteo como suplemento de las lluvias.

Los datos sobre producción media de las diferentes zonas que aparecen en la Tabla 1, corresponden a la agricultura tradicional, es decir a producciones durante la época de lluvias, puesto que el pequeño agricultor no cultiva su predio en la época de sequía.

Como se puede observar en la Tabla 1, existen algunos valores de relación beneficio/costo (B/C); se refiere a aquellos casos en que se pudo hacer un seguimiento detallado sobre los flujos de dinero ocasionados por el manejo de los cultivos.

Con relación a la Tabla 2, en la zona de Cáqueza se registra un período de siete meses en los cuales ocurre el 90% de la precipitación anual. Esta precipitación sin embargo, presenta una pobre distribución y por esta razón el riego por goteo como suplemento de las lluvias, ha mostrado incrementos significativos en la producción hortícola de la zona.

### 5.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La influencia del método de riego por goteo en la explotación hortícola del minifundio colombiano, ha demostrado que es una alternativa de solución de los problemas que afectan a la familia campesina, por cuanto pueden

TABLA 1. Algunos resultados de producción hortícola bajo riego por goteo durante períodos secos del año

Cultivo	Localización	Evap. media diaria durante el período mm	K	Produc. media de la zona t/ha	Prod. con goteo t/ha	B/C
Tomate "Chonto"	Cáqueza	5.13	0.70	12.0	21.7	2.66(*)
			0.90		22.4	
			1.10		19.9	
Tomate "Roma"	San Juan del Cesar	8.93	0.70	17.0	28.9	
			0.90		28.3	
			1.10		27.0	
Tomate "Manapal"	Cáqueza	5.40	0.70	13.0	11.8	
			0.90		13.1	
			1.10		21.6	
Tomate "Manapal"	Soatá	5.00	1.00	20.5	53.7	4.50
			1.25		46.9	
			1.50		46.0	
Pimentón "Cal.wonder"	San Juan del Cesar	8.80	0.70	15.0	18.0	
			0.90		17.0	
			1.10		15.0	
Pepino Cohombro	San Juan del Cesar	8.80	0.70	15.0	16.0	
			0.90		19.0	
			1.10		16.0	

\* Relación B/C para rotación de tomate "Chonto", cebolla "Yellow granex" y habichuela "Blue Lake" en 1 Ha.

TABLA 1. Continuación

Cultivo	Localización	Evap. media diaria durante el período mm	K	Produc. media de la zona t/ha	Produc. con goteo t/ha	B/C
Melón	San Juan del Cesar	8.80	0.70	**	29.0	
			0.90		25.0	
			1.10		20.0	
Remolacha "Crosby's Egyptian"	Cáqueza	5.20	0.70	11.9	14.0	
			0.90		13.4	
			1.10		14.9	
Lechuga "Calamar"	Tunja	3.00	0.60	15.0	38.4	3.22
			0.80		50.0	
			1.00		52.0	
Coliflor "Bola de Nieve Temprana"	Tunja	3.00	0.70	9.0	19.7	1.42
			0.90		25.2	
			1.10		27.0	
Fresa "Tioga Californiana"	Cota	3.00	0.70	24.0	24.0	
			0.80		33.7	
			0.90		43.4	
			1.00		49.8	
			1.10		43.6	
			1.20		39.4	

\*\* No existe información en la zona.

TABLA 1. Continuación

Cultivo	Localización	Evap. media diaria	K	Prod.	Prod. con	B/C
		durante el período		media de	goteo	
		mm		la zona	t/ha	
				t/ha	t/ha	
Cebolla "Yellow Granex"	Cáqueza	5.10	0.9	13.0	24.0	
Papa "ICA-SnJorge"	Tunja	3.00	0.9	16.4	33.2	
			1.0		39.4	
			1.1		47.4	2.96
			***		32.3	2.25
Espinaca "Viroflay"	Tibaitatá	3.20	0.9	18.2	24.4	
Lechuga "White Boston"	Tibaitatá	3.20	1.1	37.7	54.6	
Zanahoria "Chantenay"	Tibaitatá	3.30	0.7	20.9	35.0	
Coliflor "Bola de Nieve temprana"	Tibaitatá	3.20	0.9	23.0	61.6	
Repollo "Copenhaguen Market"	Tibaitatá	3.20	1.1	88.5	172.1	
Acelga "Penca Verde"	Tibaitatá	3.20	0.9	28.2	77.6	
Remolacha "Crosby's Egyptian"	Tibaitatá	3.20	1.1	33.9	63.7	

