

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
DIVISION DE INGENIERIA**



**EL FERTIRRIEGO APLICADO EN EL SISTEMA DE RIEGO POR  
GOTEO AL CULTIVO DEL MELON (*Cucumis melo L.*)**

Por:

**MARIO ALEJANDRO VELAZQUEZ COUTIÑO**

***MONOGRAFIA***

***Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:***

***Ingeniero Agrónomo en Irrigación***

***Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Noviembre de 1998***

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
DIVISION DE INGENIERÍA**

**EL FERTIRRIEGO APLICADO EN EL SISTEMA DE RIEGO POR  
GOTEO AL CULTIVO DEL MELON (*Cucumis melo L.*)**

**Presentado por:**

**MARIO ALEJANDRO VELAZQUEZ COUTIÑO**

**Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador  
como Requisito Parcial para Obtener el Titulo de:**

**Ingeniero Agrónomo en Irrigación**

**Presidente del Jurado**

---

**Ing. Rolando Sandino Salazar**

**Asesor Principal**

---

**MC. Lindolfo Rojas Peña**

**Asesor**

---

**MC. Luis E. Ramirez Ramos**

**Asesor**

---

**Ing. Jesús Valenzuela García**

**COORDINACION DE LA DIVISION DE INGENIERIA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila., México.**

**Noviembre de 1998.**

## **DEDICATORIAS**

### **A DIOS:**

Por haberme dado ese gran don: La vida. Por darme la oportunidad de realizar mi meta junto con mi familia y junto con él; por haberme otorgado la gracia de lograr uno de los más grandes anhelos de mi vida.

### **A MIS PADRES:**

Sr. Benjamin Velázquez Avendaño  
Sra. Martha Coutiño de Velázquez

Con eterno cariño y agradecimiento por el apoyo y amor que recibí, que gracias a ello he logrado terminar mi carrera profesional, haciendo de mi un hombre de provecho. Gracias por la mejor de las herencias...la sabiduría.

### **A MIS HERMANOS:**

Jorge Enrique  
Benjamin de Jesús  
Flor Edith

Por haberme brindado su confianza, comprensión y apoyo en los momentos difíciles y prósperos que hemos compartido juntos.

### **A MIS ABUELOS:**

Con gran respeto y agradecimiento por su cariño y sabios consejos.

### **A MI FAMILIA:**

Como un humilde testimonio de quien busca la superación, aún con todas las adversidades que presenta la vida, algún día tiene su recompensa. Sigamos siempre adelante.

### **A TI CELIA:**

Por haber traído a mi lo más hermoso, él conocerte y porque disfrute por un instante del maravilloso regalo de tu amistad. A ti que supiste entenderme y alentarme con tu amor, apoyo y confianza siempre en todo momento.

### **A la generación LXXXIV de Ingenieros Agrónomos en Irrigación.**

Por el compañerismo que mantuvimos durante nuestra formación como grandes profesionales.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MI ALMA MATER:**

Con el respeto que se merece por haberme formado en sus aulas y por todo lo bueno que me brindó durante mi estancia.

### **AL DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE:**

Que mediante sus maestros me brindaron las bases y conocimientos para seguir adelante en las actividades como estudiante y para mi superación personal.

### **AL ING. ROLANDO SANDINO SALAZAR:**

Por tenerme confianza en la realización de la presente investigación.

### **AL M.C. LINDOLFO ROJAS PEÑA:**

Por dedicarme su valioso tiempo a revisar y cooperar en esta monografía, mis más sinceros agradecimientos.

### **AL M.C. LUIS EDMUNDO RAMIREZ RAMOS:**

Por sus consejos y por todas las facilidades que me brindó para la realización de mi trabajo.

A todas aquellas personas que en el camino de mi formación me han ofrecido un consejo y que involuntariamente han quedado omitidas pero nunca olvidadas.

## INDICE DE CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	vi
I INTRODUCCION.....	1
II OBJETIVOS.....	3
III REVISION DE LITERATURA DEL RIEGO POR GOTEO.....	4
3.1 Riego por Goteo.....	4
3.1.1 Bulbo o zona húmeda .....	5
3.1.2 Radio de Acción del Emisor.....	6
3.1.3 Principios Básicos.....	6
3.1.4 Ventajas del Riego por Goteo.....	9
3.1.5 Desventajas del Riego por Goteo.....	10
3.2 Componentes del Sistema de Riego por Goteo.....	10
3.2.1 En aguas superficiales (lagos, canales y ríos).....	10
3.2.2 En aguas de pozo profundo.....	11
3.2.3 Tubería principal y secundaria.....	11
3.2.4 Tuberías regantes.....	12
3.2.5 Emisores o gotero.....	12
3.2.6 Accesorios esenciales.....	15
3.3 Cabezal de Riego.....	16
3.3.1 Filtrado.....	17
3.3.1.1 Hidrociclones.....	17
3.3.1.2 Filtros de malla.....	19
3.3.1.3 Filtros de arena.....	21
3.3.2 Inyección de Fertilizantes.....	24
3.3.3 Otros componentes.....	26
3.4 Problemática de los taponamientos en emisores.....	27
3.4.1 Sólidos en suspensión.....	27
3.4.2 Diversos tipos de precipitados.....	28
3.4.3 Contaminación orgánica o biológica.....	31
3.5 Programación del Riego.....	33
3.5.1 Valores del agua en el suelo.....	34
3.5.2 Determinación de la Evapotranspiración (Etc).....	37
3.5.3 Disminución Máxima de Agua Util ( $\alpha$ ).....	38
3.5.4 Necesidades de Riego Brutas (Rb).....	39
3.5.5 ¿Cómo regar?.....	42
3.5.6 Coeficiente de Uniformidad de Emisión (Eu).....	43

	<b>Pag.</b>
IV	REVISION DE LITERATURA DE FERTIRRIGACION..... 45
4.1	Fertirriego ..... 45
4.1.1	Generalidades de la Fertirrigación..... 45
4.1.2	Situación Actual del Sistema de Fertirrigación..... 48
4.1.3	Ventajas de la Fertirrigación..... 48
4.1.4	Desventajas de la Fertirrigación..... 50
4.2	Suelo y el Ferrirriego..... 52
4.2.1	Textura ..... 52
4.2.2	Capacidad de Intercambio Catiónico..... 52
4.2.3	Salinidad..... 53
4.2.4	pH de la Solución del Suelo..... 53
4.3	Agua del Riego y el Fertirriego ..... 55
4.3.1	Solubilidad de los Fertilizantes..... 55
4.3.2	Compatibilidad de los Fertilizantes..... 59
4.3.3	Calidad del Agua..... 60
4.4	Dosis de Fertilizante..... 65
4.5	Característica de los Fertilizantes utilizados en el Riego por Goteo..... 66
4.5.1	Macronutrientes ..... 66
4.5.2	Micronutrientes..... 68
4.6	Fertirrigación con Nitrogeno..... 69
4.6.1	El Papel que desempeña el Nitrogeno en la Nutrición de los Cultivos..... 71
4.7	Fertirrigación con Fósforo..... 72
4.7.1	El Papel que desempeña el Fósforo en la Nutrición de los Cultivos..... 73
4.8	Fertirrigación con Potasio..... 74
4.8.1	El Papel que desempeña el Potasio en la Nutrición de los Cultivos..... 74
4.9	Fertirrigación con Calcio, Magnesio y Azufre..... 76
4.9.1	El Papel que desempeña la Cal en la Nutrición de los Cultivos..... 77
4.9.2	El Papel que desempeña el Azufre en la Nutrición de los Cultivos..... 77
4.9.3	El Papel que desempeña el Magnesio en la Nutrición de los Cultivos..... 78

	<b>Pag.</b>
4.10	Fertirrigación con micronutrientes..... 79
4.11	Riesgos de Contaminación de la fuente de Abastecimiento de Agua..... 80
4.12	Consideraciones para una buena distribución del Fertirriego... 80
4.12.1	Consideraciones Generales para la Fertirrigación en Campo.. 82
4.12.2	Reglas Básicas para la elaboración de mezclas..... 82
4.12.3	Procedimiento a seguir para la Programación en fertirrigación 84
4.12.4	Programa de Fertilización..... 84
4.12.4.1	Fundamentos para un Programa de Fertilización..... 85
4.12.4.2	Gastos y tiempos de Inyección..... 86
4.13	Cálculo de la taza de Inyección de los Fertilizantes a través de los sistemas de riego..... 89
V	Revisión de Literatura de Melón..... 90
5.1	Origen ..... 90
5.2	Producción Nacional del Melón..... 90
5.3	Clasificación Taxonómica..... 91
5.4	Importancia Económica..... 92
5.5	Descripción Botánica ..... 92
5.6.	Condiciones Climáticas..... 94
5.6.1	Temperatura..... 94
5.6.2	Luz..... 94
5.6.3	Humedad..... 94
5.7	Condiciones Edáficas..... 94
5.7.1	Suelo..... 94
5.7.2	pH..... 95
5.7.3	Salinidad..... 95
5.8	Selección y preparación del terreno..... 95
5.9	Siembra..... 96
5.10	Labores culturales..... 97
5.11	Fertilización..... 97
5.12	Riegos..... 99
5.13	Trabajos de Investigación..... 100
VI	CONCLUSIONES..... 103
VII	BIBLIOGRAFÍA..... 105



## INDICE DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
Tabla 3.1 Poder de separación de los hidrociclones.....	18
Tabla 3.2 Equivalencias entre Números de Mesh y mm.....	19
Tabla 3.3 Tipificación de la friabilidad de una arena.....	22
Tabla 3.4 Comparación entre tamaño de arena y su equivalente en mesh de malla.....	22
Tabla 3.5 Niveles de Riesgo esperado en aguas con contenidos variables de sedimentos o sólidos suspendidos.....	28
Tabla 3.6 Comparación de materiales que proporcionan cloro.....	32
Tabla 3.7 Capacidad de campo, Punto de Marchitez Permanente y Agua Útil.....	35
Tabla 3.8 Agua útil (mm/m), en función de la tensión matricial del suelo...	36
Tabla 3.9 Evaluación de los valores de Coeficiente de cultivo (Kc) por Quincena de algunas especies..	38
Tabla 3.10 Grado de tolerancia de algunos cultivos o sales, según el rendimiento esperado.....	41
Tabla 3.11 Valores máximos del Coeficiente de Uniformidad (EU).....	44
Tabla 4.1 Composición y Acidez de algunos Fertilizantes.....	54
Tabla 4.2 Fertilizantes comunes y su solubilidad en el agua .....	57
Tabla 4.3 Compatibilidad e incompatibilidad que existe entre algunos Fertilizantes.....	59
Tabla 4.4 Normas para la interpretación de la Calidad del Agua de Riego.	60
Tabla 4.5 Calidad del Agua por peligro de Salinización.....	62
Tabla 4.6 Clasificación de Agua por Porcentaje de Sodio.....	63
Tabla 4.7 Contenidos Máximos Permiciosos de los Iones tóxicos.....	64
Tabla 4.8 Fertilizantes simples sólidos cristalinos.....	67
Tabla 4.9 Acidos fertilizantes.....	67
Tabla 4.10 Fertilizantes líquidos y complejos.....	68
Tabla 4.11 Adaptabilidad de las fuentes de Nitrógeno para su inyección en los sistemas de Riego por Goteo.....	70
Tabla 5.1 Principales Estados Productores de Melón.....	90

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
Figura 3.1 Emisores de trayectoria larga.....	13
Figura 3.2 Diferentes tipos de Emisores de orificio o boquilla.....	14
Figura 3.3 Componentes de Cabezal de Riego.....	16
Figura 3.4 Hidrociclones.....	18
Figura 3.5 Funcionamiento del Filtro de Malla.....	19
Figura 3.6 Proceso de lavado directo del Filtro de Malla.....	20
Figura 3.7 Filtros de Arena.....	21
Figura 3.8 Proceso de Retrolavado de los Filtros de Arena.....	23

## INDICE DE GRAFICAS

	<b>Pag.</b>
Gráfica 3.1 Disminución del agua útil de acuerdo a la evapotranspiración.....	39
Gráfica 4.1 Solubilidad de Algunos Fertilizantes.....	58
Gráfica 4.2 Calidad del Agua por peligro de Salinización.....	63
Gráfica 4.3 Clasificación del Agua por Porcentaje de Sodio.....	64
Gráfica 4.4 Contenidos Máximos Permisibles de los Iones Tóxicos.....	65
Gráfica 5.1 Estados con mayor Producción de Melón en México.....	91

## I INTRODUCCION

El sector agrícola de México ha evolucionado notablemente a través del tiempo, de ser una agricultura tradicional hasta lograr tecnificarla casi en su totalidad. Actualmente en nuestro país encontramos nuevas formas de producción, ya que para tener una comercialización en el mercado internacional, es necesario la implantación de novedosas tecnologías agrícolas, que permitan incrementar la producción por unidad de superficie, mejorando de esta forma la calidad comercial del producto.

El cultivo del melón tiene gran demanda en el mercado nacional, así como la de exportación hacia países como Canadá y Estados Unidos, ya que indudablemente es una de las hortalizas de mayor importancia económica. La producción se ve afectada en las zonas semiáridas de climas templado-cálido por la presencia de factores climáticos adversos como son bajas temperaturas y heladas; además de la escasez de agua que caracteriza a este tipo de regiones.

La errática precipitación pluvial en las zonas áridas, donde generalmente las lluvias se presentan en forma de tormentas de alta intensidad y corta duración, por otra parte, los altos índices de evaporación que se suscitan dan como resultado que en estas áreas se presente una baja disponibilidad de agua para riego, por lo que se tiene un serio problema cuando tratamos de incorporar estas superficies a la productividad agrícola, por medio de los métodos “convencionales” de riego, ya que estos requieren grandes volúmenes de agua.

Los sistemas modernos de riego localizado permiten, hoy en día, lograr condiciones de humedad próximas a los óptimos para la absorción del agua por las raíces, el poder suministrar agua al sistema radicular en la cantidad y frecuencia deseada lo hace altamente satisfactorio, ya que esto es imposible en los sistemas convencionales de riego por gravedad.

En los últimos años se ha presentado un desfase entre el considerable desarrollo que ha experimentado el sistema riego por goteo y el bajo conocimiento para la aplicación óptima de fertilizante en los sistemas de riego. En muchos casos, se ha dado la paradoja de una combinación de los sistemas tradicionales de fertilización con el riego por goteo, excluyendo de esta forma la posibilidad de adecuar la nutrición de la planta a lo largo de todos y cada uno de los días que comprenden el ciclo vegetativo del cultivo.

Para comprender el proceso de fertirrigación; se debe tener los conocimientos básicos necesarios para obtener el mayor provecho de esta técnica, por tal motivo esta monografía pretende conseguir dos objetivos generales:

- a) Recopilar toda información verídica y actualizada sobre la técnica de fertirrigación.
- b) Tener a disposición los elementos básicos para hacer frente a algunos problemas que se presentan en el campo agrícola, relacionados con el fertirriego y goteo, de tal forma que permita proporcionar algunas posibles soluciones.

## II OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Comprender la importancia que engloba el proceso de fertirrigación en la productividad de los campos agrícolas.
  
- Disponer de los elementos básicos y necesarios para entender el tema de fertirrigación.
  
- Señalar las ventajas que proporciona el riego por goteo y fertirriego, al aplicarlos cuando las necesidades hídricas y nutricionales lo demanden.
  
- Conocer los principales problemas que se presenta al aplicar los fertilizantes a las plantas por medio del sistema de riego por goteo.
  
- Comprender los componentes que integran el cabezal de riego, así como el mantenimiento que se le proporciona para tener un buen funcionamiento de éste.

### III REVISION DE LITERATURA DEL RIEGO POR GOTEO

#### 3.1 Riego por Goteo

Este método consiste en la aplicación de agua directamente a un punto del suelo por medio de uno o varios emisores con un caudal de agua y una aplicación frecuente o continua adaptada a las necesidades de la planta. Mediante esta aplicación se forma alrededor del punto de emisión una zona húmeda de suelo que se denomina bulbo de mojado. La forma y volumen de esta zona depende del gasto y de la textura del suelo principalmente (Domínguez, 1993).

Una diferencia respecto al riego por aspersión, es que el riego localizado no solo constituye una reserva de agua en el suelo, sino un depósito intermedio que asegura la transferencia de agua en forma continua hasta el sistema radicular del cultivo. El almacenamiento de agua es muy pequeño y continuo desde el sistema radicular del cultivo, así mismo, constituye el margen de tolerancia para cubrir las demandas de agua y las posibles incidencias del riego (Rodríguez, 1992).

Medina (1979), lo define como aquel sistema que para mantener el agua en el sistema radicular, en las condiciones de utilización más favorables para la planta, aplica el agua gota a gota. De esta forma el agua es conducida por medio de conductos cerrados desde el punto de toma hasta la misma planta, a la que se aplica por medio de dispositivos conocidos como emisores.

Un sistema de riego por goteo es aquel que aplica agua filtrada y fertilizante dentro o sobre el suelo directamente a cada planta en forma individual. En los árboles plantados y en cultivos ampliamente espaciados, esto se realiza

utilizando líneas laterales que corren a lo largo de cada hilera del cultivo. Los emisores son anexados a la línea lateral, estos suministran las necesidades de agua a cada planta. En el caso de algunos cultivos vegetales existen mangueras de pared delgada que tiene pequeños orificios perforados por un rayo láser, espaciados a intervalos regulares, a este tipo de emisores se le llama comúnmente “emisores de manguera”.

En un sistema de riego por goteo, el agua puede ser suministrada al cultivo con base a una baja tensión y una alta frecuencia, por lo cual se crea un medio ambiente óptimo de humedad necesaria en el suelo. Debido a la alta frecuencia de riegos, se pueden obtener eficiencias muy altas.

### **3.1.1 Bulbo o zona húmeda**

La superficie del suelo humedecida por este método es muy pequeña, ya que, en general se encuentra entre el 30-40 %. El tamaño del bulbo que se forma depende básicamente del tipo de suelo y del gasto de agua que se aplica; así tenemos que las partes más diferenciadas son:

- ❖ La zona de transición del agua situada inmediatamente debajo del gotero, es, denominada también zona de saturación, debido a que alcanza con cierta frecuencia el punto de saturación, pudiendo aparecer charcos.
- ❖ La zona húmeda, se mantiene en un nivel cercano a la capacidad de campo.
- ❖ La zona de acumulación de sales se sitúa en las partes más superficiales de las paredes del bulbo y en la superficie del suelo puede manifestarse como un anillo salino, alrededor de la zona húmeda (Domínguez, 1993). Bajo estas condiciones, se favorece el desarrollo radicular preferentemente en dicha zona húmeda, es decir, el bulbo que se forma alrededor del emisor, asegurándose un suministro de agua prácticamente óptimo al cultivo.



### **3.1.2 Radio de Acción del Emisor**

Otra característica del bulbo es el tamaño que puede alcanzar. Este es definido por el radio de acción y depende fundamentalmente de las características del suelo. Para cada tipo de suelo, le corresponde un determinado gasto de agua, sin que llegue a reproducirse la zona de saturación en la zona de transición. Al gasto límite le corresponde un volumen de bulbo determinado el cual queda definido por un radio de acción correspondiente.

En la práctica se utilizan gastos ligeramente superiores al límite, lo que incrementa el radio de acción del bulbo a costa de mantener ocasionalmente pequeñas zonas de saturación o charcos. De cualquier forma hay que considerar que un objetivo prioritario en los riegos localizados es evitar el mantenimiento de charcos o zonas saturadas de modo permanente o más allá de unas pocas horas (Burgueño, 1996).

### **3.1.3 Principios básicos**

⇒ Al aplicar el agua en la zona radicular de tal manera que por lo menos una parte de esta se encuentre en condiciones de saturación, provoca lo que técnicamente se llama “condición potencial”.

Al proporcionar el agua ésta provoca en la zona radicular una condición potencial muy cercano al límite de capacidad de campo, es evidente que la planta tendrá que ejercer un mínimo esfuerzo para absorber el agua y los nutrientes, a saturación el agua está retenida con una tensión igual a cero, de esta manera la planta ahorra una gran cantidad de energía que es utilizada en desarrollarse y producir mejor.

⇒ Debe regarse diariamente o por lo menos un día sí y un día no. Al incorporar el agua en la zona radicular una condición potencial, y plantea el problema de

que si el suelo es de textura gruesa perdería fácilmente el agua que se encuentre en condiciones de saturación o un poco arriba de la capacidad de campo, la cual se evita al aplicar diariamente el requerimiento de agua al cultivo. También es cierto que al estar el suelo en las condiciones antes citadas, podrían sufrir las plantas por asfixia especialmente en la zona donde se encuentra la saturación y en los suelos de textura fina, pero esto solamente es en una zona muy pequeña, durante muy poco tiempo y además difícilmente se llega al 100% de saturación.

De acuerdo a lo anterior, se deduce que es necesario regar diariamente aplicando la cantidad de agua que la planta consuma de acuerdo con las condiciones climatológicas y a su desarrollo; es decir, se debe aplicar solamente el uso consuntivo de las plantas, excepto cuando se utilicen aguas con altos contenidos de sales solubles, en que se debe aplicar una lámina de sobre riego, si la lluvia no es suficiente para lavar el exceso de sales.

⇒ Debe regarse únicamente durante el día (en las horas luz).

Todas las plantas realizan su máxima función o fotosíntesis, durante las horas del día. Al realizar ésta y por transformación de energía lumínica en calorífica, las plantas elevan considerablemente su temperatura, por lo tanto para enfriar su organismo y no morir quemadas, absorben el agua principalmente por sus raíces; durante la noche en que no existe esta función, será muy poca la cantidad de agua que necesiten las plantas, prácticamente es nula, por ésta razón no se justifica regar durante la noche, especialmente si se considera que el agua va a estar en tensión cero lo cual haría que se perdiera por percolación profunda (Boswell, 1990).

⇒ Con este sistema, es necesario provocar un desarrollo natural de las raíces que, sin poner en peligro la estabilidad de las plantas, especialmente cuando hay fuertes vientos, exploren al máximo posible las capas superficiales del suelo.

