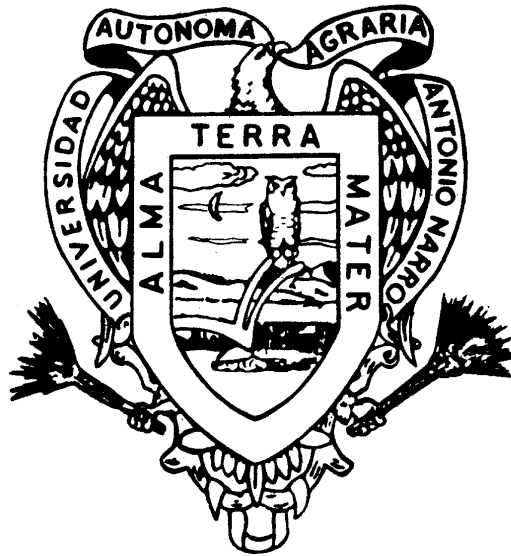


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



“FERTIRRIGACION EN EL CULTIVO DEL MELÓN”
(Cucumis melo L.)

Por:

JOSÉ ANCELMO HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

MONOGRAFIA

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

**INGENIERO AGRÓNOMO
EN
HORTICULTURA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Abril de 1998.
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**

“Fertirrigación en el Cultivo del Melón”

MONOGRAFIA

**Por:
JOSÉ ANCELMO HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ**

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como
Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobado por:

**Ing. José Angel de la Cruz Bretón
Presidente del Jurado**

**Ing. René de la Cruz Rodríguez
Vocal**

**Biol. Sergio Pérez Mata
Vocal**

**M.C. Mariano Flores Dávila
Coordinador de la División de Agronomía**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Abril de 1998

INDICE

Página

II

I.	Introducción	1
II.	Antecedentes	3

CAPITULO I ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL MELÓN

1.	Origen	5
2.	Importancia Económica	6
3.	Características del Cultivo del Melón ó de la Planta	7
	3.1. Clasificación Botánica	7
	3.2. Variedades	7
	3.3. Morfología	7
4.	Condiciones Climáticas y Edáficas	8
	4.1. Condiciones Climáticas	8
	4.2. Condiciones Edáficas	9
5.	Preparación del Terreno	10
6.	Siembra	10
7.	Labores Culturales	11
8.	Fertilización	11
9.	Plagas y Enfermedades	13
	9.1. Plagas	13
	9.2. Enfermedades	13
10.	Cosecha	14
11.	Usos	15
12.	Producción Nacional	15

CAPITULO II USO DE LA FERTIRRIGACIÓN EN EL CULTIVO DEL MELÓN

1.	Fertirrigación	18
	1.1. Definición	18
	1.2. Ventajas	19
	1.3. Desventajas	21
2.	Métodos de Riego y Fertirriego	22
	2.1. Tipos de Riego aptos para el Fertirriego	23
	2.1.1. Riego por Aspersión	23
	2.1.2. Riego por Goteo (Riego Localizado)	25
	2.2. Eficiencia de Aplicación	31
	2.3. Eficiencia de Distribución	33
	2.3.1. Gravedad o Superficial	35
	2.3.2. Presurizado	38
3.	Suelo y Fertirriego	41
	3.1. Textura	41
	3.2. Capacidad de Intercambio Catiónico	42
	3.3. Salinidad	42
	3.4. pH de la Solución del Suelo	43
4.	Agua de Riego y Fertirriego	45
	4.1. Solubilidad de Fertilizantes	45
	4.2. Prueba de Solubilidad.	47
	4.3. Acondicionadores de Fertilizantes Granulados.	48
	4.4. Soluciones frías de Mezclas de Fertilizantes Granulados	49
	4.5. Formas insolubles de Precipitados	49
	4.6. Compatibilidad de Fertilizantes	49
	4.7. Calidad del Agua	50
	4.8. Uso de Ácidos	56
	4.9. Clorinación	57
5.	Fertilizantes y Fertirriego	57
	5.1. Nitrogenados	57
	5.1.1. Amoníaco anhídrico	58
	5.1.2. Orgánicos	60