\*\*\* Bajo riego por aspersión con un factor de agotamiento del 50%

TABLA 2. Rendimientos obtenidos usando el riego por goteo como suplemento en la producción de algunas hortalizas, Precipitación media mensual mayo-octubre de 111 mm Cáqueza 1978.

Cultivo	Producción con precipitación t/ha	Producción con precipitación + riego por goteo	Lámina suplementaria mm	Nº de riegos	Ciclo vegetativo días
Habichuela "Blue Lake"	15.6	20.5	40	8	88
Tomate "Manapal"	13.4	17.8	49	11	120*
Arveja "Guatemana"	3.0	5.2	157	46	105
Cebolla "Yellow Granex"	14.6	17.9	157	46	105*
Repollo "Copenhaguen Market"	Sin testigo	41.4	163	46	110*

\* Después del transplante

aportar los siguientes beneficios:

- ° Mejor nivel de nutrición al propiciar la inclusión de las hortalizas en la dieta alimenticia campesina.
- ° Fortalecimiento de la estructura familiar campesina, por cuanto los predios pueden ser cultivados durante todo el año, impidiendo así el abandono de los mismos durante el período de sequía.
- ° Menor distanciamiento de los dos sectores agrícolas, el moderno y el minifundista, al lograr que este acepte y haga uso de tecnología agrícola que le permita ingresar al mercado con precios más competitivos.
- ° Mejor nivel de ingresos en todas sus consecuencias favorables, al poderse explotar los pequeños predios con alta rentabilidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos se hacen las siguientes recomendaciones:

- ° Introducir el riego por goteo como rubro de crédito a mediano plazo, dentro de las políticas crediticias del gobierno hacia el pequeño agricultor, para que él pueda hacer uso de esta tecnología.
- ° Hacer ensayos con aquellas especies hortícolas importantes no incluidas hasta ahora y extender el uso del método de riego por goteo a las explotaciones frutícolas del minifundio.
- ° Fortalecer aún más la transferencia de tecnología al pequeño agricultor, mediante nuevos programas de radio y televisión, días de campo, plegables, etc.

## 5.5 RESUMEN

Se introdujo la tecnología del riego por goteo a explotaciones hortícolas del minifundio colombiano, mediante un proceso experimental llevado a cabo directamente en predios representativos de la problemática general de escasez de recursos de tierra y agua. Los resultados obtenidos indican que el riego por goteo puede constituirse en una alternativa de solución de los problemas del pequeño agricultor, desde el punto de vista socio-económico.