La necesidad de provocar que el sistema radicular se desarrolle en las capas superiores del suelo, se debe a que son las que poseen la mayor cantidad de nutrientes en condiciones asimilables para las plantas, ya que están expuestas a todos los agentes de intemperismo, alojan la mayor cantidad de microorganismos aerobios y anaerobios tienen la mayor cantidad de aireación; es decir, dan posibilidad de mayor disponibilidad de oxígeno a través de las raíces. De esta manera el suelo sigue siendo un recurso y no un medio.

⇒ La cantidad de agua que se aplica debe ser la necesaria para reponer el uso consuntivo de las plantas, en el intervalo de riego establecido. Al realizar la aplicación del agua de riego a las plantas por medio de este método, se disminuye en gran medida el componente de evaporación del uso consuntivo; ello podría inducir a pensar que en este caso el uso consuntivo es menor, pero por otro lado, se debe considerar a que la transpiración obedece a la tendencia de formar un equilibrio entre la presión de vapor que hay en el ambiente y la que existe en los estomas, por lo cual tendrá que incrementarse la transpiración al haber menos vapor de agua en el ambiente puesto que la evaporación directa del suelo, es mucho menor en este sistema de riego. Este aumento en la transpiración puede compensar la disminución en la evaporación.

⇒ Los fertilizantes, especialmente los nitrogenados deben aplicarse en el agua de riego. Esto permite aplicar en forma dosificada, propiciando mayor eficiencia en la absorción y por lo tanto un mejor aprovechamiento por las plantas. Bajo estas condiciones la planta no está sujeta a ejercer esfuerzos en un rango muy grande para extraer agua y nutrientes del suelo.

⇒ Las líneas regantes son colocadas superficialmente en el terreno de cultivo, ya que todas las pruebas que se han hecho hasta la fecha con goteros enterrados, se han obstruido al penetrar las raíces por el fenómeno de hidrotropismo y además, es muy difícil notar oportunamente si un gotero enterrado esta funcionando adecuadamente (Gómez, 1979).

### 3.1.4 Ventajas del Riego por Goteo

Bowen (1990), menciona las siguientes ventajas:

⇒ Muchos cultivos, incluyendo los frutales mayores, se mantienen en una cantidad reducida de suelo, siempre y cuando éste pueda suministrar suficiente agua y minerales.

⇒ Los suelos microirrigados se mantienen húmedos continuamente, pero no se satura, por lo que están siempre bien aireados.

⇒ La tasa de humedad es especialmente favorable, proporcionando una ventaja clara sobre los sistemas de riego por gravedad o aspersión, especialmente en suelos arenosos de baja retención de agua o en áreas áridas sujetas a altas tasas de evaporación.

⇒ En contraste con el riego por aspersión, el goteo no es afectado por el viento, y la topografía, como lo es en el riego por gravedad.

⇒ Es posible utilizar agua ligeramente salina, si el cultivo no es demasiado sensible a la sal.

⇒ Eficientiza el agua al regar una porción mas limitada de suelo, reduciendo la evaporación directa. Además de ahorrar agua, la menor superficie mojada inhibe el crecimiento de malezas entre las plantas del cultivo y en áreas no cultivadas del campo.

⇒ Requiere menos mano de obra para operar el sistema que el riego por gravedad, por lo tanto reduce los costos de mano de obra.

### **3.1.5 Desventajas del riego por goteo**

- a) Taponamiento del emisor u orificio.
- b) Alto costo de mantenimiento del sistema y fallas del equipo.
- c) Mala adaptación a las prácticas culturales.
- d) Manejo inadecuado de la salinidad.
- e) Estado alterado nutricional y de la raíz del cultivo.
- f) Alto costo inicial.

### **3.2 Componentes del sistema de riego por goteo**

Contreras (1997), menciona que el riego por goteo tienen diferentes componentes que varían según la fuente de agua.

#### **3.2.1 En aguas superficiales (lagos, canales y ríos)**

Se requiere de:

- Canasta de malla en la succión.
- Bomba centrífuga.
- Por la alta carga de materia orgánica, se recomienda una batería de filtros de arena, seguidos de un filtro de malla.
- Sistemas de inyección de cloro.

### **3.2.2 En aguas de pozo profundo**

Se requiere de:

- Bombas sumergibles o bombas verticales
- Si el pozo produce mucha arena, se recomienda un desarenador seguido de un filtro de malla de 200 mesh.
- Si el agua del pozo contiene un pH arriba de 7.5 con cantidades altas de carbonatos de calcio o magnesio, se requiere un inyector de ácido para bajar el pH a 6.5 y evitar la precipitación de estos.

Los demás componentes son iguales tanto en aguas de superficie como en las de pozo.

### **3.2.3. Tubería principal y secundaria**

Gurovich (1985), señala que estas tuberías son parte esencial en todo equipo de riego por goteo, es obvio dada la naturaleza del equipo de riego. En caso de faltar la primera, las secundarias toman la categoría de principal, todo depende del tamaño del proyecto y de su diseño.

El material con que están fabricadas generalmente depende del diámetro, por aspectos de economía, aunque puede verse modificado por las exigencias del mercado.

Desde el punto de vista general las tuberías principales y secundarias se seleccionan según los siguientes criterios:

a) Generalmente en el riego por goteo se desecha en primer lugar las tuberías de acero y en segundo lugar las de asbesto cemento, debido a las posibilidades de corrosión, al tener que aplicar materiales fertilizantes a través del agua de riego.

b) Para diámetros de 1 ½ pulgadas “o mayores”; normalmente se debe usar PVC ya que son más ligeras para su transporte y bajo costo, en general es más económica que las de acero y asbesto cemento. Normalmente no hay conexiones en el mercado para tuberías de polietileno de estos diámetros, por la dificultad que se tiene para hacer los ensambles. Las presiones de trabajo para el PVC en condiciones estándar, son mayores, así mismo, las áreas de conducción de PVC por normas de fabricación, son mayores que las de acero y asbesto cemento

c) Para diámetros menores de 1 ½ pulgadas y mayores de ¾ , pueden utilizarse indistintamente de polietileno o PVC, dependiendo de la disponibilidad local y del costo; sin embargo debe de considerarse que para el ensamble de PVC se necesita personal especializado, ya que las uniones van cementadas y necesitan mayor cuidado al unir las piezas y en el caso de polietileno las uniones son por inserción, estas disminuyen el área hidráulica del tubo exigiendo mayor diámetro.

### **3.2.4 Tuberías regantes**

En estas tuberías son instalados los goteros, en general están constituidos por tubos de 12 mm a 16 mm de diámetro, y deben ser tubos flexibles de polietileno de densidad media, para que resistan los esfuerzos que provoca la presión de 8 a 10 mts de carga para los goteros y poderse adaptar a las configuraciones topográficas de los terrenos de cultivo.

### **3.2.5 Emisor o Gotero**

Rain Bird (1990) menciona que el emisor es el dispositivo más importante, puesto que es el que le da el nombre a este método de riego, este a la vez debe permitir el depositar el agua en el sitio preciso, y en las cantidades suficientes

de acuerdo con los principios técnicos del procedimiento de riego. En la actualidad existen cuatro grupos básicos de diseño de los emisores, estos se encuentran fundamentados en el método para reducir el flujo de agua a una porción más baja.

Los diferentes grupos de diseño de emisores son:

### ❖ Emisores de trayectoria Larga

Algunos de los emisores de trayectoria larga están fabricados de tal forma que el agua que entra del lateral viaja en una trayectoria de espiral hasta que finalmente detiene y gotea en el suelo.

Otro tipo de emisor de trayectoria larga, es el de **flujo turbulento** o **laberinto**, estos se indican en la figura 3.1

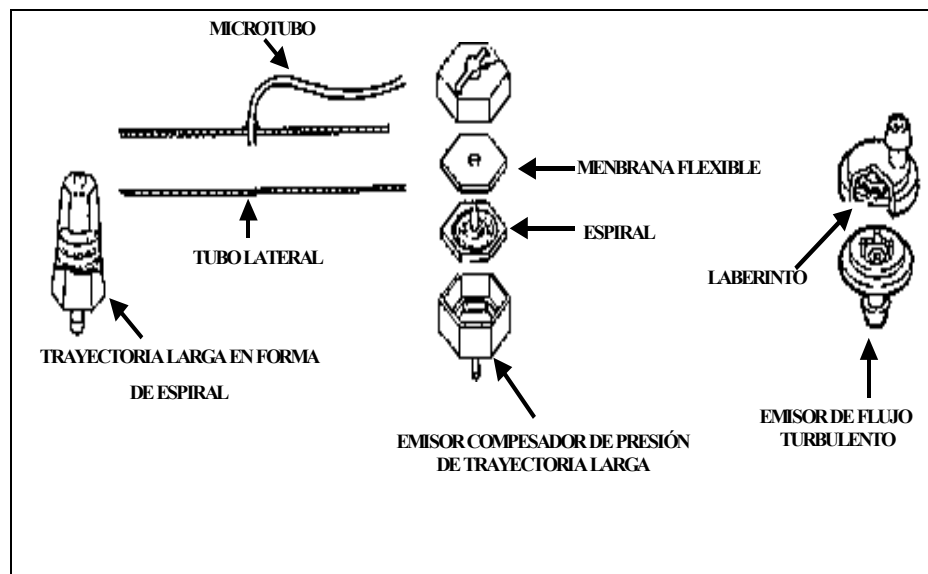


Figura 3.1 Emisores de trayectoria larga

### ❖ Emisor de Orificio o Boquilla

Un tipo de emisor de orificio o boquilla parece nada más que un simple agujero perforado en el tubo lateral. Este emisor consiste de un producto moldeado que



se introduce a través de la pared de la línea lateral y se mantienen en su lugar por medio de un pequeño tubo corto, hueco con reten.

Los micro o mini sprays, spinners corresponden a este tipo de emisor. Los emisores tipo vértice, están moldeados de tal manera que provocan que el agua fluya en un espiral formando un vórtice, como se muestra en la figura 3.2.

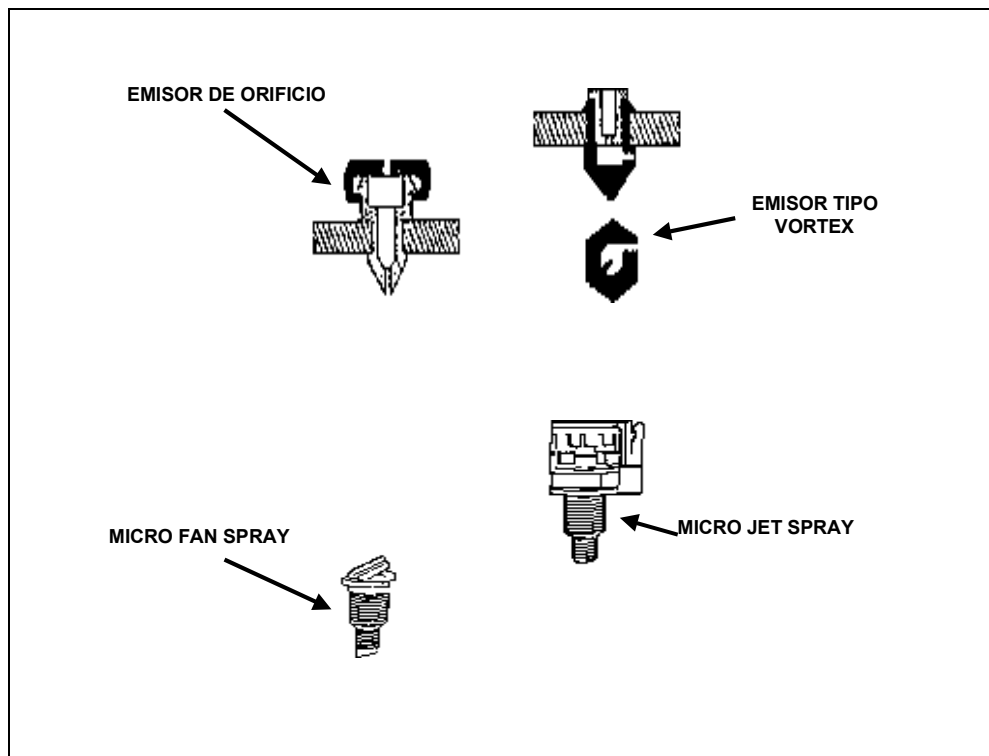


Figura 3.2 Diferentes tipos de emisores de orificio o boquilla

#### ❖ Emisores de Orificio Variable o Compensadores de Presión

Estos equipos están diseñados para mantener el mismo gasto de agua aún cuando la presión cambie con el tiempo o de lugar dentro del mismo sistema. Lo anterior se logra usando partes de plástico blando que responden a los cambios de presión, un aumento de presión en un emisor de compensación provoca que parte del material blando se comprima hacia abajo, sobre la trayectoria del agua reduciendo su diámetro. La reducción en tamaño de la trayectoria tenderá a mantener el agua fluyendo en el emisor con casi el mismo gasto.

### ❖ **Tuberías perforadas**

Todas las tuberías perforadas suministran un caudal continuo a lo largo de su recorrido, por lo que sus características no se definen en un gasto por cada salida, sino en gasto por metro lineal de tubería. El proceso de fabricación de este tipo de tuberías es más simple, que en cualquier gotero. Por lo tanto, Su coeficiente de variación es alto. El principal inconveniente es la falta de uniformidad que proporcionan; además, los orificios de salida del agua son pequeños, por lo que es preciso la utilización simultánea de filtros de arena y malla fina para evitar obstrucciones, ya que funcionan ordinariamente a bajas presiones. Su campo de explotación se centra sobre todo en los cultivos en línea, principalmente los hortícolas, de pequeño marco de plantación.

#### **3.2.6 Accesorios principales**

⇒ Válvulas sectoriales que dividen a la finca en zonas de riego.

⇒ Los reguladores de presión son importantes ya que mantienen una presión constante y uniforme en el sistema, así mismo evita el rompimiento de la cinta.

⇒ Las válvulas de aire, alivio y presión y de retención son utilizadas para proteger la tubería.

⇒ Las bombas de inyección de fertilizantes son partes fundamentales del sistema.

⇒ Las válvulas de retención (Check), son utilizadas para evitar la contaminación de la fuente de agua. Se debe colocar aguas arriba de cualquier punto de inyección de químicos.

⇒ Reguladores de gasto

En muchas ocasiones, de acuerdo a las condiciones topográficas o por las fluctuaciones de energía disponible, el equipo de riego no puede proporcionar el mismo gasto en todos los goteros o secciones del proyecto, ocasionando el peligro de no cumplir con el requisito de proporcionar a todas las plantas la misma cantidad de agua, para evitar este problema, es conveniente sobre todo

en los casos en los que no es posible igualar las presiones de trabajo, utilizar reguladores de gasto que aseguren proporcionar el mismo gasto a todos los goteros. Lo importante en este caso es seleccionar en forma adecuada el regulador que se necesita según sea el rango de gastos con que va a trabajar.

### 3.3 Cabezal de riego

Montalvo (1991), lo define como un conjunto de dispositivos situados aguas arriba de toda instalación del riego localizado, que tiene como objetivos el medir el agua, incorporar elementos fertilizantes, filtrar, regular presiones y llevar acabo los programas de riego establecidos, como se muestra en la figura 3.3

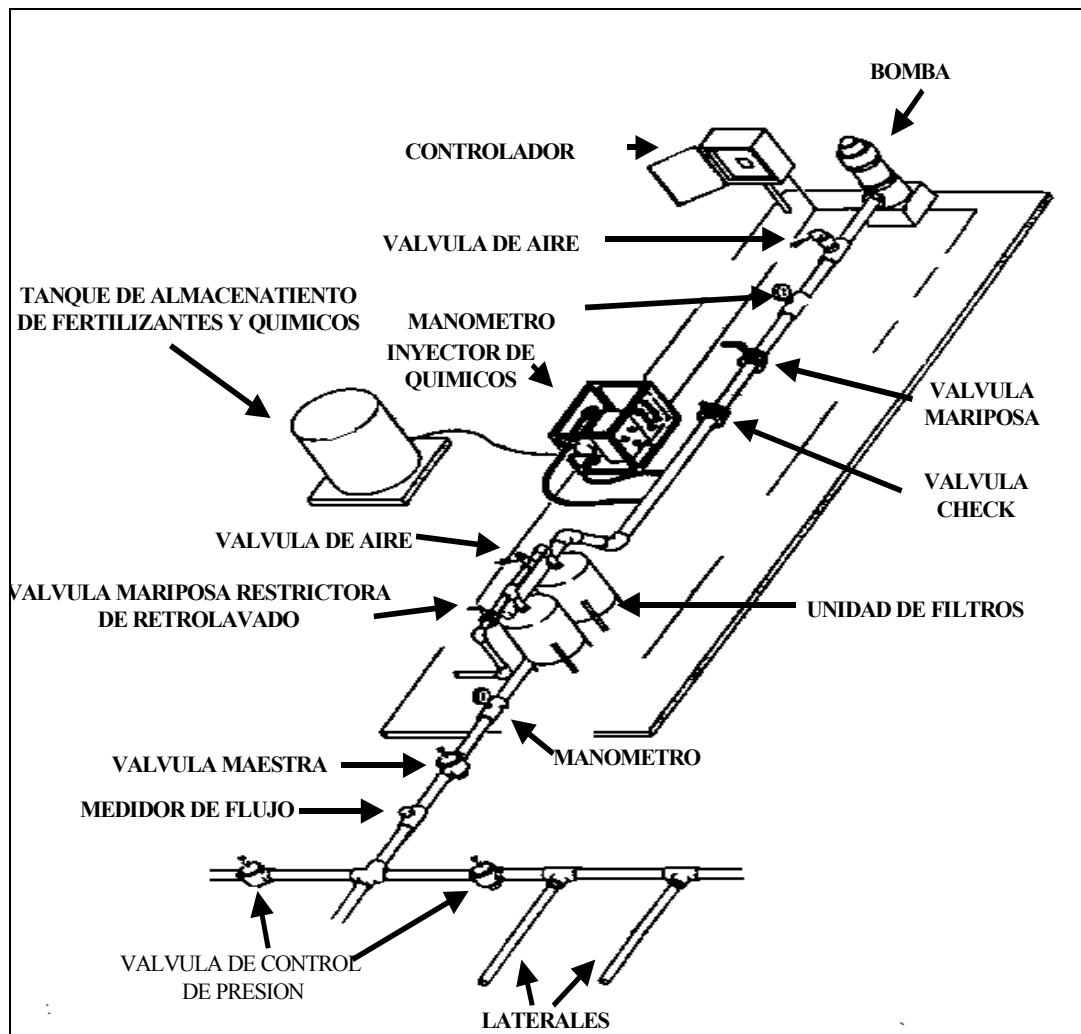


Figura 3.3 Componentes del cabezal de riego

### **3.3.1 Filtrado**

El sistema de filtrado trata de prevenir los diversos efectos perjudiciales inherentes al uso de aguas con partículas sólidas en suspensión, orgánicas o minerales, que pueden obstruir los reducidos conductos de un emisor, la sección de las tuberías al sedimentarse y dañar otros dispositivos con elementos móviles.

La obstrucción de los orificios provoca la disminución de caudales, el coeficiente de uniformidad y, por lo tanto, de la deficiencia del riego. El tipo de filtros a instalar depende de las partículas a eliminar y sus características filtrantes del diámetro mínimo de paso del emisor.

De acuerdo a su función los filtros se clasifican en tres tipos como se indica a continuación:

#### **3.3.1.1 Hidrociclones**

Los filtros hidrociclonicos son dispositivos sin elementos móviles, que eliminan hasta el 98% de partículas en suspensión con peso específico superior al del agua, es decir minerales, de diámetro superior a 0.1 mm. Tienen la ventaja de producir pérdidas constantes e independientes de la concentración de impurezas del agua. Estos equipos son instalados a la entrada del cabezal.

El poder de separación disminuye al aumentar el diámetro nominal y sus pérdidas aumentan con el caudal. Por lo tanto, es importante utilizar una batería de hidrociclones en paralelo, ya que proporciona mejores resultados que un solo hidrociclón de mayor diámetro.

El diámetro nominal ( $D_c$ ), en función del diámetro de las partículas a separar se presenta en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Poder de separación de los hidrociclones

Partículas (micras)	Dc (pulgadas)
2 a 10	1/4 a 1/2
10 a 20	1/2 a 4
20 a 60	4 a 12
60 a 70	16 a 30

Las dimensiones más comunes que definen un hidrociclón y sus relaciones, esta basadas en la experiencia, y son calculados aplicando las ecuaciones siguientes:

$$l = (0.33 \text{ a } 0.50)D_c \text{ para } D_c \# 4''$$

$$l = (0.15 \text{ a } 0.25)D_c \text{ para } D_c > \# 4''$$

$$L = (5 \text{ a } 8)D_c$$

$$D_i = (0.15 \text{ a } 0.33)D_c$$

$$D_o = (0.15 \text{ a } 0.30)D_c$$

$$D_u = (0.15 \text{ a } 0.20)D_c$$

$$\theta = \leq 45^\circ$$

Una parte importante es que el colector debe ser capaz de almacenar los sólidos separados entre dos limpiezas consecutivas. El Hidrociclón se muestra en la figura 3.4

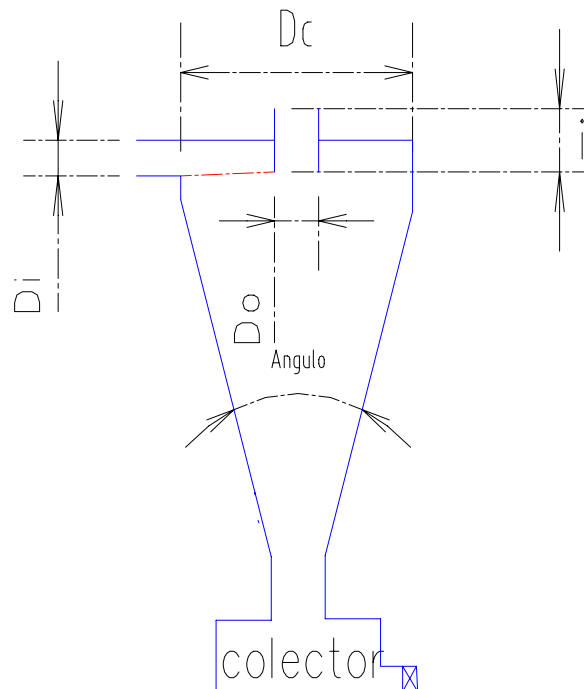


Figura 3.4 Hidrociclón

### 3.3.1.2 Filtros de malla

Estos equipos se caracteriza por retener partículas sólidas no elásticas, por lo que deben instalarse agua abajo del punto de inyección de fertilizantes. La mayoría de ellos consta de una cobertura exterior (metálica o de plástico) y el elemento filtrante que a su vez está compuesto por la malla y el soporte, como se muestra en la figura 3.5.