5.1.3. Urea.	60
5.2. Fosforados.	61
5.3. Potásicos	61
5.4. Fertilizantes con Azufre.	62
5.5. Micronutrientes	62
6. Programa de Fertilización	62
6.1. Fundamentos de un Programa	62
6.2. Recomendaciones para elaborar un Programa	63
7. Sistemas de Inyección	66
7.1. Inyector de orificio	66
7.2. Venturi	67
7.2.1. Venturi con válvula	67
7.2.2. Venturi con bomba	68
7.3. Bomba inyectora	68
7.4. Tanque de Inyección	69
8. Gastos y Tiempos de Inyección	70
8.1. Gasto de Inyección del Fertilizante	70
8.2. Gasto de Inyección de Campo.	74
8.3. Tiempo de Riego	75

CAPITULO III FERTIRRIEGO EN EL CULTIVO DEL MELÓN

1. Evaluación de una Instalación de Riego por Goteo	87
2. Cultivo de Melón con Cobertura Plástica de Suelo	89
2.1. Efectos de la Cobertura Plástica sobre el Suelo	90
2.2. Plásticos Usados en la Cobertura de Suelos	91
2.3. Polietileno Negro	92
2.4. Polietileno Transparente o Cristal	93
2.5. Producción Anticipada de Melón	94
2.6. Características de la Lamina de Polietileno	96
2.7. Colocación de la Lamina de Polietileno	97
3. Expectativas del Uso de la Fertirrigación en la Producción de Hortalizas	99

CONCLUSIONES 103

BIBLIOGRAFÍA 106

INDICE CUADROS

Número		Página
1	Principales Estados Productores de Melón en México	15
2	Rendimientos Promedio del Melón en México Pirmavera-Verano, 1990-1991	17
3	Rendimientos Promedio del Melón en México Pirmavera-Verano, 1990-1991	17
4	Composición y Acidez de Algunos Fertilizantes	44

5	Fórmulas y Solubilidad de Fertilizantes	46
6	Normas para la Interpretación de la Calidad del Agua de Riego	51
7	Calidad del Agua por Peligro de Salinación	54
8	Clasificación de Agua por Porcentaje de Sodio	55
9	Contenidos Máximos Permisibles de los Tóxicos	55
10	Relación entre pH y % de N que puede Volatilizarse	59
11	Consumo de Nutrientes en el Cultivo del Tomate	65
12	Resumen de Costos de Nutrientes	78
13	Gastos de Inyección por Fertilizante	86

INDICE FIGURAS

1	Distribución del Agua de Riego por Gravedad con Gasto Pequeño	36
2	Riego con el Gasto Adecuado	37
3	Riesgo con el Gasto Excesivo	38
4	Tiempo de Riego Grande	39
5	Tiempo de Riego Menor que el Indicado en Riego por Aspersión	40
6	Tiempo de Riego por Aspersión	41

*“De todas las ocupaciones de las que se deriva beneficio alguno no hay ninguna tan amable, tan saludable y tan merecedora de la dignidad del hombre libre como la **agricultura**”*

CICERON

Agradecimientos

A Dios, nuestro Señor por hacer posible la vida y ser nuestro guía en el camino del amor, la verdad y la sabiduría.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por mi formación profesional y por permitirme ser parte de ella.

Al Departamento de Horticultura, al M.C. José Hernández Dávila, M.C. Ma. Martha Ortega Rivera por darme su apoyo durante la realización de mis estudios en la Universidad.

A mis Asesores, Ing. José Angel de la Cruz Bretón, Ing. René de la Cruz Rodríguez y al Biol. Sergio Pérez Mata, que gracias a sus correcciones y sugerencias fue posible la realización de esta investigación.

A todos mis compañeros de trabajo que de alguna manera contribuyeron para la culminación de mis estudios. En especial a Ma. Leticia García Figueroa, por su apoyo para seguir adelante y alcanzar una de mis metas trazadas.

A todos aquellos, que de una u otra forma contribuyeron en la realización de este trabajo.

A mis Padres:
Sra. Manuela Fernández Najera (+)
Sr. Apolonio Hernández Hernández

Que con su ejemplo me enseñaron que el trabajo y la dedicación
son las bases del éxito.

A mi Esposa:
Ma. Cristina Gutiérrez Rivera

Por su gran amor y confianza que siempre me ha brindado.

A mis Hijos:
Evelyn Haide y Edgar Ulises

Por darme su cariño y apoyo.