## BIBLIOGRAFIA

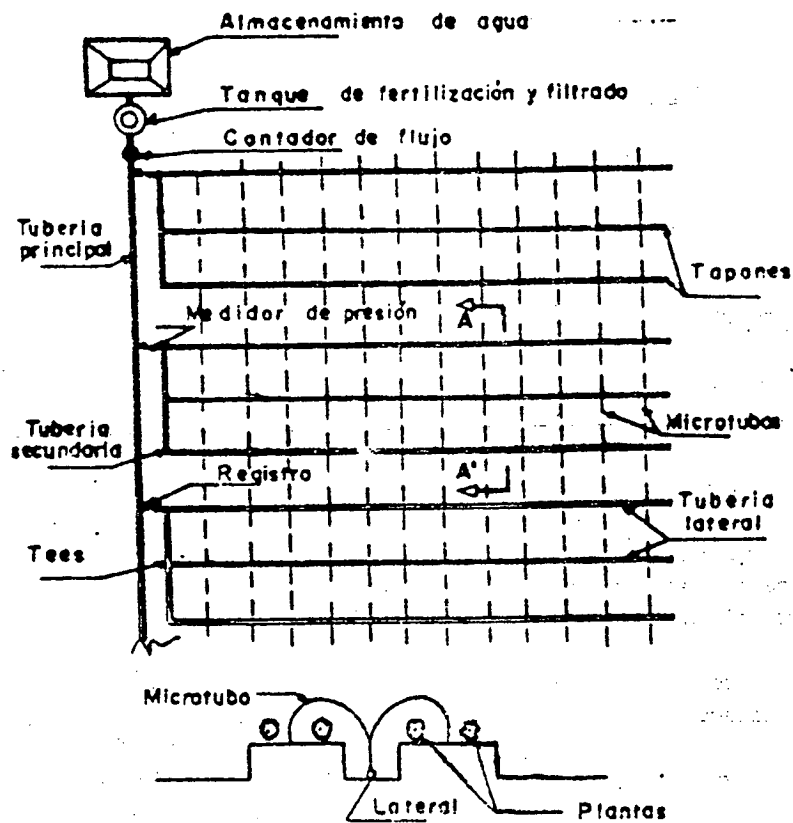
1. ACOSTA, C.E. y SARMIENTO, N.D. Evaluación de aspersores de giro rápido y mejoramiento del diseño para su utilización en zonas de minifundio. Proyecto ICA-UN. Tesis Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1980. 170 p.
2. BENAVIDES, B.O. Módulo de riego por goteo en fresa (Fragaria chiloensis var. Tioga Californiana). Proyecto ICA. Tesis M. S. UN-ICA. Bogotá, 1979. 79 p.
3. CARDONA, P.H. y TOVAR, R.H. Determinación de la lámina de riego por goteo en el cultivo del coliflor (Brassica oleraceae). Proyecto ICA-UPTC. Tesis Agronomía UPTC. Tunja-Colombia. 1978. 62 p.
4. CASTRO, G.G. La política agropecuaria-Memoria al Congreso. 1983-1984. Anexo. Ministerio de Agricultura. Ed. Información y Prensa Min-agricultura. Bogotá. 1984. 343 p.
5. FORERO, S.J.A. Informe anual de actividades. Programa de Recursos de Agua y Tierra. Documento 00-6-041-ICA. Bogotá. 1978. 77 p.
6. FORERO, S.J.A.; GUTIERREZ, P.J. y MARTINEZ, A.R. Determinación de lámina de riego por goteo en la lechuga (Lactuca sativa L. var. Calmar). Revista ICA. Vol. XIV, Número 1. Bogotá, 1979. 51-62 p.
7. GUERRERO, M.M.C. y OLIVEROS, U.A.A. Riego por goteo y por aspersión en la producción de papa (Solanum tuberosum L. var. ICA-San Jorge). Proyecto ICA-UPTC. Tesis Agronomía UPTC. Tunja, 1980. 110 p.
8. LOPEZ, M.A. Para cerrar la brecha. Plan de desarrollo social, económico y regional. 1975-1978. Departamento Nacional de Planeación. Ediciones Banco de la República. Talleres gráficos. Bogotá. 1975. 205 p.
9. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Bogotá (Colombiano). Situación social de la población rural colombiana 1970-1983. Bogotá. sf. 116 p.
10. SOCIEDAD DE AGRICULTORES DE COLOMBIA. Revista Nacional de Agricultura Nº 867 Junio 1984. Editorial Canal Ramires Antares. Bogotá. 1984. 192 p.

11. SUAREZ, M.G. Informe anual de labores. Grupo multidisciplinario de hortalizas y tuberosas. Regional Uno. Documento CO-6-032 ICA, Bogotá. 1-78. 18 p.
12. SUAREZ, M.G. Riego por goteo y aumento la producción agrícola. Boletín divulgativo ICA, Ed. ICA Tibaitatá. Bogotá. 1983. 11p.