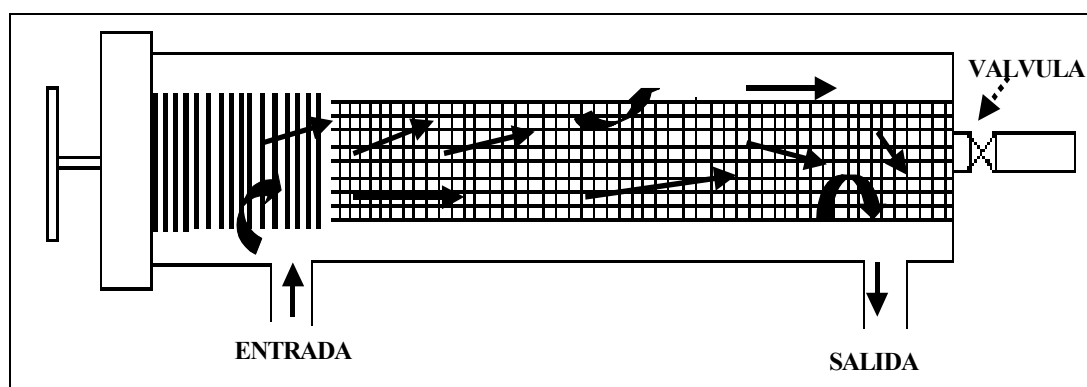


Figura 3.5 Funcionamiento del filtro de malla

A cada tipo de malla le corresponde un número de mesh, M, este es definido como el número de orificios por pulgada lineal contados a partir del centro de un hilo. El número de mesh que debe elegirse esta en función del diámetro mínimo de paso del emisor, de tal manera que la malla retenga todas aquellas partículas de tamaño superior a  $1/8$  de dicho diámetro. Los filtros normalmente utilizados están entre 50 y 200 mesh.

Tabla 3.2. Equivalencias entre No. Mesh y mm.

No. Mesh	mm	No. mesh	mm
50	0.297	120	0.125
60	0.250	140	0.105
70	0.210	170	0.088
80	0.177	200	0.074
100	0.149	230	0.062

Análogamente al caso de los filtros de hidrociclones es preferible instalar filtros más pequeños en paralelo para espaciar más las limpiezas, disminuir normalmente las pérdidas de carga y porque la probabilidad de avería simultánea de dos filtros es menor que la de uno solo.

Rain Bird (1990), recomiendan el uso de los filtros de malla donde los únicos sólidos a ser retenidos son arenas, limos y posiblemente arcilla suelta. Estas no funcionan bien removiendo materia orgánica, ya que solo pueden retener pequeñas partículas de material orgánico, como grupos o colonias de algas, que pueden tapar rápidamente éste filtro.

**Mantenimiento:**

- Los filtros de malla deben desarmarse para su limpieza, estos necesitan mantenimiento frecuente, dependiendo de la calidad del agua.
- La cantidad de contaminación remanente después de la limpieza debe ser checada visualmente.
- El lavado se controla por la válvula de lavado, esta es operada manual o automáticamente.
- El lavado debe realizarse cuando la disminución de presión a través de la malla alcanza alrededor de 5 psi. Esto se observa en la figura 3.6

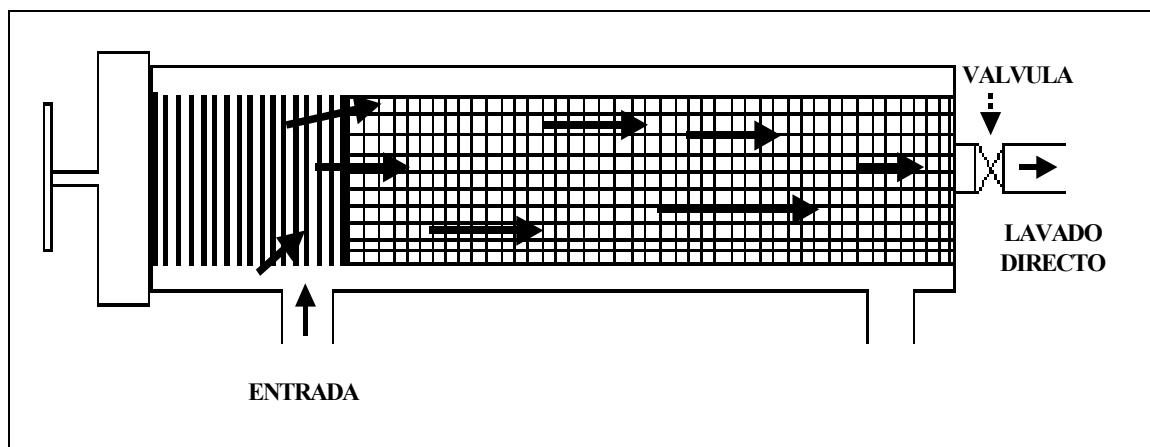


Figura 3.6 proceso de lavado directo del filtro de malla.

### 3.3.1.3 Filtros de arena

En estos equipos de filtrado, los depósitos son fabricados con placas metálicas o de plástico reforzado, son parcialmente llenados de un medio poroso comúnmente arena de diferentes calibres en el que, por adherencia, se fija la materia orgánica y quedan retenidas en sus poros las partículas minerales. Este equipo de filtrado es el primer elemento que debe instalarse en el cabezal tras el filtro hidrociclón. La figura 3.7 muestra el funcionamiento de los filtros de arena.

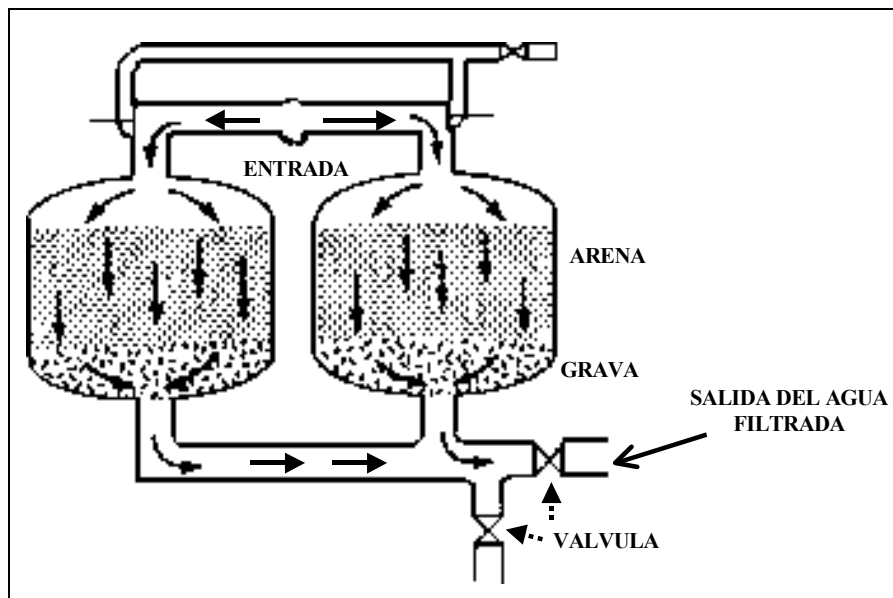


Figura 3.7 Filtros de Arena

Las características filtrantes dependen de la sección y longitud del lecho, así como de las propiedades granulométricas de éste, por lo tanto es importante conocer lo siguiente:

- ❖ Curva volumétrica; es la representación del porcentaje (%) en peso de arena que atraviesa a cada tamiz de una serie normalizada. El diámetro eficaz de la arena a utilizar debe ser igual al diámetro mínimo de paso del emisor.



❖ Friabilidad; Un material friable es aquel que se fractura con facilidad, cambiando su diámetro efectivo y sus características filtrantes. Este es un inconveniente que debe estar limitado en la arena, la tipificación de la friabilidad de la arena se muestra en la tabla 3.3

Tabla 3.3. Tipificación de la friabilidad de una arena

Clasificación	Friabilidad (mm)	
	1° trituración	2° trituración
Muy buena	6 a 10	15 a 20
Buena	10 a 15	20 a 25
Mediocre	15 a 20	25 a 35
Rechazable	>20	>35

❖ Resistencia al ácido; no debe tolerarse una pérdida importante por ataque de ácido, si se presenta esta debe ser inferior al 20%, después de 24 horas en contacto con la solución de CIH al 20%.

Una selección de formas y tamaños de arena, permite tener un nivel de remoción del tamaño de partículas igual al que se obtiene con los diferentes tamaños de mesh en los filtros de malla. Esto se muestra en la tabla 3.4.

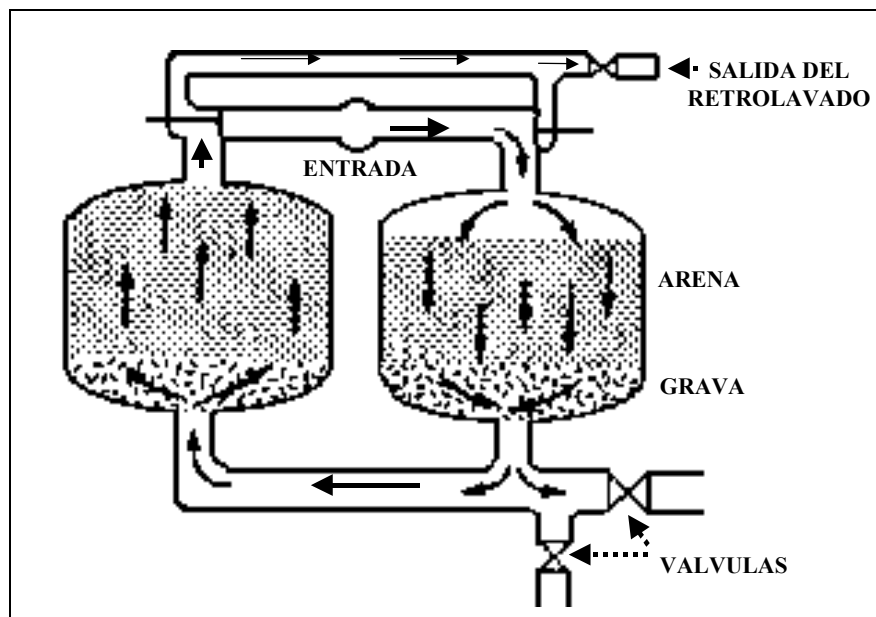
Tabla 3.4 Comparación entre tamaño de arena y su equivalente en mesh de malla.

Designación de No. de arena	Equivalente mesh malla
8 Granito molido	70 – 140
11 Granito molido	140 – 200
16 Arena sílicea	140 – 200
20 Arena sílicea	200 – 230

### Operación y mantenimiento:

Rain Bird (1990), menciona que la operación más importante que debe llevarse a cabo en cualquier filtro de arena es el adecuado retrolavado, cambiando la dirección del flujo de agua en el filtro). Esto requiere un sistema de filtrado, que tenga cuando menos 2 filtros; uno de los filtros proporciona el agua para retrolavar al otro y viceversa, como se muestra en la figura 3.8.

Un adecuado mantenimiento de un filtro de arena consiste en revisar el nivel de arena en el filtro y volverlo a llenar si es necesario. Aún en el sistema de retrolavado más cuidadosamente controlado, se pierde eventualmente algo de arena. Una regla empírica, es que el retrolavado probablemente debe empezar cuando la disminución de presión entre el manómetro de entrada y el de salida aumente de 5 a 10 psi.



**Figura 3.8 Proceso de Retrolavado de los Filtros de Arena**

### 3.3.2 Inyección de fertilizantes

Montalvo (1991), señala que la inyección de fertilizantes se debe realizar en el cabezal, antes de los filtros de malla y la fertirrigación debe terminar, al menos, 15 minutos antes que el agua de riego deje de salir a través del emisor más alejado, con el fin de lavar los productos químicos y evitar su precipitación.

Los métodos actuales de inyección son los siguientes:

#### ❖ Método de Venturi

El venturi está constituido de tres partes principales como son: Tobera, Garganta y Difusor. La Garganta es de un diámetro más pequeño, de manera que el agua alcanza una velocidad tan elevada que la presión se hace negativa. Lo anterior ocasiona una diferencia de presión entre la atmosférica y la establecida en la garganta, causante del flujo de solución fertilizante entre el depósito y la garganta. La presión en la garganta, para una presión de entrada dada, es menor cuando mayor es el gasto.

El venturi debe ser resistente a los químicos y al calor que se produce cuando los químicos se mezclan con el agua. La cantidad de flujo de fertilizantes a través de un venturi se puede ajustar y medir por medio de válvulas y medidores de flujo. Este sistema de inyección es el más barato; pero el que más pérdidas provoca, ya que son nunca inferiores al 30% de la presión de entrada.

El equipo de venturi funciona de dos maneras distintas como se señala a continuación:

a) Por presión diferencial generada por válvula.

Estos inyectores se instalan para derivar un gasto de la tubería principal al sistema de riego, aguas arriba de una válvula. El agua derivada entra en un ramal de menor diámetro, en el que se coloca un dispositivo conocido como venturi, que consiste en una reducción del área normal de paso del agua, de manera que al pasar el agua por esta sección aumenta su velocidad en ese punto, al iniciar la ampliación se conecta una entrada de agua o solución, en este punto se genera una succión que se aprovecha para aplicar soluciones de agroquímicos (L. J. 1992).

b) Por presión generada por bomba centrífuga

En este caso se utilizan bombas centrífugas para generar una diferencia de presión entre dos puntos de la tubería principal, permitiendo de esta forma la inyección de la solución fertilizadora. La succión de la bomba se instala en la tubería principal y la descarga se conecta al inyector venturi, de tal forma que al funcionar, bombea un gasto seleccionado para que pase por el cuerpo del venturi generando así la succión de la solución fertilizadora que se incorpora a la tubería y es conducida hasta la tubería principal para ser distribuida en el sistema de riego (L. J. 1992).

❖ **Bomba de inyección accionada eléctrica o hidráulicamente**

Este sistema es el más preciso y a la vez el más caro. La inyección accionada eléctricamente, el gasto inyectado se regula, normalmente, variando el recorrido del elemento impulsor y con ello el volumen inyectado en cada ciclo. Las inyecciones accionadas hidráulicamente, extraen la energía para su funcionamiento de la red, que debe tener un valor mínimo dependiente del modelo. Además su funcionamiento se verá afectado por las posibles fluctuaciones de presión.

### **3.3.3 Otros Componentes**

#### **❖ Válvula aliviadora de Aire.**

Estos equipos permiten la salida del aire en aquellos puntos especiales de la instalación donde puede acumularse, como codos, partes elevadas de tuberías, filtros, tanques de fertilización, etc. Es importante su colocación, ya que al no eliminar el aire, distorsionaría la presión y caudales de funcionamiento de la instalación y, en ocasiones, la rotura de la misma.

#### **❖ Válvula de retención (Check)**

Las válvulas se colocan intercaladas en la tubería y tienen una doble misión: romper la columna de agua y reducir, por tanto, el golpe de ariete que se produce al abrir o cerrar una instalación, y evitar el retroceso del agua, que puede causar la contaminación de la fuente de suministro del agua.

Estos equipos se colocan en la tubería principal cuando el punto de captación es elevado y existe presión natural, o en el cabezal, para evitar el retorno del agua que contiene los elementos nutritivos.

#### **❖ Manómetros y medidores de Gasto**

Estos accesorios son importantes, ya que permiten el monitoreo constante del sistema, a la vez permite indicar los programas de mantenimiento. Esta es la única manera de determinar el funcionamiento adecuado del sistema. La función principal del manómetro es el indicar la presión con la que está siendo conducida el agua en el sistema. Este dispositivo es un valioso indicador para la detección de anomalías en el funcionamiento del equipo, ya que a presiones más bajas o más altas que las del proyecto, corresponderán o obstrucciones,

taponamientos o fugas en el equipo, por lo tanto será necesario corregirlo para proporcionar adecuadamente el agua a los cultivos.

Referente a los medidores de gasto, tienen gran importancia para el riego por goteo, ya que este método es altamente tecnificado ya que a través del agua de riego se aplican los fertilizantes, por otra parte es indispensable tener un control estricto de los volúmenes de agua que se aplican con el equipo, es necesario que estos dispositivos registren los volúmenes acumulados y el gasto instantáneo; de esta forma se pueden obtener las dos informaciones más importantes respecto a los volúmenes de agua que se aplican.

### **3.4 Problemática de los taponamientos en emisores**

Montalvo (1991), menciona que el taponamiento de los emisores es el problema más grande que se tiene en los sistemas de riego por goteo. Aún con el sistema de filtrado adecuado a las características del agua y del emisor, prevalece el riesgo de taponamiento de origen químico y físico debido a precipitaciones y desarrollo de colonias bacterianas, respectivamente, aparte de que el filtrado nunca será perfecto.

#### **3.4.1 Sólidos en suspensión.**

El taponamiento de los emisores frecuentemente es producido por arena, limo o algunos pequeños sólidos en suspensión. Esto ocurre, aún cuando los sólidos suspendidos en el agua de riego sean mucho más pequeños que el diámetro del orificio del emisor. Lo anterior sucede cuando suficientes partículas sólidas son acuñadas entre sí formando un tapón, este problema se incrementa cuando la materia orgánica, bacterias o sales químicas precipitadas unen o cementan aún más los sólidos entre sí (Rain Bird, 1990). Los niveles de riesgo ocasionados por sólidos en suspensión se muestra en la tabla 3.5

Tabla 3.5. Niveles de riesgo esperados en aguas con cantidades variables de sedimentos o sólidos suspendidos.

<b>Niveles de riesgo*</b>	<b>Sólidos suspendidos en mg/l</b>
Baja	Menos de 40
Moderado	de 41 a 80
Alto	Más de 180

\* Estos niveles señalados en la tabla 1.5 asumen que:

- 1) Los sedimentos suspendidos acarrean niveles de nutrientes que son capaces de sostener desarrollo biológico, el cual puede provocar unión de sedimentos.
- 2) Los emisores son de tamaño capilar (los emisores de diámetros mayores pueden manejar cantidades mayores).

### **3.4.2 Diferentes tipos de precipitados**

Los tipos precipitados más comunes son los siguientes:

#### **1) Carbonatos de calcio y magnesio.**

Algunas aguas contienen bastante de los componentes básicos, calcio, magnesio y bicarbonato, los cuales reaccionan entre sí, para formar sólidos que pueden tapan un emisor.

Los precipitados son fundamentalmente carbonatos, de color blanco, o de hierro, manganeso y azufre, al oxidarse desde su estado reducido y disuelto.

La precipitación de carbonatos se impide disminuyendo el pH del agua de riego hasta 5.5 ó 6, acidificando con  $\text{HNO}_3$  ó ácido sulfúrico.

Para el determinar la cantidad de ácido sulfúrico requerido, se utilizan las siguientes fórmulas:

(A) Para el análisis de agua con bicarbonato expresado en partes por millón (ppm) ó miligramos por litro (mg/l).

⇒ Si las unidades están expresadas en litros de ácido por cada metro cúbico de agua que pasa a través del sistema de riego.

$$\text{CR} = \text{C} * 0.46$$

Donde:

CR= Cantidad de ácido sulfúrico requerido (lt)

C = Concentración de  $\text{HCO}_3$  (ppm)

(B) Para análisis de agua con bicarbonato expresado en miliequivalentes por litro (meq/lt).

⇒ Si las unidades están expresadas en litros de ácido por cada metro cúbico de agua que pasa a través del sistema de riego.

$$\text{CR} = \text{C} * 15.2$$

Donde:

CR= Cantidad de ácido sulfúrico requerido (lt)

C = Concentración de  $\text{HCO}_3$  (meq/lt)



## **2) Sulfuros de fierro y manganeso.**

El fierro y manganeso disueltos más los sulfuros llegan, bajo ciertas condiciones, a formar un precipitado negro insoluble de sulfuro, que es muy difícil de eliminar de un sistema de riego. La presencia de sulfuros en cantidades de 0.5 ppm ó más, causa problemas severos de taponamiento.

## **3) Oxidos de fierro y manganeso**

El oxido férrico, no es muy soluble en el agua, por lo tanto se forma un precipitado que causan taponamiento de los emisores. Lo anterior se conoce comúnmente como moho. El fierro en concentraciones bajas como 0.1 ppm, tiende a tapar emisores. La precipitación de fierro dentro de un sistema de riego parece ser un problema peor en un sistema que no está operando continuamente, ya que durante el periodo en que el sistema está apagado, los precipitados de fierro se forman más fácilmente.

Para disminuir este problema, se recomienda la inyección de cloro a la línea de suministro que conduce el agua de la bomba a la unidad de filtrado. La reacción entre el cloro y el fierro soluble para formar fierro insoluble ocurre rápidamente, mientras haya suficiente turbulencia en la línea de suministro para provocar la mezcla, el precipitado de fierro insoluble es eliminado entonces del agua de riego por los filtros de arena. El cloro necesario es 1.4 partes de cloro por cada 1.0 parte de fierro.

### 3.4.3 Contaminación orgánica o biológica

Rain Bird (1990), menciona que la contaminación por compuestos orgánicos causa una disminución en el gasto del sistema, como consecuencia de:

⇒ Sobrecargando o tapando los filtros.