A mis Hermanos:
Ma. Del Consuelo, Ma. Concepción, José Apolonio, María de Jesús,
Héctor Manuel, Oscar Horacio, Luis Carlos y Fernando

Por todo su apoyo que me han brindado.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en México encontramos nuevas formas de producción y para la comercialización en el mercado internacional como consecuencia del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica. La utilización de nuevas tecnologías agrícolas, que permitan incrementos de producción por unidad de superficie mejorando a la vez la calidad comercial del producto, se van implantando a gran velocidad en nuestro país. Este tipo de mejoras solo pueden conseguirse con los cambios tecnológicos necesarios que afecten tanto a la calidad de los frutos como a la mejora de las técnicas de cultivo y al sistema general de producción.

El cultivo de hortalizas de fruto ha experimentado un notable avance en los últimos años, debido principalmente, a la ampliación de nuevas técnicas de producción y aparición de variedades mejoradas adaptadas al medio y al mercado.

La continua degradación de los recursos hídricos locales, unido al progresivo aumento en el precio de aquellas aguas de mayor calidad, hace necesario una reestructuración de los planteamientos iniciales a fin de conseguir un buen manejo del agua mediante la utilización de la fertirrigación, en dosis y momento adecuado, junto con la aplicación de determinadas técnicas culturales, obteniendo de este modo la optimización del capital invertido en las mismas por dichos motivos se plantea este trabajo, con objeto de estudiar tales técnicas y su influencia en la producción.

El desarrollo de las tecnologías y las ventajas de utilizar los sistemas de riego por goteo, acolchado plástico y la fertirrigación imponen una mayor eficiencia en el

conocimiento de la nutrición de las plantas con respecto a su medio ambiente. El control en el manejo de la fertirrigación durante las diferentes etapas fenológicas de un cultivo precisa de herramientas que nos permitan entender el funcionamiento de las plantas.

La practica de la fertirrigación requiere en nuestro país de investigación que nos oriente en el mejor manejo del agua de riego y de la nutrición vegetal. Con la finalidad de tener un conocimiento más profundo del uso de la fertirrigación en el cultivo del melón el presente trabajo tiene como objetivo general analizar el uso de la fertirrigación en el cultivo del melón en las regiones productoras de México; además, conocer el proceso técnico del cultivo del melón y la fertirrigación, determinar las ventajas de la fertirrigación en el cultivo del melón y la viabilidad al cambio de un sistema tradicional de producción a un sistema de fertirrigación y que sirva como una herramienta de apoyo para aquellos alumnos, maestros e investigadores que requieran conocer sobre este tema.

ANTECEDENTES

El uso de la fertirrigación es relativamente reciente, a pesar de haberse iniciado en California en 1930. Lógicamente se ha desarrollado paralelamente con el riego por goteo o similares. Así en el año de 1974, sólo existía en todo el mundo unas 85,000 ha. de este tipo de riego. A partir de este período se ha producido una verdadera explosión en el crecimiento de la superficie regada por este método en todo el mundo, hasta el punto de que se han superado con mucho el millón de hectáreas (Burgueño, 1996).

Los países con mayor tradición y experiencia son los Estados Unidos (principalmente California), Australia, Sudáfrica, España, México e Israel.

La introducción de este tipo practica combinada de riego y fertilización tiene gran importancia tanto desde el punto técnico como económico. Desde el punto de vista técnico supone un gran avance en la explotación agrícola, ya que su introducción requiere una mejora de la capacitación técnica del agricultor. Por otra parte la importancia económica es indudable, derivada de las innumerables ventajas de la fertirrigación (Domínguez, 1993).

El manejo de la fertirrigación ha experimentado una evolución acelerada durante los últimos cuatro años, desde el aprendizaje hasta la correcta utilización de tensiómetros, extractores de solución, análisis de savia, manejo de equilibrios químicos y eficiencia del riego. Obligados por las exigencias de un mercado internacional, cada vez más competitivo, esta evolución se juzga necesaria.

Desde el inicio de la implementación del riego a escala (1972-1975) se observo las potencialidades del sistema para lograr alta uniformidad, eficiencia y oportunidad en la aplicación de los fertilizantes por esta vía, previa su disolución en agua, con una velocidad de inyección de la solución fertilizante dependiente de las

horas diarias de riego, los requerimientos nutricionales específicos de cada variedad de melón, según su estado fenológico y la concentración de la solución fertilizante.