PROGRAMA MANEJO DE AGUAS - ICA  
DISPOSICION TIPICA DE UN SISTEMA ICA - DE RIEGO POR GOTEO  
PARA HORTALIZAS EN ZONAS DE MINIFUNDIRIO

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
Tanque 1.000 litros	Unidad	2
Registro de 1 1/2"	Unidad	2
Registro de 1/2"	Unidad	42
Tee galvanizado de 1 1/2" x 1/2"	Unidad	18
Tee galvanizado de 1 1/2"	Unidad	2
Codo galvanizado de 1 1/2"	Unidad	1
Reducción copa galvanizado 1" x 1 1/2"	Unidad	2
Niples galvanizados de 1 1/2" x 8"	Unidad	50
Codos galvanizados de 1 1/2" x 1/2"	Unidad	3
Niples galvanizados de 1/2" x 6"	Unidad	21
Manguera de 2" polietileno negro	Metros	400
Manguera de 3/4" polietileno negro	Metros	300
Manguera de 1/2" polietileno negro (peso del rollo de 100 m. no inferior a 12 kg)	Metros	4.100
Manguera transparente de 1/4"	Metros	84
Microtubo polietileno negro 1.1 mm	Kilogramo	112
Adaptador macho PVC de 1/2" con inserto 3/4"	Unidad	84
Codo de 1/2" con insertos de 3/4" y 1/2" PVC	Unidad	42
Tee de 3/4" x 3/4" x 3/4" PVC	Unidad	21
Tee reducida de 3/4" x 3/4" x 1/2" PVC	Unidad	84
Tapones de 1/2" PVC	Unidad	126
Alambre galvanizado calibre 14	Kilogramo	6
Motor eléctrica 1/3 HP con bomba para 17 pies de cabeza dinámica total y 26 galones por minuto.	Unidad	1





CORTE A - A'

GURA 1. Elementos de un sistema de Riego por Goteo

- Tanque de almacenamiento de agua
- Tanque de fertilización y filtrado
- Contador de flujo de agua
- Tubería principal
- Tubería secundaria
- Medidores de presión (Piezómetros)
- Tubería lateral

- 8. Microtubos (goteros)
- 9. Registros
- 10. Accesorios (tees, abrazaderas, tapones, nipples)

### 6.3. VENTAJAS

1. Ahorro en cantidad de agua, ya que no hay desperdicio; el agua se aplica directamente a la zona de raíces de cada planta.
2. Mayor productividad del cultivo
3. Aceleración del crecimiento de las plantas
4. Ahorro de fertilizantes. La aplicación periódica de dosis pequeñas de fertilizantes solubles con el agua de riego, permite una mayor disponibilidad de los nutrientes para las plantas en los períodos vegetativos más críticos.
5. Menor crecimiento de malezas: debido a que no se moja toda el área sino solamente la de cada planta que nos interesa. Representa economía.
6. Posibilidad de cultivar en cualquier tipo de suelo y clima.
7. Posibilidad de usar agua salina, debido a que el suelo permanece a capacidad de campo y la planta no requiere hacer esfuerzos grandes para tomar el agua que necesita.
8. Mayor eficiencia en la aplicación de fitoquímicos: al no haber humedecimiento del follaje hace que disminuya el ataque de enfermedades y se evite el lavado de los insecticidas, fungicidas y abonos foliares, lo cual trae como consecuencia una reducción en el número de aplicaciones.
9. Menor empleo de mano de obra en las diferentes labores del cultivo.

### 6.4 LIMITACIONES

1. El costo inicial es elevado
2. Se pueden presentar obstrucciones o taponamientos en los goteros. Esto

se soluciona empleando un filtro adecuado.

3. El sistema requiere un buen diseño para garantizar la distribución uniforme del agua.

## 6.5 COMPONENTES DEL SISTEMA

Es requisito esencial para el riego por goteo, contar con una fuente continua de agua durante todo el año.

Si la fuente de agua está situada en la parte baja de la finca, es necesario bombear el agua y subirla a la parte más alta del terreno donde se quiera instalar el sistema de riego. Figura 2.