⇒ Acumulamiento en las líneas y emisores hasta causar taponamiento.

⇒ Fungiendo como fuentes de alimento a microorganismos que pueden luego crecer para causar taponamiento.

Las principales fuentes de contaminación orgánica o biológica son las algas y bacterias, las aguas superficiales y, en general, las expuestas a la luz solar son un medio adecuado para el desarrollo y propagación de las algas, que a su vez llegan a ser alimento de bacterias. Al eliminar en lo posible la acción de la luz solar, se reduce este foco de obstrucción, complementando con la adición de productos alguicidas.

La acción directa contra las bacterias se obtiene con la aplicación de químicos, siendo el cloro el más utilizado, en forma gaseosa o como hipoclorito de sodio, inyectándose antes de los filtros de arena.

Existen tres fuentes principales de cloro, estas son las siguientes:

1.- Hipoclorito de calcio

2.- Hipoclorito de sodio

3.- Gas de cloro

Tabla 3.6 Comparación de materiales que proporcionan cloro

Fuente de cloro	Cantidad necesaria para aplicar 1 libra (454 g) de Cl <sub>2</sub>	Cantidad necesaria por acre-pie (1233 m <sup>3</sup> ) para dar 1 ppm (mg/l)
Hipoclorito de calcio 65 – 70 % Cloro	1.5 lb (681 g)	4.0 lb (1816 g)
Hipoclorito de sodio 5% Cloro	2.0 gal (7.6 lt)	5.4 gal (20.4 lt)
10 % Cloro	1.0 gal (3.8 lt)	
15 % Cloro	0.7 gal (2.5 lt)	1.8 gal (6.8 lt)
Cloro gaseoso	1.0 lb (454 g)	2.7 lb (1226 g)

Rango de aplicación de Cloro:

❖ **Hipoclorito de calcio como fuente**

$$RI = G * C * 0.006 / P$$

Donde:

RI = Rango de inyección de la solución de cloro (gal/hr)

G = Gasto del sistema (gpm)

P = Porcentaje de cloro en la solución maestra (1%)

❖ **Hipoclorito de sodio como fuente**

$$RI = G * C * 0.006 / P$$

Donde:

RI = Rango de inyección de la solución de cloro (gal/hr)

G = Gasto del sistema (gpm)

P = Porcentaje de cloro en la solución maestra (5.25, 10 ó 15 %), dependiendo de la concentración disponible.

### 3.5 Programación del Riego

Castilla (1989), menciona las bases teóricas y los medios materiales para fijar el momento del riego y la cantidad de agua a utilizar. Para comprenderlo, habitualmente se expresa con las palabras **cuando, cuanto y como** regar y en ello consiste la programación del riego.

La programación se basa en la evolución de la humedad del suelo, diversos parámetros de la planta y/o microclima del medio ambiente. Los modernos sistemas de riego localizado de alta frecuencia: goteo, exudación, permiten hoy en día, obtener condiciones de humedad próximas a las óptimas para la absorción del agua por las raíces, al poder suministrar agua al medio radicular en la cantidad y frecuencia deseadas.

El concepto de disponibilidad del agua del suelo ha sido durante años el criterio básico para la programación del riego. Inicialmente, se admitía que la disponibilidad del agua para la planta era similar en todo el rango contenido entre la capacidad de campo (CC) del suelo hasta alcanzar el punto de marchitez; sin embargo, hoy se sabe que la disponibilidad de agua disminuye con el contenido de agua en el suelo y que las plantas pueden sufrir estrés hídrico, que afecta a su crecimiento y cosecha, mucho antes de llegar al punto de marchitez.

Se ha definido el umbral de humedad del suelo, por encima del cual no hay estrés hídrico para el cultivo mientras que, por debajo, disminuyen el crecimiento y la producción, al inducir estrés hídrico, se reduce la transpiración y, en consecuencia, la fotosíntesis. Este umbral es el déficit de humedad admisible (DHA) y el que determina la frecuencia y dosis de riego. Se sabe que el suelo puede retener, como máximo, una determinada cantidad de agua y al mencionarse que la planta necesita que en el suelo haya una cantidad mínima para poder extraerla sin disminuir la cosecha.

El contenido de agua en el suelo agrícola debe de estar siempre entre los valores de Déficit de Humedad Admisible. Si el máximo se sobrepasa de una manera permanente habrá que drenar; si por el contrario no se alcanza el mínimo, hay que regar. El establecer el momento del riego y la dosis, exige controlar el agua existente a nivel radicular, sin permitir que el contenido descienda por debajo del límite mínimo.

Los métodos más empleados para programar los riegos son tres: método del balance del agua en el suelo, métodos basados en parámetros del suelo y métodos basados en parámetros de planta.

En el riego localizado de alta frecuencia (RLAF) el volumen del suelo mojado es sólo un porcentaje del total regado en cultivos leñosos; mientras en cultivos hortícolas, y más en invernadero, el porcentaje es mayor y cercano en muchos casos al 100%.

### 3.5.1 Valores del agua en el suelo

García (1997), menciona los siguientes valores:

#### ❖ **Capacidad de Campo, CC**

La capacidad de campo de un suelo representa el contenido de humedad que se alcanza cuando, una vez completamente humedecido, se deja drenar libremente durante 24 ó 48 hrs.

#### ❖ **Punto de Marchitez Permanente, PM**

Se conoce como punto de marchitez permanente de un suelo, al contenido de humedad bajo el cual se marchita una planta en crecimiento. Al igual que la

capacidad de campo, no es una constante del suelo ni sólo depende de él. No hay un valor único del contenido de agua para el que las plantas dejan de extraerla.

Su valor puede estimarse a partir de la expresión:

$$PM = K * CC$$

Donde:

K = Esta en función del suelo: 0.67 para textura fina, 0.56 para media y 0.50 con gruesa.

❖ Agua útil, AU

Es la diferencia entre el contenido de humedad a la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente.

$$AU = CC - PM$$

Las tablas 3.7 y 3.8 muestran valores de Capacidad de Campo (CC), Punto de marchitez permanente (PM) y Agua Util (AU) para distintos suelos

Tabla 3.7 Capacidad de campo, punto de marchitez y agua útil

Textura (suelo)	Contenido humedad (% peso seco)			
	CC	PM	AU	AU (mm/m)
Arenosa	6 – 12 (9)*	2 – 6 (4)	5	85
Franco –Arenosa	10 – 18 (14)	4 – 8 (6)	8	120
Franca	18 - 26 (22)	8 – 12 (10)	12	170
Franco – Arcillosa	25 – 31 (27)	11 –15 (13)	14	190
Arcillo – Limosa	27 – 35 (31)	13 – 17 (15)	16	210
Arcillosa	31 – 39 (35)	15 – 19 (17)	18	230

\*Valor medio

Tabla 3.8 Agua útil (mm/m), en función de la tensión matricial del suelo

Textura suelo	Tensión de humedad (atm)			
	0.2	0.5	2.5	16
Arcillosa pesada	180	150	80	0
Arcillo – Limosa	190	170	100	0
Franca	200	150	70	0
Franco – Limosa	250	190	50	0
Franco – Arcillo – Limoso	160	120	70	0
Franco – Arcillo – Arenosa	140	110	60	0
Franco – Arenosa	130	80	30	0
Arenosa fina – Limosa	140	110	50	0
Arenosa fina – Medio	60	30	20	0

❖ Déficit de humedad de campo, DHC

Es la diferencia entre el contenido de humedad a la capacidad de campo y el contenido real de humedad en el suelo.

❖ Déficit de humedad admisible, DHA

La planta puede llegar a la marchitez con un contenido de humedad en el suelo relativamente alta, en condiciones de demanda evaporativa alta, por lo tanto no debe dejarse que el contenido de humedad del suelo llegue al límite inferior del agua útil.

Se define como déficit de humedad admisible, la máxima disminución de la humedad permitida por debajo de la capacidad de campo. Es decir:

$$DHA = \alpha * Z * AU$$

Donde:

$\alpha$  = Es un coeficiente que depende del cultivo, de su estado vegetativo y del sistema de riego.

**z** = Es la profundidad radicular (m) y expresado el agua útil en mm/m.

Mientras  $DHC < DHA$  no será necesario regar, pero en el momento en que  $DHC = DHA$  debe regarse con una dosis tal que, deducidas las pérdidas por aplicación y las posibles necesidades de lavado, aporte al volumen radicular la cantidad de agua necesaria (DHA).

### 3.5.2 Determinación de la Evapotranspiración del Cultivo (Etc)

Amorós, M. (1991) señala que el conjunto de procesos de evaporación de agua desde el suelo (E) y evaporación de agua través de la planta (principalmente de las hojas) o transpiración (T), se le conoce como evapotranspiración (ET) y equivale el consumo neto del agua por la planta.

Cadahía, C. (1998), indica que para realizar cuantificación de la evapotranspiración del cultivo (Etc) o ET máxima del cultivo, que implicaría la máxima producción en condiciones no limitantes de suministro hídrico, es expresado por la siguiente expresión:

$$ET_c = K_c * ET_o$$

Donde:

**K<sub>c</sub>** = Es el coeficiente de cultivo, cuyo valor depende (porte y desarrollo, época de plantación o siembra)

**E<sub>to</sub>** = Es la evapotranspiración de un cultivo de referencia que se toma como patrón y que depende de las condiciones climáticas existentes.

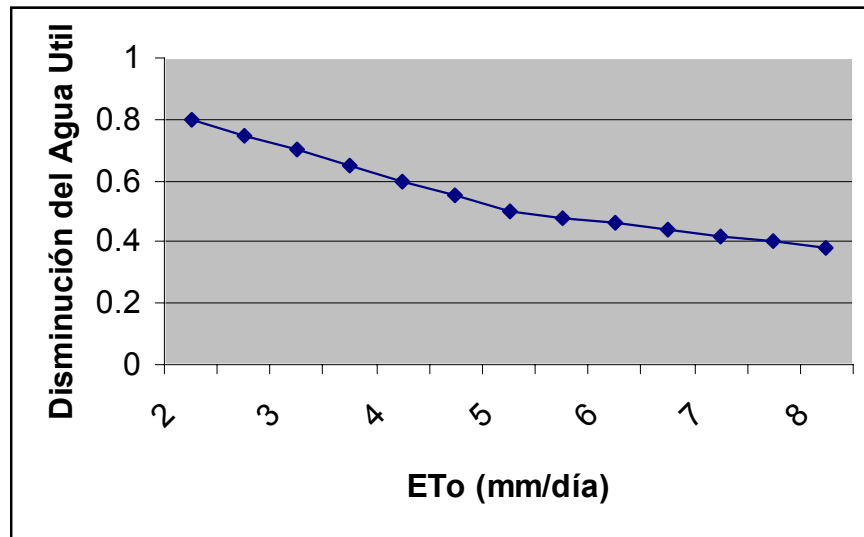


Tabla 3.9 Evolución de los valores del coeficiente de cultivo (Kc) por quincena, de algunas especies hortícolas

Periodo (días)	Tomate	Pimiento	Pepino	Melón	Sandía	Judía	Berenjena
1-15	0.25	0.20	0.25	0.20	0.20	0.25	0.20
16-30	0.50	0.30	0.60	0.30	0.30	0.50	0.35
31-45	0.65	0.40	0.80	0.40	0.40	0.70	0.55
46-60	0.90	0.55	1.00	0.55	0.50	0.90	0.70
61-75	1.10	0.70	1.10	0.70	0.65	1.00	0.90
76-90	1.20	0.90	1.10	0.90	0.80	1.10	1.10
91-105	1.20	1.10	0.90	1.00	1.00	1.00	1.05
106-120	1.10	1.10	0.85	1.10	1.00	0.90	0.95
121-135	1.00	1.00	---	1.10	0.90	---	0.85
136-150	0.95	0.90	---	1.00	---	---	0.80
151-165	0.85	0.70	---	---	---	---	0.80
166-180	0.80	0.60	---	---	---	---	0.80
181-195	0.80	0.50	---	---	---	---	0.80
196-210	0.80	0.50	---	---	---	---	0.80
211-225	---	0.60	---	---	---	---	0.80
226-240	---	0.70	---	---	---	---	0.60
241-255	---	0.80	---	---	---	---	0.60

### 3.5.3 Disminución máxima de agua útil, $\alpha$

Cuando el cultivo presenta una elevada demanda de agua, se debe proporcionar las condiciones adecuadas para que la extracción del suelo sea más fácil. Como la fuerza con que el suelo retiene al agua aumenta al disminuir la cantidad retenida, se comprende que los valores de  $\alpha$  deban ser tanto menores cuanto mayor sea la evapotranspiración y la sensibilidad del cultivo a la falta de agua. La disminución del agua útil para el cultivo de melón se observa en la gráfica 3.1



Gráfica 3.1 Disminución del agua útil de acuerdo a la evapotranspiración para el cultivo de melón.

#### 3.5.4 Necesidades de riego brutas, $R_b$

Del agua aplicada en el riego tan sólo una parte de ella queda a disposición de las raíces, debido a las pérdidas por escorrentía (si las hay, pues en un riego por goteo bien diseñado y manejado deben ser nulas) y a la prácticamente inevitable percolación o lixiviación profunda, necesaria en el caso de empleo de aguas salinas para alejar las sales del entorno radicular.

La falta de uniformidad en la aplicación del agua implica que para cubrir las necesidades netas de agua ( $R_n$ ) se tenga que aportar más agua ( $R_b$ ) para cubrir las necesidades de riego brutas y permitir que las plantas que menos agua reciben (por falta de uniformidad) cubran sus necesidades netas. El coeficiente de eficiencia de aplicación de riego ( $E_a$ ), inferior a 1,0 expresa la función entre el agua almacenada en el perfil del suelo a disposición de las raíces y el agua aplicada, indicándose como:

$$E_a = K_s * E_u$$

Donde:

$K_s$  = Es un coeficiente que cuantifica la eficiencia de almacenaje del agua en el suelo, es del orden de 0.9 en suelos arenosos y de 1.0 en suelos limosos o arcillosos).

$E_u$  = Es un coeficiente que refleja la uniformidad de emisión del agua, en un sistema de riego por goteo bien diseñado y manejado,  $E_u = 0,85 - 0.95$ .

Cuando se utilizan aguas salinas, es necesario añadir una cantidad complementaria de agua para asegurar el proceso de drenaje de sales; esta fracción de lavado, dependiente de la salinidad del agua empleada, representada por Lamina de Riego (LR), esta es la mínima cantidad de drenaje necesario para mantener la salinidad del suelo dentro de unos límites que no impliquen reducción en la producción.

En el riego localizado de alta frecuencia, cantidad de agua se conoce por:

$$LR = \frac{EC_w}{(2 \text{ Max } EC_e)}$$

Donde:

LR = Lámina de riego

Max  $EC_e$  = Máxima conductividad eléctrica tolerable del extracto de saturación del suelo del cultivo, como se muestra en la tabla 3.10

Una vez conocida la lamina de Riego (LR), las necesidades de riego brutas (Rb) serán:

$$Rb = \frac{Rn}{[Ea (1 - LR)]}$$

Tabla 3.10 Grado de tolerancia de algunos cultivos a las sales, según el rendimiento esperado .

( en % de la cosecha máxima)

Cultivo	100%		90%		80%		50%		Max. ECe
	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	
Judía Verde	0.7	1.0	1.0	1.5	1.5	2.3	2.4	3.6	6.5
Brécol	1.9	2.8	2.6	3.9	3.7	5.5	5.5	8.2	13.5
Melón	1.5	2.2	2.4	3.6	3.8	5.7	6.1	9.1	16.0
Pepino	1.7	2.5	2.2	3.3	2.9	4.4	4.2	6.3	10.0
Patata	1.1	1.7	1.7	2.5	2.5	3.8	3.9	5.9	10.0
Lechuga	0.9	1.3	1.4	2.1	2.1	3.2	3.4	5.2	9.0
Cebolla	0.8	1.2	1.2	1.8	1.8	3.2	2.9	4.3	8.0
Pimiento	1.0	1.5	1.5	2.2	2.2	3.3	3.4	5.1	8.5
Espinaca	1.3	2.0	2.2	3.3	3.5	4.9	5.7	8.6	15.0
Fresa	0.7	1.0	0.9	1.3	1.2	1.8	1.7	2.3	4.0
Tomate	1.7	2.5	2.3	3.5	3.4	5.0	5.0	7.6	12.5

### 3.5.5 ¿Cómo regar?

Este criterio consiste fundamentalmente en la forma en que se deben distribuir los goteros, en relación con las plantas, se hace la consideración de que las tuberías regantes y goteros, deben estar colocados sobre el terreno, para lo cual, deben considerarse dos cultivos.

#### ❖ Cultivos anuales (especialmente hortalizas, maíz y flores).

En este caso, se puede seguir considerando la misma cantidad de plantas por hectárea que recomienda la experimentación agrícola, pero para la aplicación del agua debe de modificarse la distribución de ella en el terreno de acuerdo con lo siguiente:

- Usar una línea de goteros para cada dos hileras de plantas, colocando la hilera de goteros en medio de las hileras de plantas.
- Los goteros deben de colocarse a cada 50 cm como máximo.
- Ver la posibilidad de que la descarga de los goteros no sea mayor de 2 lph
- La separación entre hileras de plantas debe de ser entre 50 y 60 cm.

#### ❖ Cultivos perennes (árboles frutales y vid)

Durante la aplicación del agua, deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos de tipo general:

- Utilizar una o dos hileras de goteros por hilera de árboles.
- Utilizar goteros con descarga no menor a 4 lph.
- La separación entre goteros no debe ser mayor a 1 metro.
- La colocación del gotero más cercano aún árbol, debe estar a una distancia no menor de 25 cm.

Además de lo anterior, se deben considerar los siguientes tres casos:

- a) Plantas perennes de área pequeña.- Se deben utilizar tres goteros por árbol colocados en línea; en el caso de la vid, se usa goteros cada metro.
- b) Árboles de área mediana.- A estos árboles generalmente se les asigna entre 4 a 6 goteros por árbol.
- c) Árboles de área grande.- Para este caso se usan de 7 a 8 goteros por árbol.

### 3.5.6 Coeficiente de uniformidad de emisión (Eu)

Montalvo, T. (1995), menciona que es muy difícil, de no ser que imposible, dar un riego de tal forma que el agua aplicada lo sea de modo uniforme; siempre habrá diferencias dentro de la superficie regada.

La eficiencia de la distribución del agua se mide con el coeficiente de uniformidad, Eu, que se define para un riego localizado como:

$$Eu = \frac{q_{25}}{q}$$

Donde:

q = Caudal medio de todos los emisores.

q<sub>25</sub> = Caudal medio del cuarto más bajo.

La Eficiencia de Uniformidad de una subunidad de riego no depende solamente del coeficiente de variación del emisor, (Cv), sino también de las diferencias de

presión, pérdidas y diferencias de cotas, de la obstrucción de los emisores que depende del manejo y del tipo de emisor y de la variación de temperatura.

En el supuesto, prácticamente imposible, de presión constante en toda la subunidad, ausencia de obstrucción y temperatura constante; la máxima uniformidad de emisión es, para un emisor por planta:

$$Eu = 1 - 1.27 Cv$$

Por lo que el máximo valor posible del Coeficiente de Uniformidad (**Eu**), en función del Coeficiente de Variación (**Cv**), aparece en la tabla 3.11

Tabla 3.11 Valores máximos de **Eu**

<b>Cv</b>	<b>Eu</b>	<b>Cv</b>	<b>Eu</b>
0.01	0.99	0.06	0.92
0.02	0.97	0.07	0.91
0.03	0.96	0.08	0.90
0.04	0.95	0.09	0.89
0.05	0.94	0.10	0.87

## **IV REVISION DE LITERATURA DE FERTIRRIGACION**

### **4.1 Fertirriego**

El fertirriego es la aplicación de fertilizantes a los cultivos por medio del agua de riego, así mismo la aplicación de los agroquímicos al suelo o a los cultivos por este medio, se le denomina quimigación.

También se entiende por fertirrigación, a la aplicación de los fertilizantes y más concretamente, a los elementos nutritivos que abastecen a los cultivos, conjuntamente con el agua de riego, se trata por lo tanto, de aprovechar los sistemas de riego como medio para la distribución de estos elementos nutritivos disueltos en el agua. (Domínguez, 1993).

La fertirrigación es una técnica que nace con el empleo de los sistemas de riego por goteo, es un método de aplicación del agua de manera eficiente y frecuente con los mínimos desperdicios del agua así como de los fertilizantes al ser aplicados mediante este sistema. (Burgueño, 1997).

#### **4.1.1 Generalidades de la fertirrigación**

Maroto Borrego (1991), menciona que para llevar acabo con éxito una determinada dosis de fertirrigación es necesario disponer una serie de datos y proveer un amplio abanico de posibilidades. Al margen del tipo de suelo y agua, resulta primordial conocer las extracciones concretas del cultivo y hacer posible la variación en la absorción de cada uno de los elementos a lo largo del ciclo



para tratar de correlacionar la solución nutritiva con las propias exigencias de la planta. En la fertirrigación existe una serie de aspectos que se debe tener en cuenta y que no siempre se tratan adecuadamente, derivados de la propia esencia del método, es decir, de la confección y el manejo de las soluciones nutritivas. En relación con el establecimiento de las mezclas, una gran mayoría de los autores consideran como parámetros importantes las compatibilidades entre las sales, su solubilidad y acidez. Otras por razones obvias, hablan de la potencialidad de salinización de los fertilizantes.

En cualquier caso parece lógico indicar que los cuatro parámetros son: Compatibilidad, solubilidad, acidez y grado de salinización, son los fundamentos que debe conocer a la hora de elaborar una solución nutritiva. (Maroto Borrego, 1991).