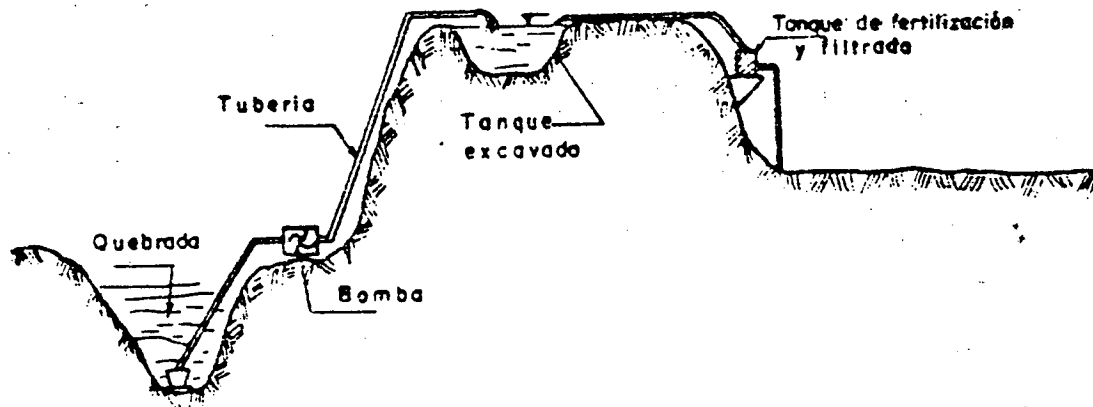


FIGURA 2. Bombeo de la fuente de agua al tanque de almacenamiento.

- El agua bombeada es depositada en un tanque de almacenamiento. Este puede ser excavado en el suelo y recubierto con plástico negro para evitar que el agua se infiltre, o también, puede elevarse y construirse en cemento u otro material. El volumen del tanque depende del área a regar.

Es conveniente colocarle tapa al tanque para evitar la evaporación, la entrada de elementos extraños y contaminación del agua.

Por diferencia de altura, el agua se puede conducir del tanque de almacenamiento al tanque de fertilizantes y filtrado a través de una manguera de polietileno. Figura 3.

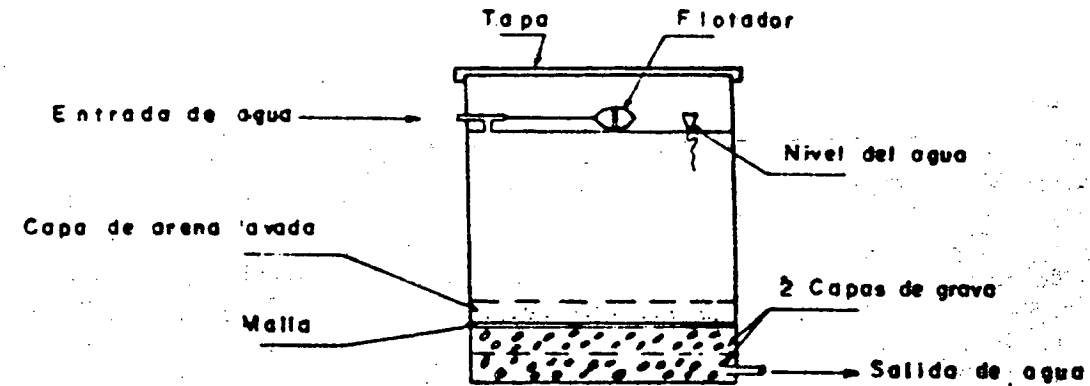


FIGURA 3. Tanque de fertilizantes y filtrado

Este tanque de fertilizantes y filtrado lleva por dentro 2 capas de grava y una capa de arena, las cuales tienen cada una un espesor de 5 centímetros; entre las capas de grava y arena se coloca una malla plástica con aberturas de 0.5 milímetros de diámetro, esto con el fin de ayudar el filtrado y la limpieza del tanque, además, al tanque se le pone un regulador automático de flotador para controlar el nivel del agua. La cantidad de material filtrante está en función de la calidad del agua.

El agua al seguir su recorrido por la parte inferior del tanque de fertilizantes y filtrado pasa por un contador de caudal. Este contador se emplea para controlar y medir la cantidad de agua que se va a aplicar a las plantas en un área determinada. Figura 4.

Del contador de flujo, el agua pasa por la tubería principal (manguera de polietileno de una pulgada de diámetro) a la tubería secundaria (manguera.

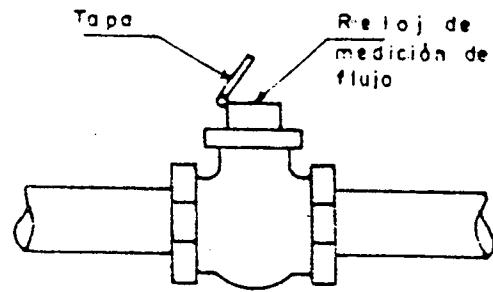


FIGURA 4. Contador de flujo de agua

de polietileno en 3/4 de pulgada) y de ahí pasa a la tubería lateral (manguera de polietileno de 1/2 pulgada de diámetro), saliendo por los microtubos o goteros (mangueritas de 1.1 milímetros de diámetro interno) hacia el suelo cercano a la raíz de las plantas que se quieren regar. Figura 5.

Los microtubos se insertan a presión en la tubería lateral y generalmente van espaciados entre sí 20 centímetros. La longitud de cada microtubo oscila entre 0.80 y 1.0 metro con el fin de obtener caudales de aproximadamente 2 litros/hora.

Para su operación el sistema necesita de instrumentos de control y medida. Para controlar el caudal se emplean llaves o registros y para medir la presión se usan los piezómetros (tubitos de manguera transparente), insertados convenientemente a lo largo de la red de mangueras los cuales indican la presión de funcionamiento del sistema o altura de agua en esos sitios.

## 6.6 CALCULO DE LAS LAMINAS DE AGUA A APLICAR

Cuando no se dispone del contador de flujo o se quiere obviar la compra del mismo, se pueden usar las siguientes expresiones que permiten calcular fácilmente los requerimientos de agua del cultivo y el tiempo de riego.

Es indispensable tener la información sobre datos de lluvia y evaporación diaria registrada en el área del cultivo o zona de influencia. Para esto se deberá conseguir un pluviómetro para medir la lluvia caída y un tanque tipo A para determinar la evaporación. En caso de no ser posible la conse-

cución de estos elementos, se debe recurrir a las Entidades encargadas de registrar los diferentes fenómenos meteorológicos y solicitar los promedios mensuales tanto de la lluvia como de la evaporación, elementos esenciales para el cálculo del agua a aplicar.