Como regla general cualquier fertilizante para riego localizado debe reunir las siguientes características:

- Se debe tener cuidado con el contenido de cloruros, sulfatos y sodio, capaces de incrementar sin necesidad el contenido salino o alcalino del suelo, principalmente en las zonas con suelos y aguas de altos niveles salinos.
- La reacción debe ser neutra o ácida, a fin de evitar problemas de obstrucciones derivadas de la formación de precipitados.
- Totalmente solubles en agua, libres de impurezas, con objeto de no obturar los sistemas de aplicación de fertilizantes y los sistemas de filtrado.
- Una adecuada solubilidad a la temperatura normal de trabajo. Los fertilizantes totalmente solubles necesitan un volumen mínimo de agua para disolverse y estos varía según la temperatura del agua.

- Se debe tener buena miscibilidad y compatibilidad con otros productos a utilizar, lo que permite aplicar varios productos a la vez.

En caso de fertilizantes líquidos debemos conocer su densidad para que permita transformar las unidades de masa a volumen además de comprobar posibles adulteraciones de fertilizante. También debe tenerse en cuenta que estos fertilizantes, al ser soluciones saturadas, si se someten a situaciones de bajas temperaturas pueden favorecer depósitos de cristales, induciendo no sólo problemas de obstrucciones sino alteraciones en la concentración de la solución restante.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que la aplicación de productos puede atacar a los materiales de la instalación, principalmente a los accesorios metálicos situados después del punto de entrada del fertilizante o producto químico a la red.

Es importante tener especial cuidado en la compatibilidad de los abonos, de forma que no formen precipitados al mezclarse, ya que tendríamos problemas de obturaciones en tuberías y goteros.

En términos generales, se observa que el nitrato potásico, cloruro potásico y sulfato potásico son compatibles con las mezclas en la mayoría de los fertilizantes empleados en fertirrigación.

El nitrato cálcico no es compatible con el sulfato potásico, el fosfato monoamónico, el sulfato biamónico, el ácido fosfórico, el sulfato amónico y sulfato magnésico. No es recomendable usar en fertirrigación los abonos compuestos.

No deben mezclarse abonos que lleven fósforo, hierro y calcio, ya que es seguro que formen precipitados.

### **4.1.2 Situación actual del sistema de fertirrigación**

Cadahia (1998), menciona que el riego localizado presenta numerosas ventajas respecto al sistema de riego tradicional con relación a la utilización de aguas salina y al ahorro de agua. Sin embargo, en los últimos años se ha demostrado que las mayores posibilidades de este sistema se centran en su utilización como vehículo de una dosificación racional de fertilizantes. Es decir, ofrece la posibilidad de realizar una fertilización día a día, en función del proceso fotosintético y exactamente a la medida de un cultivo, un sustrato y un agua de riego determinados para condiciones ambientales definidas.

Por otra parte, la dosificación de fertilizantes distribuidas durante todos los días del ciclo vegetativo del cultivo permite hacer frente a los posibles problemas de contaminación que puede originarse por un exceso transitorio de fertilizantes en el suelo o sustrato.

### **4.1.3 Ventajas de la fertirrigación**

Una de las principales ventajas del riego por goteo y la fertirrigación es la creciente habilidad que presenta para un adecuado manejo y aplicación de nutrientes, específicamente el incremento en el uso eficiente del nitrógeno (N) y su virtual eliminación de pérdidas por infiltración; otras ventajas son :

1) Incrementa los rendimientos y mejora la calidad de los productos debido a:

Las cantidades y concentraciones de nutrientes en este método, pueden dosificarse de acuerdo con los requerimientos del cultivo y sus etapas de desarrollo.

- ◆ Al aplicar los fertilizantes en forma soluble, se asimilan más rápidamente porque se distribuyen en las zonas de las raíces. Algunos fertilizantes son asimilables directamente, otros requieren transformación química en el suelo.
  - ◆ Las raíces del cultivo no se dañan con el fertirriego como sucede con las técnicas convencionales, y el suelo se compacta menos.
- 2) Ahorra los costos de fertilización, debido a:
- ◆ Cuando se riega con eficiencia y con alta uniformidad de distribución del agua, se requieren menos fertilizantes, que en los métodos tradicionales.
  - ◆ Se usa menos equipo y menos energía para aplicar los fertilizantes.
  - ◆ Se reducen las labores agrícolas.
  - ◆ Se necesita menos personal para supervisar la fertilización.
- 3) Facilita las labores agrícolas:
- ◆ Se puede fertilizar cuando el suelo o cultivo impiden la entrada de la maquinaria de fertilización convencional.
- 4) Reduce la contaminación:
- ◆ Si el agua se aplica uniformemente y con alta eficacia, los excedentes de riego son mínimos, la percolación y el escurrimiento de agua conteniendo fertilizante disminuyen (SAGAR, 1997).

#### 4.1.4 Desventajas de la fertirrigación

- 1) Se requiere inversión inicial.
  - ◆ Se necesita personal calificado.
  - ◆ Debe de adquirirse el equipo de fertirriego y accesorios de seguridad.
  - ◆ Los fertilizantes solubles son caros.
  
- 2) Defectos de la fertilización en sistemas mal diseñados, operados o con fugas.
  - ◆ Desperdicios de fertilizantes.
  - ◆ Contaminación de acuíferos o corrientes superficiales.
  
- 3) Necesidad de capacitar el personal para:
  - ◆ Seleccionar, manejar y dosificar fertilizantes, así como operar adecuadamente el sistema de riego.
  
- 4) Peligros al usar mezclas de fertilizantes.
  - ◆ Los fertilizantes no compatibles con otros o con el agua de riego, se precipitan.
  - ◆ Se necesita conocer la compatibilidad química de los fertilizantes, en el agua de riego.
  - ◆ Puede haber reacciones violentas.
  
- 5) Las pequeñas aperturas de los emisores se pueden tapar si no se lleva a cabo un control adecuado de fertilizantes, es decir, si no está bien diluido, o cuando no son los adecuados para este sistema.

Cadahia (1998), menciona que las desventajas son debido al mal manejo del equipo, fertilizantes, pérdida de mano de obra, inversiones iniciales, lo cuál hacen necesario considerar de gran importancia los siguientes:

- a) Problemas de contaminación de la fuente de abastecimiento, cuando el agua proviene de un acuífero, la bomba debe, tener un sistema que prevenga el contraflujo del químico al acuífero.
- b) Los requisitos administrativos mayores son importantes ya que el retraso en las decisiones de operación pueden, causar daños irreversibles al cultivo.
- c) Para aplicar el fertilizante con el agua de riego, se requiere tener tanques mezcladores, inyectores y dispositivos de prevención de contraflujo.
- d) El daño de roedores, insectos y humanos, causan fugas y reparaciones.
- e) La mala uniformidad producidas por fallas en el sistema de riego; si el sistema de riego tiene una fuga es muy probable que se tenga aplicaciones excesivas de agroquímicos en algunas partes del terreno y muy poca aplicación en otras.
- f) Las pequeñas aberturas del gotero se pueden tapar y por lo tanto requieren un adecuado sistema de filtración del agua y mantenimiento del equipo.
- g) Aumento excesivo de la salinidad del agua de riego.
- h) Manejo por personal especializado.

## **4.2 El Suelo y la Fertirrigación**

Los principales factores del suelo que influyen al fertirriego son: la textura, la capacidad de intercambio catiónico, la salinidad y el pH de la solución del suelo (Domínguez, 1993).

### **4.2.1 Textura**

El fertirriego presenta más ventajas en los suelos arenosos que en los arcillosos, específicamente en la aplicación del nitrógeno. En el caso del fósforo, ésta se mueve a mayor distancia en los suelos arenosos que en los arcillosos. Los suelos ligeros-arenosos retienen mayor humedad aprovechable y generalmente son menos fértiles que los arcillosos, a menos que tengan materia orgánica, por lo tanto, el riego es más frecuente, con láminas pequeñas y fertirriego, esto favorece especialmente el desarrollo de los cultivos (Domínguez, 1993).

### **4.2.2 Capacidad de Intercambio Cationico (CIC)**

La capacidad de intercambio catiónico, (CIC), se considera muy baja cuando es menor de 5 meq/l, baja de 5 a 15 meq/l, media de 15 a 20 meq/l, alta de 20 a 40 meq/l y muy alta mayor de 40 meq/l.

En los suelos con alta capacidad de intercambio catiónico como son los arcillosos, franco-arcilloso o con alto contenido de materia orgánica descompuesta, los nutrientes, micronutrientes, herbicidas, fungicidas y nematicidas, pueden perder su efectividad por la acción de este intercambio. En los suelos arenosos, la fertilización tiene efecto directo sobre el desarrollo de los cultivos, ya que tiene baja capacidad de intercambio catiónico, y no inhibe la acción benéfica de los nutrimentos.

En los arcillosos, la capacidad de intercambio catiónico, puede inhibir el efecto de los nutrimentos. Deben estar en buen nivel de fertilidad al momento de iniciar el fertirriego para evitar problemas de inhibiciones de nutrimentos (SAGAR, 1997).

### **4.2.3 Salinidad**

Los fertilizantes son sales, que agregadas con el agua de riego, forman una solución salina que se aplica al suelo. Cuando las sales son fertilizantes y se dosifican sin exceder los límites de calidad del agua, proveen el sobrerriego y los efectos son benéficos. Sin embargo, los efectos que producen las sales a las plantas cuando se sobrepasan los límites permisibles, son: El efecto osmótico y el efecto tóxico (cloro, sodio y boro principalmente). Para evitar problemas con el efecto osmótico se aconsejan dos acciones, primero no sobrepasar una conductividad eléctrica de 3 ms/cm y segundo, no aplicar soluciones con iones tóxicos para cultivos.

Cuando hay problemas de salinidad puede ser útil usar nitrato de potasio y fosfato de potasio en lugar de cloruro de potasio y por otra parte el nitrato de amonio y la urea deben ser seleccionados en lugar del sulfato de amonio. Los fertilizantes que contiene sodio como el nitrato de sodio son fuentes no recomendables por los efectos del sodio sobre suelos arcillosos o por la toxicidad sobre las plantas.

### **4.2.4 pH de la Solución del suelo**

El pH del suelo influye en la capacidad de las plantas de absorber nutrientes; en general puede considerarse de 6.5 a 7.5 como valores normales. Sin embargo, cada cultivo tiene un rango específico para su mejor desarrollo.



El pH del suelo depende de la cantidad y tipo de cationes presentes: mientras que en el suelo con pH bajo tiene pocos iones intercambiables, los suelos alcalinos están cercanos a la saturación de bases. El pH del suelo llega a originar desbalances nutritivos, debido a que la concentración de los iones nutritivos tienden aumentar o disminuir bajo condiciones ácidas.

Los pH altos en el suelo pueden disminuir la disponibilidad de zinc, hierro y fósforo para las plantas. No se recomienda el uso de amonio en el fertirriego, porque puede elevar el pH que se inyecta en el agua de riego. El ácido nítrico, ortofosfórico, y sulfúrico puede reducir el pH del agua de riego. La tabla 4.1 presenta la composición y acidez de algunos fertilizantes (SAGAR, 1997).

Tabla 4.1 Composición y Acidez de algunos Fertilizantes

<b>Fertilizantes</b>	<b>% N</b>	<b>% K</b>	<b>% P</b>	<b>% Ca</b>	<b>% S</b>	<b>Equivalente de Acidez*</b>
Nitrato de Amonio	33.5					62
Sulfato de Amonio	21.0				24.0	110
Aquaamonía	20.0					36
Nitrato de Calcio	15.5			21.0		-20
Urea	45.0					71
Cloruro de Potasio		66.0				Neutro
Nitrato de Potasio	13.0	44.0				23
Sulfato de Potasio		50.0				Neutro
Fosfato diamónico	18		46.0			70
Fosfato amónico		11.0	48.0			58
Acido fosfórico			52.0			110

Fuente: SAGAR, 1997.

\*Kg de CaCO que es requerido para neutralizar 100 Kg de fertilizante.

En los suelos de pH bajo, se usan fertilizantes de efecto residual alcalino y en suelos de pH alto, se pueden usar los fertilizantes de efecto residual ácido. Para casos de pH extremos de acidez o alcalinidad, se recomienda tratar el suelo con mejoradores adecuados y luego proceder el análisis del fertirriego.

## **El Agua de Riego y la Fertirrigación**

### **4.3.1 Solubilidad de los fertilizantes**

Los fertilizantes ideales no tapan los componentes del sistema de riego, son solubles en el agua de riego, no forman precipitados, grumos o natas y no cambian el pH de la solución del suelo a condiciones problemáticas. Es importante que se conozca la solubilidad de los fertilizantes en el agua, para evitar problemas de taponamiento por inyectar soluciones saturadas que pueden generar precipitados fácilmente (Domínguez, 1993). La tabla 4.2 muestra algunos fertilizantes comunes y su solubilidad aproximada en el agua. La temperatura empleada para la medida de la solubilidad, se incluyen en los renglones correspondientes.

#### **➤ Prueba de Solubilidad**

La prueba de solubilidad de fertilizantes, individual o mezclas, se realiza de la siguiente manera:

- Con la dosis de fertilizantes que se desean inyectar en el sistema de riego, conjuntamente a los gastos del sistema de riego y de inyección, se definen los volúmenes de agua y de solución fertilizadora para realizar la prueba.
- Es necesario tomar el agua de la fuente de abastecimiento que sea representativa de la calidad del agua para riego, y posteriormente se coloca en el recipiente.
- Se agrega los fertilizantes en la cantidad proporcional que les corresponde para preparar la solución fertilizadora, que debe inyectarse al sistema de riego.

- Se mezcla, agitando la solución, posteriormente se deja reposar por 24 horas, luego se observa si se genera precipitados, grumos y natas.

- Los precipitados indican que la solución fertilizadora, los puede generar dentro del sistema de riego. Los grumos y las natas también obstruyen los sistemas, adhiriéndose a las paredes de los conductos y de los dispositivos del sistema de riego.

- Cuando se presentan precipitados, grumos o natas, se debe realizar la mezcla 24 horas antes de la aplicación y poner la toma arriba del fondo para evitar succionar los precipitados; las natas se eliminan en la superficie de la solución fertilizadora y los grumos deben eliminarse en el sistema de filtración.

- Se recomienda probar otras mezclas que no originen estos problemas, también se recomienda aplicar un fertilizante cada día, para evitar la presencia de mezclas y concentraciones altas de fertilizantes en la solución (SAGAR, 1997).

Al hacer la prueba de solubilidad de los fertilizantes, se recomienda tener las siguientes precauciones:

- Siempre adicionar ácido al agua, para evitar el peligro de explosión y salpicaduras de ácido. Nunca el agua al ácido.

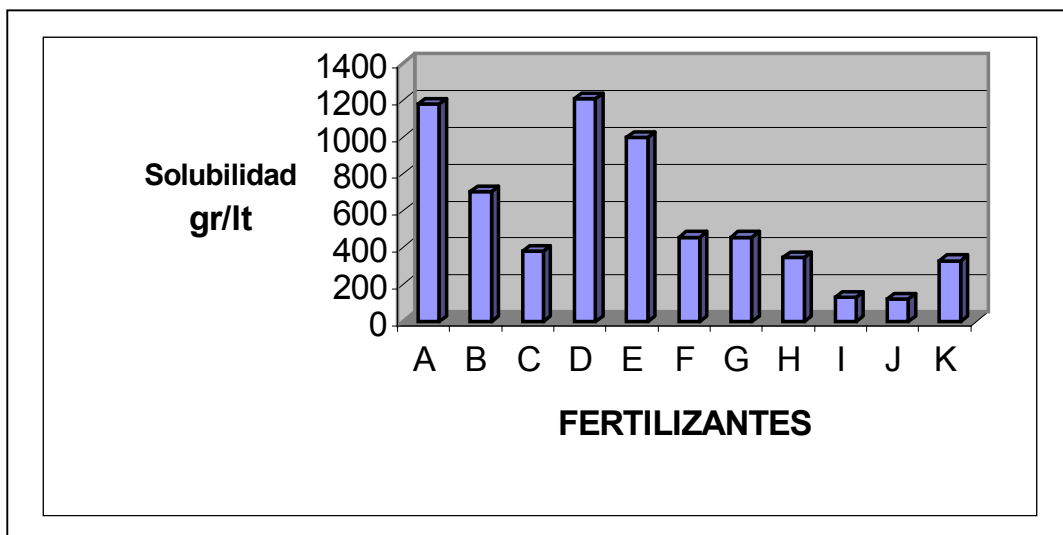
- Nunca mezcle un ácido o producto acidificado con cloro. Se puede generar gas tóxico.

- No debe mezclar amoníaco anhídrido o aquamonía directamente con cualquier ácido. La reacción es inmediata y violenta. (SAGAR, 1997).

Tabla 4.2 Fertilizantes comunes y su solubilidad en el agua

	<b>Contenido</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Solubilidad gr/lit</b>
<b>Fertilizantes Nitrogenados</b>			
Nitrato de Amonio	34-00-00	0	1182
Polisulfato de Amonio	20-00-00		Alta
Sulfato de Amonio	21-00-00	0	706
Tiosulfato de Amonio	12-00-00		Muy alta
Amoniaco Anhídrido	82-00-00	15	380
Aqua Ammonia	20-00-00		1212
Nitrato de Calcio	15.5-00-00	17.77	1000
Urea	46-00-00		Alta
Acido Sulfúrico Urea	28-00-00		Alta
Nitrato de Amonio Urea	32-00-00		
<b>Fertilizantes Fosforados</b>			
Fosfato de Amonio	08-24-00		Moderado
Polifosfato de Amonio	10-34-00		Alta
Acido Fosfórico, Verde	00-52-00		457
Acido Fosfórico, Blanco	00-54-00		457
<b>Fertilizantes Potásicos</b>			
Cloruro de Potasio	00-00-60	20	346
Nitrato de Potasio	13-00-44	0	132
Sulfato de potasio	00-00-50	25	120
Fosfato de Potasio Monobásico	00-52-34		330

Fuente: SAGAR, 1997



**Gráfica 4.1 Solubilidad de algunos fertilizantes comerciales.**

Clave	Fertilizante
A =	Nitrato de Amonio
B =	Sulfato de Amonio
C =	Amoniaco Anhídrido
D =	Aqua Ammonia
E =	Nitrato de Calcio
F =	Acido Fosfórico, Verde
G =	Acido Fosfórico, Blanco
H =	Cloruro de Potasio
I =	Nitrato de Potasio
J =	Sulfato de potasio
K =	Fosfato de Potasio Monobásico

### ➤ Soluciones Frías de Mezclas de Fertilizantes

La mayoría de los fertilizantes nitrogenados sólidos absorben calor del agua cuando son mezclados. Se enfría mucho el líquido y puede llegar a congelarse el agua fuera del tanque donde se realizan las mezclas. Para evitar estos problemas, debe diluirse parte del fertilizante a mezclar, dejar reposar hasta que se calienta la mezcla y luego volver a agregar fertilizante y mezclar; de esta manera se disolverá el fertilizante más fácilmente (Hoces, 1990).

#### 4.3.2 Compatibilidad de Fertilizantes

En general no se recomienda combinar o mezclar químicos para aplicarlos por medio de los sistemas de riego. Los fertilizantes con calcio no deben usarse con fertilizantes de azufre en el fertirriego. Por ejemplo, mezclar nitrato de calcio y sulfato de amonio en la misma agua de riego, origina la formación del sulfato de calcio, que puede precipitarse. Si bien cada uno de ellos es bastante soluble, el yeso o sulfato de calcio es de baja solubilidad, esto puede causar taponamiento de los emisores de los sistemas de riego (L.J., 1992). Cuando se requiere mezclar fertilizantes para bajar los costos de fertilización, se recomienda hacer prueba de solubilidad.

La tabla 4.3 muestra la compatibilidad e incompatibilidad que existe entre algunos fertilizantes.

NO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub>	UREA	(NH <sub>4</sub> )SO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	KCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KNO <sub>3</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
C	C	C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C	C	C	C
C	C	I	I	I	C	I	C	C

C = Compatible  
I = Incompatible

### 4.3.3 Calidad del Agua

La tabla 4.4 propuesta por Ayers y Wescot (1976), se utiliza para la interpretación del análisis de agua de riego.

Tabla 4.4 Normas para la interpretación de la calidad del agua de riego

Problema	Sin problema	Problema creciente	Problema Agudo
<b>Salinidad</b> (Afecta la disponibilidad) EC <sub>w</sub> (mmho/cm)*	<0.75	0.75 – 3.00	>3.00
<b>Permeabilidad</b> (Afecta la velocidad de infiltración en el suelo) EC <sub>w</sub> (mmho/cm)*	>0.50	0.50 – 0.20	>0.20
SAR ajustado (Tipo de arcilla dominante) Montmorillonita	<6.00	6.00 – 9.00	>9.00
ILLITA-Vermiculita	<8.00	8.00 – 16.00	>16.00
Coalinita –sesquióxidos	<16.00	16.00 – 24.00	>24.00
<b>Toxicidad Iónica Específica</b> (Afecta cultivos semisencibles). Sodio (SAR aj.)	<3.00	3.00 – 9.00	>9.00
Cloruros (meq/l)	<4.00	4.00 – 10.00	>10.00
Boro (g/l)	>0.75	0.75 – 2.00	>2.00
<b>Efectos varios</b> (Afecta a cultivos susceptibles) Nitrógeno, NH o NO (mg/l)	<5.00	5.00 – 30.00	>30.00
Bicarbonatos (meq/l) en riego por aspersión PH	>1.50	1.50 – 8.50  (Rango normal: 6.5 – 8.4)	>8.50  (Rango normal: 6.5 – 8.4)

Fuente: Ayers y Westcot, 1976.

\*EC<sub>w</sub> = Conductividad Eléctrica

La calidad del agua depende de sus características físicas y químicas, además de los problemas potenciales que puede generar a los cultivos, suelos y al sistema de riego, lo anterior da lugar al uso condicionado del agua para el riego, dependiendo del cultivo y suelo que se trate (SAGAR, 1997).

### ➤ **Características físicas**

Se consideran a las sustancias que lleva en suspensión el agua, como: tierra (arena, limo y arcilla), materia orgánica en general, tanto como restos de plantas, así como insectos, plantas acuáticas, bacterias y algas.