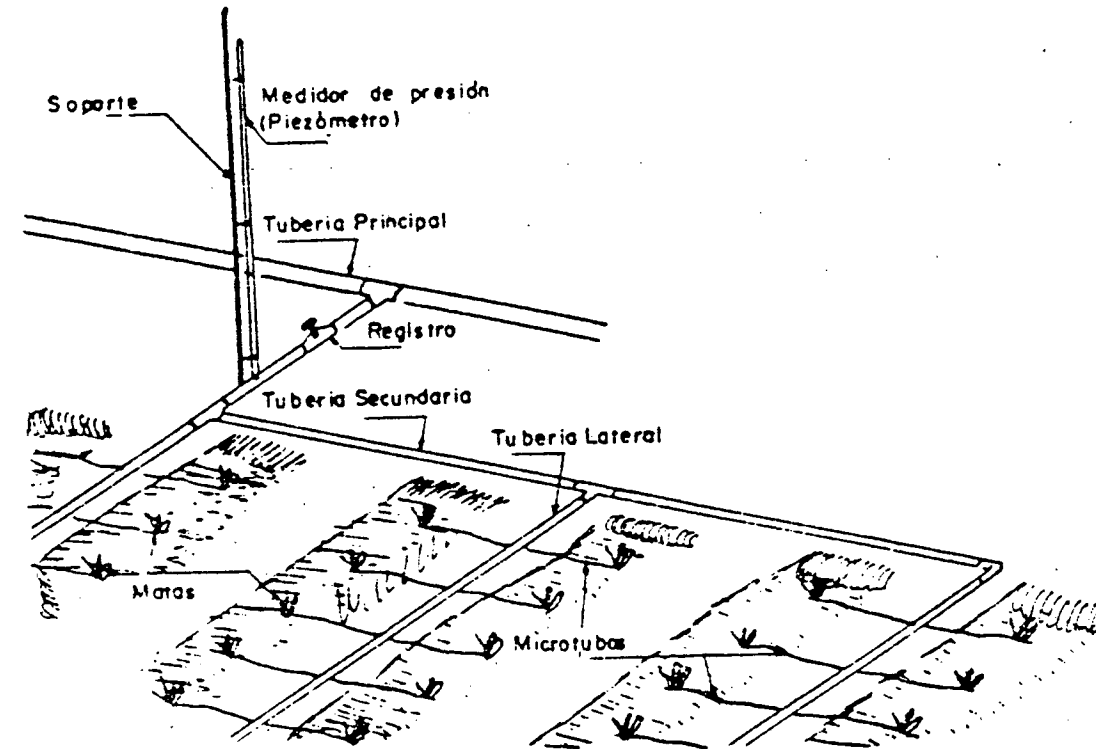


FIGURA 5. Disposición del riego por goteo en el campo

Los requerimientos de agua o uso consuntivo se calculan de la siguiente forma:

$$\text{Uso consuntivo (UC)} = K_i \times E_v \quad [5a]$$

Donde:

UC = Requerimiento de agua por el cultivo mm

$K_i$  = Coeficiente del cultivo (adimensional)

$E_v$  = Evaporación diaria de tanque tipo A (mm =  $l/m^2$ )

El volumen de agua a aplicar se obtiene de la expresión:

$$V = K \times E_v \times A \quad [59]$$

Donde:

V = Volumen de agua a aplicar (lt)

A = Area a regar (m<sup>2</sup>) por lateral

El tiempo de aplicación de riego se calcula según la ecuación:

$$t = \frac{V}{n \times q} \quad [60]$$

Donde:

t = Tiempo de aplicación de riego (horas)

V = Volumen de agua a aplicar (litros)

n = Número de goteros por lateral

q = Caudal promedio de los goteros (l/hora)

Para facilitar la aplicación de riego diaria se elabora una tabla guía, donde se presentan los datos de evaporación en milímetros y los volúmenes de agua a aplicar y el tiempo de riego para un área dada, teniendo en cuenta el número de laterales gobernados por cada registro o llave.

## 6.7 EXPERIENCIAS EN COLOMBIA

El Programa Manejo de Aguas de la División de Disciplinas Agrícolas del ICA comenzó en 1978 a realizar investigaciones sobre el novedoso método de riego por goteo y ha obtenido excelentes resultados, lo cual lo presentan como solución viable para optimizar el recurso agua en zonas donde ésta es escasa.

En un principio se establecieron pruebas de frecuencia de riego con el fin de comprobar si la frecuencia diaria encontrada como la mejor en otras latitudes, se comportaba en igual forma en nuestro medio. Hecha esta comprobación se procedió a dar comienzo a la fase experimental propiamente dicha con miras a encontrar láminas de riego por goteo para distintas especies hortícolas y pisos térmicos. De acuerdo con las condiciones climáticas y las preferencias del agricultor de las distintas zonas, se ha investigado en las siguientes especies hortícolas: tomate, pepino cohombro, pimentón, cebolla de bulbo, habichuela, arveja, frijol, remolacha, lechuga, coliflor, melón, fresa, papa, espinaca, zanahoria, acelga y repollo.

En la Tabla 1 se presentan los resultados más relevantes obtenidos en diversas localidades usando el método de riego por goteo

TABLA 1. Rendimientos obtenidos por el ICA usando el riego por goteo en diferentes pisos térmicos\*