Los materiales sólidos de mayor densidad que el agua, se eliminan por decantación en tanques decantadores o hidrociclones y los materiales orgánicos con filtración del agua.

### ➤ **Características Químicas**

Estas consideran a las sustancias diluidas en el agua de riego, en cantidad y en proporción de diversas sales y el pH del agua.

A continuación se presentan los índices más importantes.

#### ◆ **El pH del agua de riego**

El pH del agua de riego indica la acidez o la alcalinidad, el pH = 7 corresponde al agua neutra, pH mayor de 7 se considera alcalina y menor de 7 como ácido. Alcalinidad mayor de 8 se considera agua con problemas de uso en el fertirriego ya que hay peligro de que se presenten precipitados de calcio y magnesio o colaboran en elevar el pH del suelo a niveles que los nutrientes no pueden aprovecharse.



### ▶ Contenido de Sales

El contenido total de sales, en general, engloba el peligro de acumulación de sales solubles en el suelo, y es probable que generen problemas de presión osmótica, es decir, produce dificultades en la absorción del agua para las plantas. Para medir el contenido total de sales en el agua de riego, se acostumbra utilizar las siguientes unidades: milímetros /cm (mmhos/cm) o desisemen/m (dS/m) que equivalen unitariamente a 0.64 g/l. Estos se usan para aguas con contenidos de sales muy altos o para, extractos de solución del suelo. Los micromhos/cm se usan para las aguas de riego normales y equivalen a una milésima de las anteriores.

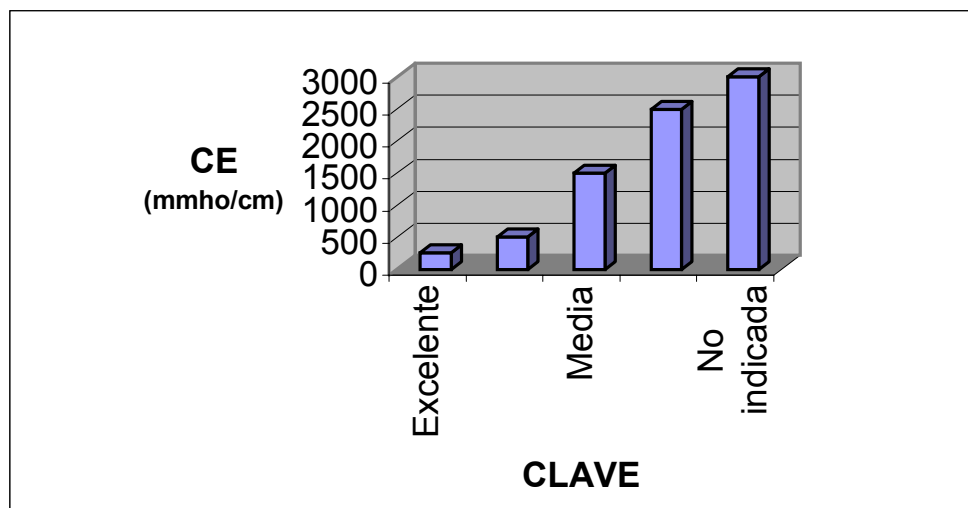
### ▶ Peligro de salinización del suelo

Este parámetro se estima con el contenido total de sales solubles en el agua de riego y se utiliza la tabla 4.5, para clasificar el agua por el peligro de salinización.

Tabla 4.5 Calidad del Agua por Peligro de Salinización

Clave	CE (micromhos/cm)
Excelente	< 250
Buena	250 – 750
Media	750 – 2000
Mala	2000 – 3000
No indicada	> 3000

Para la aplicación del agua debe considerarse la tolerancia de los cultivos a la salinidad, la textura del suelo y la posibilidad de lavado por drenaje natural o artificial.



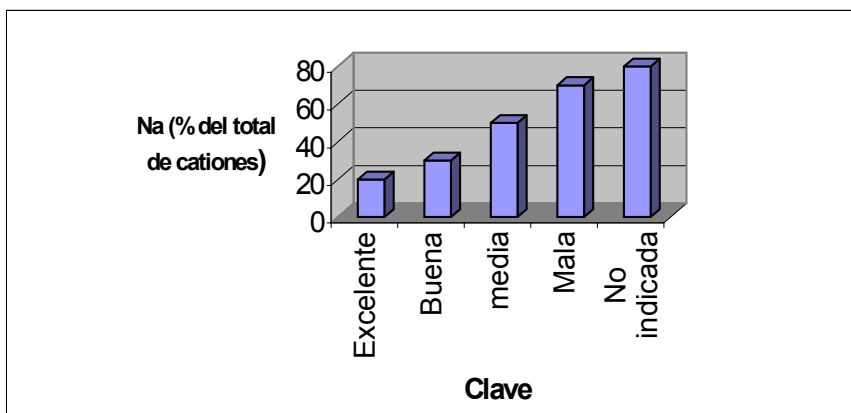
Gráfica 4.2 Calidad del agua por peligro de salinización.

#### ► Contenido de Sodio

Puede llegar a desplazar a los iones de Calcio y Magnesio en el complejo de intercambio catiónico, origina en el suelo pérdida de estructura, haciéndose impermeable. El límite de tolerancia es 0.25 g/l ó 10.87 meq/l. El agua se puede clasificar por porcentaje de Sodio respecto al total de cationes.

Tabla 4.6 Clasificación de agua por porcentaje de Sodio

Clave	Na (% del total de cationes)
Excelente	<20
Buena	20 – 40
media	40 – 60
Mala	60 – 80
No indicada	> 80



**Gráfica 4.3 Clasificación del Agua por porcentaje de Sodio**

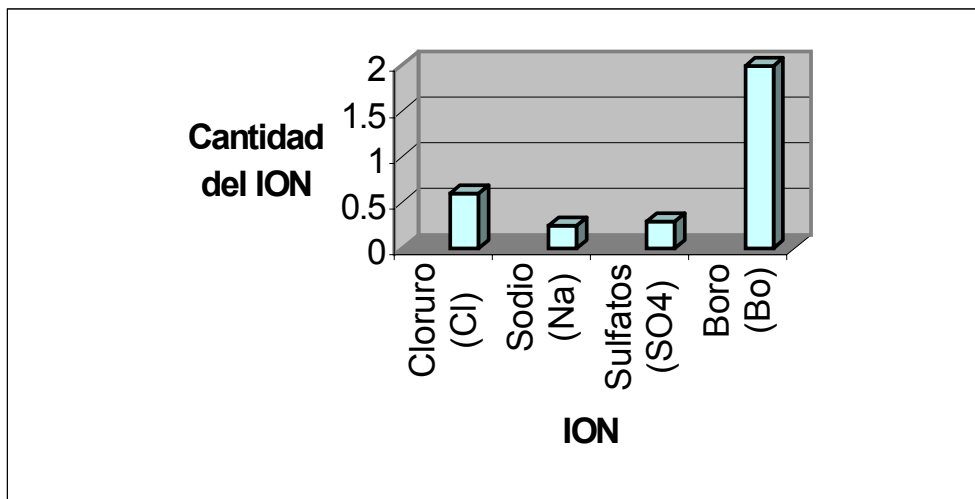
#### ◆ Contenidos máximos permisibles de los iones tóxicos

Los iones tóxicos considerados como límites máximos permisibles del contenido en el agua analizada en laboratorios, se presentan en la tabla 4.7

Tabla 4.7 Contenidos Máximos Permisibles de los Iones Tóxicos.

Ion	Cantidad del Ion	
	g/l	Meq/l
Cloruro (Cl)	0.60	14.1
Sodio (Na)	0.25	10.9
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	0.30	6.3
Boro (Bo)	2.00	

Se puede usar los límites para interpretar análisis de aguas, sin embargo, es necesario tomar en cuenta el suelo y los cultivos. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) puede inhibir el efecto de toxicidad de los iones, cuando es alta, pero, si la CIC es baja, el efecto de toxicidad puede ser directo. Los cultivos tienen diferentes grados de tolerancia a los iones tóxicos, por lo que deben tomarse en cuenta los cultivos tolerantes al nivel de contenidos de iones en el agua (L.J. 1992).



**Gráfica 4.4 Contenidos Máximos Permisibles de los Iones Tóxicos.**

#### **4.4 Dosis de fertilizantes**

El uso de fertilizantes en la irrigación requiere de mediciones precisas y de un adecuado registro en lo concerniente a los diferentes estados fenológicos durante el crecimiento y desarrollo de la planta, como son: germinación, floración de frutos y cuajado. Una nutrición desbalanceada de las plantas altera el grado de disponibilidad de los cationes de potasio, calcio, y magnesio en la zona radicular.

Una sobre dosis de potasio se tiene, por ejemplo, cuando en un árbol de manzano con un suelo pobre en calcio, produce una gran acumulación de potasio por parte de la planta, desplazando al calcio y ocasionando un sabor amargo en el centro de las manzanas. Un efecto similar ocurre en el cultivo de fresa con suelos de bajo contenido magnesio, y tiene un sobrante de potasio conduce a una deficiencia de aquel nutriente.

## **4.5 Características de los fertilizantes utilizados en el Riego por Goteo.**

### **4.5.1 Macronutrientes**

#### **1) Fertilizantes sólidos cristalinos simples y complejos**

Los fertilizantes sólidos suelen tener sales puras cristalinas de solubilidad muy elevada. El principal inconveniente del empleo de fertilizantes sólidos es la necesidad de una solubilización previa en agua, esta debe ser tal para asegurarnos que la concentración añadida sea la que se desea. Dentro de los sólidos encontramos a los *simples cristalinos* y *complejos*. Los fertilizantes simples son aquellas sales binarias que aportan uno o dos elementos nutritivos. Los fertilizantes complejos contienen dos o más elementos fertilizantes y proceden de reacciones químicas. Por esto, todas y cada una de las partículas tienen la misma composición. Cadahia, (1998).

Ortiz (1997), indica que para que las plantas se desarrollen normalmente deben tener en el medio en que se encuentran los nutrimentos llamados macro, micro y oligo elementos; dentro de los macro elementos se encuentran el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. En lo que respecta a los micro elementos encontramos al hierro, manganeso cobre, cinc, boro y molibdeno. El hidrógeno, carbono y oxígeno forman el grupo de los oligoelementos.

Tabla 4.8 Fertilizantes simples sólidos cristalinos

Fertilizante	Riqueza % N - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O - varios	Solubilidad g/l
Nitrato de calcio	15.5 - 0 - 0 - 26.6 (CaO)	1200
Nitrato amónico	33.5 - 5 - 0 - 0	1700
Sulfato amónico	21 - 0 - 0 - 22 (S)	500
Urea	46 - 0 - 0	500
Nitrato de potasio	13 - 0 - 46	100 - 150
Sulfato de potasio	0 - 0 - 50 - 18 (S)	110
Fosfato monopotásico	0 - 52 - 33	200
Fosfato monoamónico	12 - 60 - 0	200
Sulfato magnesico	16 (MgO) - 13 (S)	700
Fosfato de urea	17 - 44 - 0	150
Nitrato magnésico	11 - 0 - 0 - 0 - 9.5 Mg	500

## 2) Ácidos y líquidos simples y complejos

Los fertilizantes líquidos pueden ser también simples (disolución N-32, ácidos nítrico y fosfórico concentrados), binarios, NPK ácidos y NPK neutros. Estos pueden adquirirse con el equilibrio adecuado para el cultivo ya preparado en el mercado (fertilizantes a la carta) o bien preparados a partir de fertilizantes sólidos solubles con equilibrios definidos. El líquido resultante, que se denomina "disolución madre", es el que se inyecta a la red de tuberías donde se mezcla con el agua de riego. Cadahia, (1998).

Tabla 4.9 Ácidos fertilizantes

Densidad	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
1.20	33	34
1.30	48	46
1.33	54	---
1.40	65	56
1.60	---	75

**Tabla 4.10 Fertilizantes líquidos simples y complejos**

Producto	Riqueza en nutrientes	Densidad y pH
Disolución K	10% K <sub>2</sub> O	D=1.1; pH=1.5 a 2
Disolución de nitrato de magnesio	7%N, 9.5% MgO	D=1.3; pH=4 a 6
Disolución N 32	32 N total, 8% N nítrico 16% ureico y 8% amoniacal	D= 1.32
Disolución N 20	20% N total 10% N nítrico 10% N amoniacal	D=1.26
Líquidos complejos ácidos (Fertiberia)	4-8-12; 6-8-8; 8-4-10 12-4-6	D=1.25; 1.20; 1.20; 1.20 pH=1 a 2
Líquidos complejos (Artal)	Diversas fórmulas: N: 0 a 32% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 0 a 30% K <sub>2</sub> O: 0 a 15%	D=1.20 a 1.25 pH=1 a 1.2
Líquidos complejos (Navasa)	20-0-0 (a) 0-20-10 (b) 0-10-10 (c) 17-0-0-9 Ca (d)	D=1.25; pH=6 a 7 D=1.35; pH=1 a 2 D=1.15; pH=1 a 2 D=1.5; pH=1 a 2
Líquidos complejos GAT	Diversas fórmulas N-P-K con Ca, Mg y micronutrientes	Productos químicos a la carta. Información de riqueza en nutrientes, pH, D, y solubilidad en función de temperaturas y concentraciones
Líquidos complejos neutro (Fertiberia)	4-8-12; 8-4-10 10-6-10; 16-4-6	D=1.20; 1.20; 1.25; 1.20 pH=6.5

#### 4.5.2 Micronutrientes.

Se denominan micronutrientes u oligoelementos a aquellos elementos nutritivos que, siendo esenciales, son utilizados por las plantas en cantidades relativamente bajas.

Dentro de ellos se tienen a los micronutrientes metálicos hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), y cinc (Zn), estos se encuentran presentes en suelos y sustratos principalmente como óxidos o hidróxidos u otras sales bastante insolubles, cuya solubilidad es a pH básicos y alcalinos. El boro (B) y el Molibdeno (Mo), necesarios en cantidades aún menores que los micronutrientes metálicos, son más solubles, siendo dependientes de su contenido en el agua de riego o presencia de otros materiales aportados, como los orgánicos.

El hidrógeno, carbono y oxígeno forman el grupo de los oligo elementos, estos elementos o nutrientes son considerados como esenciales para el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas. Cadahia, (1998).

Los fertilizantes compuestos de micronutrientes han sido clasificados originalmente en inorgánicos y orgánicos. Igualmente existen mezclas entre ellos y reciben la denominación de “en solución” aquellos que, proceden de alguno de los tipos anteriores y que siendo compuestos solubles, se presentan en forma líquida.

#### **4.6 Fertirrigación con nitrógeno**

La aplicación de nitrógeno a través del sistema de riego, es la forma más conocida de fertirrigación; se puede minimizar las pérdidas por lavado y la respuesta de la planta es rápida debido a la movilidad de los nitratos en la solución del suelo.



Tabla 4.11 Adaptabilidad de las fuentes de nitrógeno para su inyección en los sistemas de riego por goteo.

<p><b>1. - Urea Nitrato de Amonio (UAN-32)</b>  a) Relativamente seguro de usar; usualmente solo causa pequeños cambios al pH del agua.  b) El amoniaco reduce la efectividad del tratamiento de cloro.</p>
<p><b>2.- Nitrato de Amonio</b>  a) Relativamente seguro de usar; usualmente solo causa pequeños cambios al pH del agua.  b) Revestimiento, si está presente, puede provocar algunos problemas si no se filtra enseguida de su solubilización.</p>
<p><b>3.- Fosfato de Amonio – Cal –</b>  a) No se recomienda para sistemas de riego por goteo, debido a que se añade piedra caliza en polvo.</p>
<p><b>4.- Sulfato de Amonio</b>  a) Puede ser solubilizado pero la salinización es un problema.  b) Causa solo pequeños cambios en el pH del agua.</p>
<p><b>5.- Amoniaco Anhídrido</b>  No se recomienda para sistemas de riego por goteo  a) Su característica de elevar el pH puede llevar a la precipitación del calcio, magnesio y fósforo en ciertas aguas, especialmente en aquellas altas en bicarbonatos.  b) Reacciona con ciertos componentes del sistema de riego</p>
<p><b>6.- Nitrato de Calcio</b>  a) Puede solubilizarse, pero la salinización es un problema.  b) Causa solo pequeños cambios en el pH del agua</p>
<p><b>7.- Nitrato de Potasio</b>  a) Puede solubilizarse, pero la salinización es un problema  b) Causa solo pequeños cambios en el pH del agua.</p>
<p><b>8.- Nitrato de Sodio</b>  a) Puede solubilizarse  b) El sodio puede ser indeseable debido a la posible toxicidad para las plantas.</p>
<p><b>9.- Fosfato de Amonio</b>  No se recomienda para sistemas de riego por goteo.  a) Algunas formas son extremadamente difíciles de solubilizar.</p>

#### **4.6.1 El papel que desempeña el Nitrógeno en la Nutrición de los cultivos**

Se define a continuación:

- Es el fertilizante que más influye en el crecimiento y rendimiento de las plantas.
- Es el elemento plástico más importante (albuminoides, proteínas, Prótidos)
- Es uno de los componentes de la clorofila.
- Las plantas sin la dotación de nitrógeno necesaria, crecen muy poco, y su brotación es débil y de color pálido. Las que están bien dotadas, crecen rápidamente y presentan un color verde oscuro, señal de fuerte actividad fotosintética.
- La falta de nitrógeno en las reservas al final del verano – otoño, puede provocar corrimiento de flor en la primavera siguiente.

#### ***Inconvenientes en la aplicación excesiva de Nitrógeno:***

- Alarga el ciclo vegetativo y los frutos tardan en madurar.
- El fruto tiene menor resistencia al transporte. Por ejemplo, en la naranja se aprecia la piel más rugosa y con tendencia a separarse de los gajos.
- Mayor sensibilidad a las plagas y enfermedades. Los tejidos verdes y tiernos, son fácilmente parasitados por pulgones, cochinillas, oidio y mildio.
- Aumenta la salinidad del suelo y los efectos de la sequía.

### *Inconvenientes ocasionados por la deficiencia de Nitrógeno*

Bidwell (1987), Tisdale Y Nelson, señalan que una deficiencia de nitrógeno se traduce en una palidez gradual o clorosis de la hoja madura que llegan a tornarse amarillentas y tienden a desprenderse. La clorosis se extiende de las hojas maduras a las jóvenes, las que usualmente no muestran los síntomas característicos de deficiencia hasta que esta muy avanzada en las partes viejas de la planta, lo que indica claramente que el nitrógeno de las hojas maduras se moviliza y se transporta a las partes jóvenes en crecimiento, conforme la necesita.

#### **4.7 Fertirrigación con fósforo**

La aplicación de fertilizantes de fósforo a través de cualquier sistema de riego por goteo generalmente no se recomienda, ya que presenta muchos problemas de taponamientos en los emisores. La aplicación de fertilizante polifosfato de amonio en aguas con concentraciones altas de calcio y magnesio, casi siempre resulta en la formación de partículas sólidas o precipitados. El ácido fosfórico añadido al agua que contiene concentraciones altas de calcio y magnesio puede resultar la formación de sólidos insolubles de fosfato de calcio y magnesio; este problema puede reducirse si el agua de riego se hace lo suficientemente ácida, lo anterior se logra añadiendo suficiente ácido sulfúrico o fosfórico, para mantener un pH ácido alrededor de 6.0.

Existen en el mercado las siguientes fórmulas de fertilizante líquido que contienen ácido fosfórico como fuente de fosfato:

- Acido fosfórico blanco
- Acido fosfórico verde

Combinación de ácido fosfórico y sulfúrico.

#### **4.7.1 El papel que desempeña el Fósforo en la Nutrición de los cultivos**

Se define a continuación:

- Da consistencia a los tejidos.
- Favorece la floración, fecundación, fructificación y maduración.
- Influye en la cantidad, peso y sanidad de semillas y frutos.
- En las plantas forrajeras intensifica su desarrollo y eleva su poder nutritivo.
- Favorece el desarrollo del sistema radicular.
- Participa en la actividad funcional de la planta (fotosíntesis).
- Es un factor de precocidad.
- Es un elemento de calidad, haciendo las plantas más resistentes a plagas y enfermedades.

#### ***Inconvenientes más destacados en la aplicación de Fósforo***

- Hasta la aparición de la fertirrigación, sólo era efectivo cuando se empleaba en labores profundas.
- Se bloquea fácilmente en suelos calizos.

### *Problemas ocasionados por la deficiencia de fósforo*

Devlin (1980), menciona que cuando la planta presenta escasez de fósforo los síntomas son:

- Caída prematura de las hojas.
- Desarrollo de antocianinas en tallos y nervaduras foliares con un color púrpura o roja, presentan zonas necróticas en hojas, peciolo o frutos.
- Se observa un achaparramiento en las plantas.

## **4.8 Fertirrigación con Potasio**

El problema que se presenta más frecuentemente en la fertilización con potasio, es que frecuentemente no se mezcla bien con otros fertilizantes y cuando lo hace puede formar precipitados sólidos en el tanque principal. Por esa razón lo mejor es aplicar cualquier fertilizante de potasio sólo.

Las diferentes fuentes de potasio con que se cuentan son:

- 1 Cloruro de Potasio
- 2 Sulfato de Potasio
- 3 Nitrato de Potasio
- 4 Sulfato de potasio y magnesio Fosfato de potasio

### **4.8.1 El papel que desempeña el Potasio en la Nutrición de cultivos**

Se define a continuación:

- Favorece la formación de hidratos de carbono.
- Aumenta el peso de granos y frutos, haciéndolos más ricos en azúcar y zumo, así mismo, mejora su conservación.

- Favorece la formación de raíces, y las plantas resisten mejor la sequía.
- Es un elemento de equilibrio y sanidad, aportando mayor resistencia a las heladas, a las plagas y enfermedades.

### *Inconveniente más destacado en la aplicación de potasio*

- Llega a inducir carencias de magnesio, cobre, cinc, manganeso y hierro.

### **Problemas ocasionados por la deficiencia de potasio**

Provoca un desequilibrio en el crecimiento de las células en diferentes partes de la hoja dando lugar a encorvaduras pronunciadas hacia el envés. La deficiencia se presenta en las hojas viejas en forma de manchas cloróticas, estas se vuelven necróticas al intensificar la deficiencia, lo anterior ocurre en los ápices y se extiende a lo largo de los bordes de la hoja.

Vilmorín (1987), menciona las características de deficiencia y de potasio que presenta la planta son:

- Las hojas se observan rizadas o encrespadas, con bronceado y secado en sus orillas.
- Se ponen amarillentos los márgenes de las hojas que llegan a secarse.
- En algunos casos aparece un moteado color café en varias partes de la hoja.
- Los tallos son débiles y en general toda la planta tiene menor resistencia y vigor.

- Los frutos y semillas son afectados también.

#### **4.9 Fertirrigación con Calcio, Magnesio y Azufre**

Las fuentes más comunes de Calcio, Magnesio y Azufre y su aceptabilidad para inyección en un sistema de riego por goteo son los siguientes:

1.- Sales de Nitrato de Calcio

Este es altamente soluble, utilizando sólo esta fuente, no causa taponamiento fácilmente.

2.- Sales de Sulfato de Calcio (yeso)

No es muy soluble.

3.- Sales de Sulfato de Magnesio

Fácilmente soluble, en ocasiones la solubilidad es algo limitada.

4.- Sales de Cloruro de Calcio

Altamente solubles y no ocasiona problemas de taponamiento.

5.- Sales de Cloruro de Magnesio

Altamente solubles y no causan problemas de taponamiento.

6.- Sales de azufre

Altamente solubles y no deben causar problemas de taponamiento.

#### **4.9.1 El papel que desempeña el Calcio en la Nutrición de cultivos.**

Se define a continuación:

- Favorece el crecimiento.
- Da resistencia a los tejidos vegetales.
- Desarrolla el sistema radicular.
- Influye en la formación, tamaño y maduración de frutos.

#### **Inconvenientes del exceso del calcio**

- Aumenta el pH y dificulta la absorción de algunos elementos, como el potasio, boro, hierro y manganeso.
- Forma fosfatos insolubles con el fósforo.

#### **4.9.2 El papel que desempeña el Azufre en la producción de cultivos.**

Se define a continuación:

- Favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas.
- Si hay carencias, la fructificación no es completa.
- Es un componente de las proteínas y enzima.



- Interviene en los procesos de formación de la clorofila.
- Favorece la formación de nódulos en las raíces de las leguminosas.

### ***Inconveniente en la aplicación de azufre***

- Aumenta salinidad de los suelos.

#### **4.9.3 El papel que desempeña el Magnesio en la Nutrición de cultivos.**

Se define a continuación:

- Es uno de los componentes principales de la clorofila, por lo tanto su carencia reduce la formación de hidratos de carbono, así como la capacidad productiva de las plantas.
- Hace las plantas más resistentes a heladas y enfermedades.
- Los frutos hacen gran consumo de este elemento, por lo que no es raro encontrar carencias en una agricultura intensiva.
- Es antagónico con el potasio, lo que un abonado excesivo de éste produce carencias de magnesio.

#### **Inconvenientes en la aplicación de magnesio.**

- Aumenta el riesgo de salinización.

#### 4.10 Fertirrigación con Micronutrientes

La mayoría de los problemas sobre micronutrientes aparecen cuando al preparar las soluciones en el tanque principal, ésta contiene demasiados nutrientes.

Las fuentes más comunes de micronutrientes y la adaptabilidad para su inyección al sistema de riego por goteo son las siguientes:

1.- Quelatos de Fierro, Cinc, Manganeso y cobre.

La mayoría de los Quelatos se disuelven fácilmente y por lo tanto no deben causar problemas de taponamiento.

2.- Sales de Sulfato de Fierro, Cinc, Manganeso y cobre.

Se han reportado taponamiento ocasional de emisores, donde se ha aplicado en forma de Sulfato de Cinc.

3.- Sales de Cloruro de Fierro, Cinc, Manganeso y Cobre Las sales de cloruro son lo suficientemente solubles para permitir su fácil preparación en un tanque mezclador.

4.- Boro.

El tetraborato de Sodio, es relativamente soluble en agua. Por otro lado, los requerimientos Boro son relativamente bajos. Además, provocan toxicidad en cultivos sensibles.

5.- Molibdeno.

Los molibdatos de Sodio y Amonio son las formas más populares de este micronutriente, ambos compuestos inorgánicos son relativamente solubles y no deben presentar problemas relacionados con el taponamiento de emisores.

#### **4.11 Riesgos de contaminación de la fuente de abastecimiento de agua.**

New y filpps (1990), señalan que cuando la fuente de bombeo falla repentinamente, es posible que el agua tenga un flujo inverso en el sistema de riego. En tal caso el agua que contiene el fertilizante debe ser prevenido de un contraflujo hacia la fuente natural, esto se hace generalmente instalando una válvula check (vacío) colocada aguas arriba del sistema de inyección de fertilizante. Por seguridad adicional, otra válvula puede ser colocada cerca del tubo principal del sistema, también es colocada una válvula en el tubo de entrada del tanque fertilizador para evitar que el fertilizante o químico sea chupado por la acción de sifón invertido.

Los dispositivos instalados para prevenir el contraflujo de un caudal inyectado con químicos y fertilizantes son los siguientes:

- 1) Válvula check.
- 2) Válvula de alivio.
- 3) Válvula de inyección antiretroflujo.
- 4) Válvula selenoide de cierre normal.

#### **4.12 Consideraciones para una buena distribución del Fertirriego.**

Para lograr una buena distribución del fertilizante R. Brufau (1997), señala algunas consideraciones:

- Durante el tiempo en que se empieza a regar hasta que se llega a un régimen de funcionamiento permanente no se debe de fertilizar.
- Para tener un buen lavado es conveniente regar con agua sola durante un tiempo mínimo igual al tiempo de recorrido del sector más el tiempo de lavado.

- Para preparar las soluciones nutritivas deberemos conocer la solubilidad del fertilizante a utilizar, este indicará la concentración máxima del abono en la solución nutritiva y siempre será aconsejable mantenernos en concentraciones más diluidas para evitar posibles precipitaciones.

- Conviene controlar también la CE de la solución puesto que no es aconsejable que sea superior a 2 mmho/cm o que la presión osmótica esté comprendida entre 0,7 y 1 atm.

Esto se calcula teniendo en cuenta que:

$$CE = (C \times I/100 \times K) + Cer$$

**Donde:**

C = Fertilizante disuelto en el agua (g/m<sup>3</sup>)

CE = Conductividad Eléctrica del agua de riego con abono

Cer = Conductividad Eléctrica del agua de riego (ms/cm)

K = constante que relaciona la conductividad con el contenido en NO<sub>3</sub>Na disuelto en agua destilada, toma valores alrededor de 0,4 (g/m<sup>3</sup>) (ms/cm).

- En cuanto al control del pH de la solución, éste debe oscilar entre 5,5 y 6; con pH superiores a 6,3.

#### **4.12.1 Consideraciones generales para la fertirrigación en campo**

R. Brufau (1997), menciona que con base a la complejidad del sistema, en el caso de fertirrigación en campo, se deben tomar en cuenta algunas consideraciones generales tales como:

- La curva de absorción de fertilizantes es proporcional a la temperatura ambiente y a las necesidades hídricas, a excepción del Nitrógeno que es conveniente reducirlo en fechas próximas a la recolección, puesto que dificulta la maduración; la absorción de potasio disminuye mucho después de la recolección y los aportes de Fierro deben hacerse en período de crecimiento activo (primavera).
- Conviene calcular el fertilizante para cada uno de los elementos a partir de las extracciones a lo largo del ciclo vegetativo, y preparar un programa de abonado orientativo el cual deberá irse corrigiendo a lo largo de los años siguientes, según sean los resultados de los análisis foliares realizados durante la campaña y de la observación en campo de las posibles carencias.

#### **4.12.2 Reglas básicas para la elaboración de mezclas**

Una de las características importantes en la elaboración de mezclas consiste en tomar en cuenta las siguientes reglas básicas:

- a) Ver que este lleno el recipiente arriba de un promedio de 50 - 75 % de agua para hacer la mezcla.
- b) Agregar el fertilizante sólido o fertilizante soluble.

c) Agregar los productos secos en forma muy lenta procurando tener agitación constante en forma circular para que no se formen masas o granulados, provocados por tener movimientos muy lentos.

d) Agregar el ácido dentro del agua, no hacerlo en forma invertida.

e) Cuando se trate de aguas turbias o contaminadas, hay que agregar cloro al agua.

f) No mezclar un ácido o fertilizante con cloro, ya que se precipitan en la red de tuberías y podrían causar daños.

g) No hacer mezclas de soluciones concentradas de fertilizantes directamente con otras concentraciones de fertilizantes.

h) Por ningún motivo mezclar productos que tengan sulfatos con otros productos que contengan calcio, ya que se forman masa de yeso.

i) Antes que los productos sean inyectados, leer cuidadosamente las instrucciones que vienen en la bolsa de dichos productos.

j) No mezclar fertilizantes que contengan fósforo con fertilizantes que contengan calcio, ya que pueden ocasionar problemas.

El fertilizante nitrogenado sólido debe de absorber el agua en forma caliente para elaborar la mezcla. Si el líquido es muy frío los resultados por causa del agua es el de condensarse en la atmósfera de la superficie de la mezcla en el recipiente. Esta temperatura fría no debe poner en riesgo la inyección dentro de los sistemas. Lo anterior se conoce como efecto refrigerante de las mezclas en soluciones de fertilizante, la urea es un caso muy particular.

#### **4.12.3 Procedimiento a seguir para la programación del fertirriego**

Rincón Sánchez (1991), realizó una lista de pasos necesarios para realizar adecuadamente la programación de la fertirrigación, siendo éstos:

a) Análisis de suelo.

El análisis permitirá evaluar el nivel de la fertilidad y característica físico-químicas que afectan el comportamiento y eficacia de los fertilizantes.

b) Composición química del agua de riego.

De la composición química se deducirá la cantidad de elementos nutritivos que aporta, así como la salinidad y elementos tóxicos que pudieran afectar a la productividad del cultivo.

c) Rendimiento de cosecha esperado.

d) Necesidades periódicas de agua.

e) Necesidades totales y distribución, según estado vegetativo.

f) Correcciones a tener en cuenta en función del suelo y agua de riego.

#### **4.12.4 Programa de fertilización**

Los programa de fertilización y riego, son muy difíciles de facturar, ya que dependen del cultivo y de su estado fenológico. Cada cultivo necesita un seguimiento personalizado, ya que cada cultivo tiene unas necesidades hídricas y de fertilización muy concretas, dependiendo del estado fenológico del cultivo, la época de siembra y densidad de siembra.

Las dosis depende del estado fenológico del cultivo. Así, por ejemplo, deberemos tener en cuenta que en ciertos momentos específicos de desarrollo de la planta, hay que aportar mayor cantidad de unos elementos que de otros, debido a las necesidades puntuales del cultivo en estos momentos:

- Nitrógeno: En brotación, crecimiento y engorde.
- Fósforo: En prefloral, floral, y final de maduración.
- Potasio: En engorde y maduración.
- Magnesio: En brotación.
- Calcio. En brotación, crecimiento y engorde.

#### **4.12.4.1 Fundamentos para un programa de fertilización**

Los programas de fertilización se fundamentan en que:

- ◆ El agua es el principal alimento y vehículo de transporte de los nutrientes.
- ◆ Cada vez que se riega debe fertilizarse para dosificar fraccionadamente el nutrimento de acuerdo con las demandas de la planta en cada etapa de desarrollo.
- ◆ Las demandas parciales deben sumar las demandas anuales o por ciclo de cultivo.

Los análisis de suelo, agua y planta son útiles para orientar y hacer ajustes de fertilización (SAGAR, 1997).



#### 4.12.4.2 Gastos y tiempos de inyección

##### ➤ Gasto de inyección del fertilizante

Para determinar el gasto de inyección se deben seguir los siguientes pasos (Valadez, 1995):

1.- **Cantidad de nutriente.**- Se determina la cantidad necesaria de nutriente por hectárea, dependiendo del número de aplicaciones de fertirriego y la dosis del nutriente por fertirriego según la etapa de desarrollo, por lo que se aplica el siguiente modelo:

$$C.N = N/NR$$

Donde:

C.N = Cantidad de nutriente (Kg/ha/riego)

N = Cantidad de nutriente (Kg/ha)

NR = Números de riegos

2.- **Selección del fertilizante.**- Es necesario seleccionar el fertilizante que se usara de acuerdo con el precio unitario, el tipo de suelo, calidad del agua y programa de manejo. Por lo que se tiene dos condiciones:

- a) Fertilizante sólido
- b) Fertilizante líquido

3.- **Cantidad de fertilizante por hectárea.**- La cantidad de fertilizante se calcula en base a los Kilogramos que deben usarse por hectárea.

a) Fertilizante sólido

$$CF = (C.N / \% NUT) \times 100$$

Donde:

CF= Cantidad de fertilizante sólido por hectárea (Kg/fert/ha)

4.- **Volumen de agua.**- El volumen se calcula en base a cuantos litros de agua se necesitan de acuerdo con la solubilidad en kilogramos por litro para los dos tipos de fertilizante (líquido y sólido)

$$V = ( CF/S )$$

Donde:

V = Volumen de agua (L/Ha)

S = Solubilidad del fertilizante.

5.- **Puesta de riego (PR).**- Se considera como puesta de riego a la superficie que se riega simultáneamente y que se fertiliza durante el riego con una inyección de fertilizante. En el riego por gravedad, es un número de surcos o melgas que se riegan simultáneamente con el gasto modular parcelario. En riego presurizado esta equivale a la superficie que se riega con aspersores, micro aspersores o goteros que funcionan simultáneamente y pueden ser: una tubería regante de aspersion o secciones de riego en micro aspersion y goteo.

6.- **Volumen por puesta de riego (VPR).**- El volumen se calcula de acuerdo a la cantidad de agua necesaria para cada puesta o sección de riego (lt/Ha).

$$\mathbf{VPR = V \times PR}$$

Donde:

PR= Puesta de riego (Ha)

7.- **Tiempo de inyección.**- Generalmente es el tiempo de riego y se aplica a todos los métodos de riego, sin embargo, es posible que se inyecte fertilizante solo en una fracción de tiempo.

8.- **Gasto de inyección.**- Este se calcula dividiendo el volumen de solución entre el tiempo de inyección.

$$\mathbf{Qi = VPR / T}$$

Donde:

Qi = Gasto de inyección (lt/ha/hr)

T = Tiempo de inyección (hr)

#### 4.13 Cálculo de la tasa de inyección de fertilizantes a través de los sistemas de riego

R. Brufau (1997), considera que para poder estimar las necesidades de fertilizantes se deberían conocer las necesidades globales del árbol, en base a las extracciones de los elementos nutritivos y cómo se reparten a lo largo del ciclo vegetativo. Esto presenta algunos problemas, ya que los datos disponibles no son autóctonos, debido a que las extracciones de nutrientes se hacen tanto de la zona regada como de la no regada, por lo que hay pérdidas por lavado y retrogradación etc.

Keller y Bliesner (1990), proporcionan un modelo para que la tasa de inyección de fertilizante pueda ser calculada en forma exacta. Esta depende de la concentración del fertilizante y cantidad de nutrientes deseada para ser aplicada durante el riego, esto indica que:

$$q_c = \frac{Fr * A}{C' * Tr * Ta}$$

Donde :

$q_c$  = Tasa de inyección (lph)

$Fr$  = Tasa de aplicación de fertilizantes por ciclo de riego (Kg/Ha)

$A$  = Área de riego (has)

$C'$  = Concentración de nutrientes en el fertilizante líquido (Kg/lts)

$Tr$  = Proporción entre el tiempo de fertilización y tiempo de aplicación de riego

$Ta$  = Aplicación de riego o tiempo requerido

## V REVISION DE LITERATURA DEL MELON

### 5.1 Origen

Actualmente no existe un criterio homogéneo sobre el origen del melón. Para algunos botánicos cabe situarlo en Africa y para otros procedería del continente Asiático, siendo al parecer, esta la más verídica (Maroto, 1989).

Leñano, F. (1978) cita que el melón (*Cucumis melo* L.) es introducido a Asia en una fecha comparativamente reciente, extendiéndose por la acción del hombre en ambientes favorables. Lo anterior originó gran cantidad de subespecies en un tiempo relativamente corto.

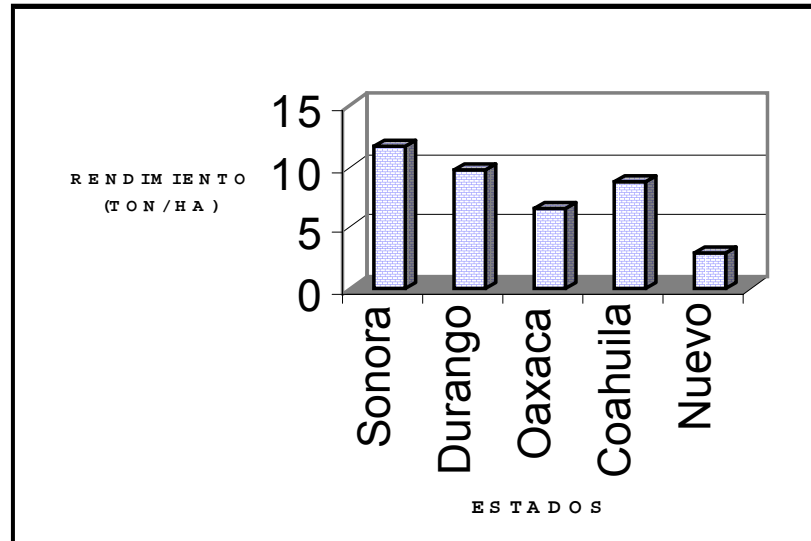
### 5.2 Producción Nacional de Melón

La producción de melón en México se encuentra distribuido principalmente en cinco entidades de nuestro país, contando con el tipo de producción convencional. La mayor parte de la producción anual proviene del ciclo primavera-verano, en el ciclo otoño-invierno, la superficie sembrada se reduce a más del 50% de la superficie sembrada en primavera verano. En la Tabla 5.1 se muestra la superficie sembrada de los principales estados productores de melón.

Tabla 5.1 Principales estados productores de melón en México.

Estado	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (ton)	Rendimiento por hectárea
Sonora	5005.001	4148.783	48329.413	11.6
Durango	2714.812	2571.158	25045.158	9.7
Oaxaca	2635.500	1728.718	11368.570	6.6
Coahuila	2474.933	1882.597	16242.935	8.7
Nuevo León	2197.280	1954.455	5508.155	2.9

Fuente: INEGI



**Gráfica 5.1 Estados con mayor producción de melón**

### 5.3 Clasificación taxonómica

El melón (*Cucumis melo* L.) se clasifica de la siguiente manera:

División..... Tracheophyta

Subdivisión..... pteropsida

Clase..... Angiosperma

Subclase..... Dicotyledonea

Orden..... Cucurbitales

Familia..... Cucurbitaceae

Subfamilia..... Cucurbitae

Género..... *Cucumis*

Especie..... *melo*

## **5.4 Importancia Económica**

El cultivo de melón en México ha sido una de las actividades hortícolas de gran importancia social y económica en algunas regiones del país, ya que se ha constituido como una fuente de ingreso para los productores y de mano de obra para la población rural.

En los últimos años la superficie destinada para el cultivo de esta hortaliza se ha incrementado considerablemente, así tenemos que de 1981 a 1991 ésta ha incrementado en más del doble, al pasar de 22,000 ha a 45,000 ha. Por otra parte, el volumen de producción ha pasado de 320,000 toneladas a 592,00 toneladas para el mismo periodo (Valadez, 1994

## **5.5 Descripción Botánica**

Planta anual herbácea, cuyo ciclo vegetativo se ve afectado principalmente por las temperaturas, el tiempo desde la siembra hasta la fructificación, varía de 90 - 110 días. (Tiscorinia, 1974).

### **Raíz**

El sistema radicular del melón es moderadamente extensivo, constituida por una raíz principal y profunda, algunas raíces secundarias producen ramificaciones laterales más superficiales que se desarrollan rápidamente, cubriendo un radio aproximadamente 25 cm en el suelo.

### **Tallo**

El tallo es herbáceo, flexible, pubescentes, ásperos y rastreros o trepador, con zarcillos por lo cual debe ser más o menos veloso, se extiende sobre el suelo

hasta alcanzar tres metros de longitud; además es duro, sarmentoso y anguloso, son semierectos, suaves y el número de ramificaciones son más cortas, estas varían entre tres y ocho donde se forman las flores y posteriormente los frutos (Guenkov, 1974)

## **Hojas**

Las hojas son simples, grandes, alternas, palmeadas, pentagonales, reniformes, redondeadas, vellosas, lobuladas con 5 a 7 lóbulos, su tamaño varia de acuerdo a la variedad, tienen un diámetro de 8 a 15 cm por otro tanto de ancho, provistas de un largo peciolo de 4 a 10 cm de longitud, con nervaduras prominentes y limbo recortado. Son ásperos al tacto y poseen un zarcillo en cada axila de la hoja (Guenkov, 1974 ).

## **Flores**

Las flores masculinas nacen en grupos en la axila, y las flores femeninas usualmente se encuentra solitarias, estas se distinguen de las masculinas, en el abultamiento, en su base que es donde se encuentra el ovario. Algunas especies tienen flores hermafroditas.

## **Fruto**

Científicamente es un peponide, provisto de abundante semilla, su forma puede ser redonda, oval o aplanada por los polos, y dimensiones muy variables.

## **Semilla**

La semilla es delgada con un promedio en longitud de 8 mm y por lo regular son de color crema (Maroto, 1989).