Cultivo	Aumento de Prod. en % con relac. al testigo	Riego por Goteo Rendimiento t/ha	Localización
Tomate "Chento"	84	22.4	Cáqueza
Cebolla "Yellow Granex"	85	24.0	Cáqueza
Tomate "Manapal"	85	21.6	Cáqueza
Habichuela "Blue Lake"	31	20.5	Cáqueza
Remolacha "Crosby's Egyptian"	25	14.9	Cáqueza
Arveja "Guatecana"	73	5.2	Cáqueza
Tomate "Roma"	70	28.9	Sn Juan Cesar
Pimenton "California Wonder"	20	18.0	Sn Juan Cesar
Pepino "Cohombro"	27	19.0	Sn Juan Cesar
Melón	**	29.0	Sn Juan Cesar
Tomate "Manapal"	161	53.7	Soatá
Lechuga "Calmar"	247	52.0	Tunja
Coliflor "Bola de Nieve Temprana"	200	27.0	Tunja
Papa "ICA-San Jorge"	189	47.0	Cómbita
Fresa "Tioga Californiana"	108	49.8	Cota
Espinaca "Viroflay"	37	42.9	Tibaitatá
Lechuga "White Boston"	45	54.6	Tibaitatá
Zanahoria "Chantenay"	67	35.0	Tibaitatá
Coliflor "Bola de Nieve Temprana"	168	61.6	Tibaitatá
Repollo "Copenhaguen Market"	95	172.1	Tibaitatá
Acelga "Penca Verde"	175	77.6	Tibaitatá
Papa "Pastusa"	23	25.7	Tibaitatá
Papa "San Jorge"	95	35.8	Tibaitatá
Remolacha "Crosby's Egyptian"	98	63.7	Tibaitatá
Papa ICA-Puracé	56	43.3	Tibaitatá
Cebolla "Yellow Granex"	12	24.9	Tibaitatá
Lechuga "Calmar"	152	31.7	Tibaitatá
Frijol "ICA-Tundama"	19	5.5	Tibaitatá

\* Fuente: Programa Manejo de Aguas (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10)

\*\* No existe información en la zona.

En los trabajos adelantados se encontraron aumentos de producción significativos, reducción del ciclo vegetativo, lo mismo que una mejor y uniforme calidad en los productos cosechados y una alta rentabilidad.

## 6.8 RESUMEN

Se presenta una breve descripción del sistema de riego por goteo adaptado por el ICA y los resultados más relevantes de las diferentes experiencias realizadas en diversos cultivos.

Con este método de riego se han obtenido incrementos considerables en producción, reducción del ciclo vegetativo y alta rentabilidad, lo cual lo presenta como una alternativa de solución para optimizar el recurso agua en zonas donde ésta es escasa.

## BIBLIOGRAFIA

1. BENAVIDEZ, B. O. 1979. Módulo de Riego por Goteo en Fresa (Fragaria chilensis. var. Tioga Californiana). Tesis Mag. Sci. UN-ICA Bogotá. 79 p.
2. FORERO, J.A. 1979. Riego por Goteo en el minifundio colombiano. III Seminario Latino Americano de riego por goteo. Campinas, Brasil. 20 p.
3. FORERO, J.A.; GUTIERREZ, J.H.; MARTINEZ, R. 1979. Determinación de la lámina de riego por goteo en lechuga (Lactuca sativa L. var. Calmar). Revista ICA, Bogotá (Colombia Vol. XIV - Nº 1:51-58 pp.
4. GUERRERO, M.C.; OLIVEROS, A. 1980. Riego por goteo y por aspersión en la producción de papa (Solanum tuberosum L. var. ICA-San Jorge). Tesis Ing. Agr. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja. Tunja. 110 p.
5. SUAREZ, J.G. 1980. Aportes del Programa Recursos de Agua y Tierra del ICA al Desarrollo Rural en Cáqueza. ICA Tibaitatá. 105p.
6. SUAREZ, J.G.; CASTRO, C.C. 1980. Efectos del riego por goteo y la fertilización nitrogenada en la producción de Tomate Manapal, ICA, Programa Recursos de Agua y Tierra. 20 p. (mimeógrafo).
7. SUAREZ, J. G. 1978. Informe anual de labores al grupo multidisciplinario de Hortalizas y Tuberosas. Documento de Trabajo. Nº 006-032-78 Regional Nº 1 -º ICA. Programa Recursos de Agua y Tierra. Tibaitatá. 18 p.
8. SUAREZ, J. G. 1978. Riego por goteo en zonas de minifundio. Programa de Recursos de Agua y Tierra ICA. Tibaitatá. 17 p. (mimeógrafo).
9. SUAREZ, J.G. 1982. Informe anual de actividades. Documento de Trabajo. Programa Recursos de Agua y Tierra. Tibaitatá. 171 p.
10. SUAREZ, J. G. 1986. Informe anual de actividades. Documento de trabajo. Programa Manejo de Aguas Regional Nº 1. Tibaitatá. 34p.