## **5.6 Condiciones climáticas**

### **5.6.1 Temperatura**

Valadez (1994) menciona que cuando el fruto se encuentra en la etapa de maduración debe haber una relación de temperaturas durante el día y la noche, es decir, en el día deben registrarse temperaturas altas ( $>30^{\circ}$  C) y días muy iluminados o largos para favorecer la tasa fotosintética, y por la noche deben presentarse temperaturas frescas ( $15.5^{\circ}$  a  $18^{\circ}$  C).

### **5.6.2 Luz**

El melón es muy exigente en iluminación, favoreciendo ésta su desarrollo en todos los sentidos (Maroto, 1989).

### **5.6.3 Humedad**

Parson (1983), menciona que estas plantas no soportan una humedad excesiva, además de los altos niveles de humedad del ambiente favorecen la incidencia de enfermedades fungosas como el mildiú y la cenicilla. Como cifra media se habla de una humedad relativa del 60 a 70 % para el melón (Maroto, 1989).

## **5.7 Condiciones Edificas**

### **5.7.1 Suelos**

El melón no es muy exigente en cuanto al tipo de suelo, aunque prefiere los terrenos ricos en materia orgánica, profundos, mullidos con buena reserva de agua, pero es fundamental que el suelo esté bien aireado y que en él no se estanque el agua (Maroto, 1989).

### **5.7.2 pH**

El melón está clasificado como una hortaliza ligeramente tolerante a la acidez, ya que se desarrolla en un pH 6.8 - 6.0; cabe mencionar que pH muy ácido puede presentarse un disturbio fisiológico llamado "amarillamiento ácido. (Mass, 1984; Valadez 1994).

### **5.7.3 Salinidad**

El melón está considerado como un cultivo moderadamente resistente a la salinidad. Un incremento en ésta conlleva a un aumento en los contenidos de cloro y sodio en hojas y frutos, así como un ascenso del porcentaje de sólidos solubles en los frutos. (Maroto, 1989).

En lo que respecta a la tolerancia de salinidad, está clasificado como de mediana a baja tolerancia, presentando valores de 2560 ppm (4 mmho) (Valadez, 1994).

## **5.8 Selección y preparación del terreno**

Al realizar la selección del terreno, éste debe contar con un buen drenaje, por otra parte hay que tomar en cuenta las condiciones climáticas y edáficas que exige el cultivo de melón. El método de la labranza básica se efectúa con arados de vertederas o arados de discos. Para obtener una buena labranza, primero debe limpiarse el terreno previamente con una rastra de discos, para así lograr una incorporación superficial del material orgánico.

De acuerdo a la profundidad de las raíces de la hortaliza, se trabaja la tierra con un subsolador de 20 a 40 cm de profundidad (Fersini, 1982).

## 5.9 Siembra

Castaños (1992), señala que la siembra puede ser directa o de transplante.

Siembra en almácigo o invernadero.

⇒ Periodo de crecimiento en almácigo: 21-28 días.

⇒ Temperaturas óptimas en almácigo:

Día: 21-24 °C

Noche: 16-18 °C

⇒ Comportamiento al transplante: Susceptible.

⇒ Cantidad de semilla en almácigo: 500 gr/Ha

Siembra directa (más usada)

⇒ Cantidad de semilla de 2-2.5 kg/ha

⇒ Profundidad de siembra es de 2.5 cm

⇒ La temperatura del suelo para la germinación: Mínima 16 °C, Máxima 35 °C.

⇒ Temperatura durante el crecimiento: Mínima 16 °C, Máxima 33 °C, oscilación óptima: 18-24 °C

⇒ Distancia entre surcos: 1.84 mt

⇒ Distancia entre plantas: 30 cm

⇒ Desarrollo radical (Profundidad): 0.85 – 1.15 mt

⇒ Días de la siembra hasta la madurez: 100 a 120

### 5.10 Labores Culturales

***Poda y Aclareo.*** No todos los estados productores realizan estas prácticas y cuando las efectúan son diferentes a las que realizan en el cultivo de sandía. El cultivo del melón forma sus flores hermafroditas y femeninas en las ramas secundarias (Valadez, 1994).

***Deshierbes.*** Esta actividad se realiza con el fin de evitar la infestación de plagas y enfermedades al cultivo, al servir las malezas de hospederos, además de aporcar a la base de la planta con un azadón. Es un cultivo que produce buenos rendimientos si se mantienen los terrenos libres de hierbas no deseadas, durante las primeras etapas de crecimiento.

***Acomodo de Guía.*** Se realiza con el fin de depositar las guías dentro del área de las camas (Zapata, 1989)

### 5.11 Fertilización

***Nitrógeno.*** Durante la época de plantación, la hortaliza deberá recibir de 35 a 70 Kg/ha, aplicados a través de una banda colocada en unos centímetros de lado y debajo del sitio donde descansará la semilla. Posteriormente, cuando las guías empiecen a desarrollarse, se fertilizará a los lados del surco, con dosis de 70 Kg/ha, hasta completar de 115 a 160 Kg de acuerdo al tipo de suelo y la dosis empleadas en el cultivo anterior (Valadéz , 1994).

***Fósforo.*** Este elemento se aprovecha mejor cuando se aplica en bandas, que cuando se distribuye al voleo. La dosis fluctuara entre los 135 – 200 Kg/ha, colocado en bandas gemelas, 15 cm a los lados y 15 cm debajo de la semilla, durante la época de plantación (Valadéz, 1995).

**Potasio.** De acuerdo a los resultados del análisis, cuando se reporten concentraciones de 80 ppm, se usarán de 100 a 220 Kg/ha, al voleo e incorporados al suelo, antes del rayado de las camas (Valadéz, 1995).

**Otros Nutrientes.** A pesar de que se acostumbran aplicaciones de zinc, de acuerdo a los resultados de trabajos experimentales, este cultivo no responde satisfactoriamente al empleo de micronutrientes (Burgueño, 1994).

Parsons (1983). Señala que los fertilizantes no sólo incrementan el rendimiento, si no también mejoran la calidad de los frutos. El balance de los nutrientes esenciales, es importante para el desarrollo normal de los cultivos. Un exceso o la falta de alguno de ellos podría afectar el crecimiento y la producción del cultivo.

Valadez (1992), menciona, que la fertilización de esta especie en México, no existe mucha variabilidad; sin embargo, a continuación se presentan dos fórmulas generales:

INIFAP ----- 100 - 80 - 0  
Apatzingán ----- 120 - 80 - 0

Se recomienda fraccionar el nitrógeno en dos partes: una aplicación a la siembra y la otra a los 40 días, aproximadamente.

**Respecto a la fertilización se extienden las siguientes recomendaciones:**

**Nitrógeno (N).** Durante la época de plantación, la hortaliza deberá recibir de 35-70 Kg/ha aplicados eb banda a unos centímetros de lado y abajo del sitio

donde se colocará la semilla. Cuando las guías se desarrollen se debe fertilizar a lados del surco en dosis de 70 kg/ha, hasta completar de 115 – 160 kg/ha.

**Fósforo (P).** 135 – 200 kg/ha de  $P_2 O_5$ , colocados en bandas gemelas 15 cm. a los lados y 15 cm debajo de la semilla durante la época de plantación.

**Potasio (K).** 100 – 200 kg/ha de  $K_2O$  que se distribuyen al voleo y se incorporan al suelo antes del rayado de camas meloneras.

## 5.12 Riegos

Parsons (1983), menciona que los períodos de demanda crítica de los cultivos de las cucurbitáceas son las siguientes:

- Después de la siembra hasta la Emergencia.
- Al momento próximo a la Floración.
- Unas dos semanas después de la Floración, cuando aparece la segunda floración.
- Durante la formación de los Frutos.

La cantidad de agua que se aplica durante de períodos de demanda crítica, es aproximadamente la siguiente:

- Un suministro de auxilio de 100 150 mililitros.
- Una segunda aplicación de aproximadamente 40 mililitros.
- Posteriormente, aplicaciones frecuentes pero más ligeros, o sea, en láminas de 15 a 20 milímetros cada una.

El mismo Autor menciona con respecto al tipo de suelo, que el agua se aplica en suelos ligeros con más frecuencia, pero en láminas más delgadas. Los métodos de aplicación pueden ser por surcos, por goteo o mediante riegos por aspersión.

En las regiones áridas, el riego por goteo es un sistema adecuado ya que se requiere una menor cantidad de agua. Especialmente en campos relativamente pequeños y en donde las plantas estén bien espaciadas, el riego por goteo da buenos resultados. ( Parsons. 1983).

### **5.13 Trabajos de investigación**

Mutoki y kurohahaua (1977), experimentando con melón realizaron lo siguiente: Aplicaron riegos a diferentes niveles de humedad en el suelo, dichos niveles en el suelo variaron de 2.0 a 2.7 atm de tensión del agua en el suelo y en diferentes estados de desarrollo de la planta (desarrollo temprano y llenado de fruto), donde obtuvieron el siguiente resultado:

El control de crecimiento y el llenado del melón mediante el nivel del agua del suelo, es discutido; además tanto el rendimiento como el desarrollo óptimo de las plantas fue obtenido con riego de 2.5 atm de tensión del agua en el suelo.

El cuando regar es un problema universal. Algunos riegan según el aspecto de las plantas, otros emplean tensiómetros para determinar los requerimientos de agua. Universidades y servicios de extensión recomiendan mantener el suelo al 50 por ciento de humedad aprovechable para la mayoría de los cultivos y en situaciones críticas hasta el 30 por ciento de humedad.

Ochoa (1978), realizó un trabajo sobre comparación de láminas de riego en melón (cucumis melo L.C.V. perlita) aplicadas por medio del riego por goteo partiendo de la evaporación, con la finalidad de evaluar la efectividad de los

valores de corrección a la evaporación propuestas por Hargreaves para el cultivo de melón.

Las láminas de riego fueron calculadas a partir de la evaporación, medida en un tanque evaporímetro tipo "A", con 10 valores de corrección durante el ciclo vegetativo del cultivo. Se concluyó que la producción lograda aunque estuvo muy por encima de la obtenida por el método convencional (gravedad), no se puede considerar como optima para riego por goteo. Sin embargo el mejor rendimiento fue de 36.17 ton/ha con una lámina de riego de 393.2 mm.

Lamont et al (1990), realizaron un estudio para evaluar el acolchado plástico, irrigación por goteo, legumbres y trigo de invierno sólo o en combinación con estiércol para la producción de melones. Concluyeron que el uso de leguminosas como abono verde combinado con el riego por goteo y el acolchado plástico puede permitir la producción hortícola seleccionados con excelentes sistemas de manejo y cosecha puedan proporcionar altos rendimientos, desde el punto de vista ecológico, protege el ambiente ya que reduce el uso de fertilizantes químicos y sobre todo previene la contaminación por lixiviación de nutrientes hacia las fuentes de agua dulce.

Rudick et al (1978), experimentaron sobre los estados de desarrollo óptimos para aplicación de riego por goteo. Estos experimentos fueron llevados a cabo bajo condiciones de túneles de plástico donde se observó la respuesta de las plantas de melón y sandía al riego, durante diferentes estados de desarrollo; ningún cultivo se vio afectado por la aplicación de riego durante los estados de desarrollo vegetativo y amarre de frutos. Sin embargo, el riego en el estado de desarrollo del fruto, el cuál se continuó por cerca de un mes en sandía y mes y medio en melón, logro incrementos en los rendimientos aproximadamente de un 48 por ciento respectivamente y no afecto la calidad del fruto.



Martínez (1985), en un estudio realizado en el cultivo de melón bajo condiciones de la comarca lagunera, aplicó diferentes volúmenes de riego por gravedad para este cultivo, con o sin acolchado plástico negro y reportó que los tratamientos en los que se acolcho estuvieron siempre bajo condiciones de una mayor humedad en el suelo, en promedio fue de 10.8 por ciento superior al testigo sin plástico en la profundidad de 0 - 30 cm y por un periodo de 5 meses. Así mismo, los tratamientos en los que acolchó, obtuvieron mayor rendimiento de frutos y una mayor producción de follaje.

Battikni y Ghawi (1987), evaluaron la producción de melón bajo acolchado y riego por goteo para calcular los efectos sobre la producción, temperatura del suelo, requerimientos de agua, distribución y densidad de raíces. No encontraron diferencias significativas en los tratamientos acolchados con plástico transparente, plástico negro y testigo sin acolchar, con respecto al agotamiento de humedad del suelo, al total de agua suministrada, percolación y evapotranspiración. La diferencia tampoco fue significativa para peso, densidad y distribución horizontal y vertical de la raíz. La producción de la parcela acolchada con plástico negro fue significativamente mayor que la producción obtenida de la parcela acolchada con plástico transparente. La diferencia en la producción fue atribuida a la mejor capacidad de almacenamiento de agua que tuvieron las parcelas acolchadas aunque las diferencias en este punto no hayan sido significativas.

Valenzuela et. al. (1992), indican que las plantas de melón desarrolladas bajo condiciones de invernadero fueron sometidas a fertirrigación diferenciada en NPK, las plantas fueron muestreadas cada 15 días, las hojas fueron secadas en una estufa a 70 °C durante 24 horas, analizando posteriormente los macro y micronutrientes. Calculando La concentración óptima de cada uno de ellos en relación con la cosecha se obtuvo:

N (40-43.2 gr/m<sup>2</sup>), P (6.74-7.6 gr/m<sup>2</sup>), K (22.5-22.37 gr/m<sup>2</sup>), Ca (45.1-48.7 gr/m<sup>2</sup>), Mg (13.89-14.7 gr/m<sup>2</sup>)

## VI CONCLUSIONES

A medida que el mercado de las hortalizas se torna más competitivo y los costos de tierra, fertilizantes y mano de obra se incrementan, el agricultor se ve obligado a incrementar su productividad reduciendo sus costos de producción. El riego por goteo ofrece la solución más completa para este problema, ya que éste aumenta la producción mientras reduce el consumo de agua, fertilizantes y mano de obra.

Al instalar un sistema de Riego por Goteo se concluye que es necesario tomar en consideración varios factores importantes como los siguientes:

- El sistema debe que ser bien diseñado por un profesional con amplio conocimiento en riego por goteo.
- Todos los componentes del sistema de riego por goteo incluyendo filtros, medidores de gasto, e inyectores de fertilizantes deben ser incluidos en el sistema. Además, se debe instalar correctamente.
- Finalmente, el agricultor tiene que comprometerse a un programa cuidadoso de mantenimiento para tener el sistema trabajando a su máxima eficiencia.

En lo que se refiere al mantenimiento del sistema de Riego por Goteo, es necesario mencionar que existen ciertas reacciones químicas del agua con otros factores, que pueden conducir a un deficiente funcionamiento del sistema de riego. Por ejemplo diferentes sólidos o sales disueltas, y varias concentraciones químicas de componentes activos llamados “iones”, pueden actuar para cambiar la manera en que las plantas crecen.

Por tal motivo, es indispensable familiarizarse con el funcionamiento de sistema así, cómo con la calidad del agua que afecta al sistema de riego. Se debe tener conocimiento en el manejo de la calidad del agua antes de aplicarla a través de sistema de riego por goteo. Esto da como resultado una disminución del frecuente problema de taponamiento de emisores.

Para obtener mejores resultados al utilizar la fertirrigación es indispensable conocer los principales parámetros de los fertilizantes como son: la compatibilidad entre las sales, solubilidad, acidez y grado de salinización.

Cuando se va a disolver fertilizantes para formar una solución que posteriormente será inyectado al sistema de riego, se recomienda consultar la tabla de solubilidad de los fertilizantes antes de iniciar a mezclarlos. Las interacciones químicas entre los materiales fertilizantes provocan la formación de precipitados, lo que ocasionan el taponamiento en el sistema de riego.

La clave de la fertirrigación, se basa en que no solo lleva agua, si no que aumenta el porcentaje de aire en el suelo, llevando los nutrientes a las raíces en el momento más adecuado para su absorción. El proceso completo de la fertirrigación, ahorra energía para la planta, reduce la evaporación y reduce las pérdidas por lixiviación de los fertilizantes. De acuerdo a lo anterior, la fertirrigación es la mejor solución para ahorrar el agua y utilizar mejor los recursos. (tierra, agua, capital).

## VII BIBLIOGRAFIA

- Amorós, M. (1991). Riego por goteo en cítricos. Ed. Mundi - prensa. Madrid, España.
- Boswel, J. 1990. Hardie irrigación micro - irrigación, fourt edition. August, 1990. Hardie irrigación Unit State of America.
- Bowen J. E. 1990. Agricultura de las Américas. Julio/Agosto. Año 39, No.4.
- Burgeño. Hector. 1994. La fertirrigación en cultivos hortícolas con Acolchado Plástico: Extracción de Nutrientes por los cultivos de tomate y Bell Pepper en el valle de Culiacán. Ed. Burseg. Culiacán, Sin.
- Burgueño. Hector. 1997. La fertirrigación en cultivos Hortícolas con Acolchado Plastico: Las soluciones nutritivas, El calor en los acolchados plásticos, El uso de Acondicionadores de suelo y fuentes de Fósforo. Vol. 3. Ed. Bursag. Culiacán, Sin.
- Cadahía, C. 1988. Fertilización en riego por goteo de Cultivos Hortícolas Ed. ERT. (fertibería). Madrid. España.
- Castañón, C. 1992. Horticultura. Manejo Simplificado. Ed. UACH. Chapingo, México.
- Castilla, N. 1989. programación del riego por goteo en Invernadero plástico sin calefacción. Plasticultura, 82.
- Coello, C. C. 1997. Inyección de Químicos y fertilizantes en los Sistemas de Riego presurizado. Monografía de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah.
- Contreras, Q. D. 1997. Revista Plantaciones Modernas. Ed. AGROSEM. Noviembre – Diciembre. Año 2 No. 6.

- Domínguez, V. A. 1993. Fertirrigación. Ed. Mundi - prensa. Madrid España.
- Fersini L., J. 1982. Horticultura práctica. Ed. Diana. México, D.F.
- García, C. I. 1997. Sistemas de Riego por Aspersión y Goteo. Ed. Trillas: UAAAN. México.
- Guenkov, G. (1974). Fundamentos de la horticultura Cubana. Primera edición. Ed. Instituto Cubano del libro. La Habana Cuba.
- Gurovich, L. A. 1985. Fundamentos y diseños de sistemas. Ed. IICA. San Jose Costa Rica.
- Hoces, T. 1990. La fertirrigación. Artículo. Revista muy interesante. No. 8-010890. Publicación Mensual. México. D.F.
- INEGI 1994. VII Censo Agropecuario. Cultivos Anuales de México. Aguascalientes, México.
- Keith Sheperski. 1989 Landscape Drip irrigación Desing Manual de Rain Bird . Turf Divition. Unit. State of America.
- L. j., Rodrigo. Et. al. 1992. Riego Localizado. Ed. Mundi - Prensa. Madrid, España.
- Lamont, W. J. 1990. Muskmelon, Honeydews and Watermelons on Conventional and Photodegradable Plastics Mulches Whit Drip Irrigación. Quebec, Canada.
- Leñano F. 1978. Melón en: Hortalizas de fruto. Manual del Cultivo Moderno. Barcelona, España.

- Martinez, S.J. 1985. Frecuencia de Riego en el cultivo de Melón (cucumis melo L.) por transplante con y sin Acolchado con plástico. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah.
- Maroto, J. B. 1991. Congreso Nacional de Fertirrigación acta del Congreso, Fundado para la investigación Agraria en la provincia de almacenamiento. Almería España.
- Maroto, B. J. 1989. Horticultura. Herbácea Especial. Ed. Mundi - Prensa. Madrid, España.
- Medina, S.J. 1979. Riego por Goteo Teoría y Práctica. 3ª. Ed. Mundi – Prensa. Madrid, España.
- Montalvo, T. 1983. Necesidades hídricas de los cultivos y programación del riego. Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Levante. Valencia, España.
- Montalvo, T. 1995. Riego localizado. Diseño de Instalaciones. Servicios de Publicaciones. Universidad Politecnica de Valcencia, España.
- New, L. L. And Fipps G. 1990. Chemigation equipment and safety. Chemigation workbook. Texas Agriculture extensión service Texas AA. University B - 1552 college station Texas VIII - 1, VII - 2, X - 5, IX - 3.
- Parson, D.V. 1985. Manuales para evaluación Agropecuaria: Cucurbitaceae. Area de producción vegetal. S.E.P. México. D. F. Ed. Trillas.
- Pompa Gómez, Pedro. 1979. Riegos a presión, aspersion y goteo. Segunda edición; editorial ADEOS; Barcelona España.
- Rain Bird. 1990. Manual de Mantenimiento para sistemas de Reigo de bajo volumen. Rain Bird . Turf Divition. Unit. State of America.

- Rincon, S. L. 1991. Extracción de Macronutrientes en el cultivo de Lechuga. Segundo Congreso Nacional de fertirrigación. Fundación para la investigación agraria en la provincia de Almería. España.
- Rodriguez Suppo, F. 1992. Riego por Goteo. Ed. AGT Editor. México, D. F.
- SAGAR, 1997. Curso de Diseño de Sistemas de riego, Celaya Gto.
- Tisconia. 1979. Hortalizas de fruto. Ed. Albatros. Buenos Aires, Argentina.
- Tislade, L. S. Y Nelson, L. W. 1982. Fertilidad de los suelos y los fertilizantes. Ed. Hispano - Americana, S. A. De C. V., México.
- Valadéz. Et. al. 1995. Evaluación Técnica y Económica del sistema de riego por goteo y exudación en la producción de Melón y Sandía. Memorias VI Congreso Nacional de Horticultura. Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, A.C. Hermosillo, Son.
- Valadéz., L. A. 1994. Producción de Hortalizas. Ed. Limusa., S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. Cuarta reimpresión. México, D.F.
- Zapata, N., M. 1989. El melón. Ed. Mundi - Prensa. Madrid, España.

## **Direcciones de Internet**

<http://par.cebas.csic.es/fichas.htm>

<http://www.faxsa.com.mx/c60me001.html>

<http://cenca.imta.mx/webtopic/rd/rd4.htm>

<http://ww.edmo.es/horticom/tem.html>