C A P I T U L O I

ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL MELÓN

1. Origen

Se afirma que el melón es originario de Asia, principalmente de Irán e India. En el siglo XVI se cultivaban en Islandia, en América Central en 1516 y en Estados Unidos hacia el año 1609 (Valadez, 1994).

Usos. El fruto se consume fresco, aunque algunas variedades son usadas para hacer conservas. Las semillas contienen aceite y son comestibles.

La porción comestible del melón la cual constituye del 45 al 85 % del fruto, contiene:

Elemento	%
agua	92.1
proteínas	0.5
grasas	0.3
carbohidratos	6.2
fibras	0.5
cenizas	0.4
vitamina A	590 U.I*

Fuente : Castaños, 1993 ; Valadéz, 1995.

* Unidad Internacional (UI) de vitamina A es equivalente a 0.3 microgramos de vitamina A en alcohol.

Las semillas contienen aproximadamente:

	%
Grasas	46
Proteínas	36

Fuente : Castaños, 1993.

2. Importancia Económica

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

En los últimos años la superficie destinada para esta hortaliza se ha incrementado considerablemente, de 1981 a 1991 esta ha aumentado en más del doble al pasar de 22,000 Ha a 45,500 Ha. Así mismo, el volumen de producción al pasar de 320,000 ton. a 592,000 para el mismo periodo (Valadez, 1994).

Actualmente se tiene calculado que genera 54 jornales-hombre/ha al año en su ciclo productivo, pues después de la cosecha se generan más empleos en las actividades de acarreo, selección, empaque, estiba, etc.

3. Características botánicas y taxonómicas

3.1. Clasificación Botánica

Reino... Vegetal

División... Tracheophyta

Clase... Angiospermae

Subclase... Dicotyledoneae

Familia... Cucurbitáceas

Género... Cucumis

3.2. Variedades

Esta planta cuenta con diversas variedades entre las que se pueden mencionar (Zapata, 1989):

Cantaloupensis. Conocida comunmente como cantaloupe, se caracteriza por presentar un fruto de cascara un tanto lisa y muy marcadas las costillas o rebanadas.

Reticulatus. Se caracteriza por la rugosidad de la cascara del fruto, en forma de red.

Induratus. A este grupo pertenecen los melones de invierno como el Casaba y Honey Dew y se caracterizan porque la pulpa del fruto carece de aroma.

3.3. Morfología

Es una planta rastrera o poco trepadora con vellos suaves.

Raíz. Es grande y superficial.

Tallo. Son estriados y angulosos.

Hojas. Son orbicular-ovadas a casi reniformes, angulosas o ligeramente penta o heptabuladas, miden de 2 a 10 centímetros de largo, con zarcillos simples .

Flor. Son estaminadas en racimos y las pistiladas o hermafroditas son solitarias, de 1.2 a 3 centímetros de diámetro; la corola esta profundamente pentalobulada, abierta en forma de campana, los pétalos son redondos, de 2 centímetros de diámetro, presenta tres estambres libres con anteras prolongadas; el pistilo tiene de 3 a 5 placentas y estigmas; el ovario es multiovulado.

Fruto. Los frutos son redondos y pueden tener textura china o lisa ; su pulpa generalmente es de color amarillo. Las semillas son delgadas con un promedio en longitud de 8 mm y que por lo regular son de color crema (Zapata, 1989).

4. Condiciones Climáticas y Edáficas

4.1 Condiciones Climáticas

Es una hortaliza de climas cálidos, adaptada a las altas temperaturas. Sensible a las heladas. Para una buena polinización, las temperaturas óptimas estarán entre los 20 y 21 grados centígrados. Planta con cierto grado de resistencia a la sequía. No son convenientes humedades ambientales altas (Castaños, 1992).

Para una buena germinación de la semilla la temperatura no debe ser menor a los 10 grados centígrados, pues en caso contrario, se corre el riesgo que la semilla se pudra.

La poca humedad aunada a la ausencia de lluvias y rocío, evita la presencia y ataque de la plaga del "mildiu" (Zapata,1989).

4.2. Condiciones Edáficas

El cultivo del melón prospera con mejores resultados en terrenos de aluvi6n ligeramente arenosos que presentan un buen sistema de drenaje para evitar el estancamiento del agua. Prefiere los suelos francos arenosos, aunque se siembre en cualquier tipo de suelos.

En el caso de la variedad cantaloupe deben ser ricos en materiales orgánicos o estar en un mediano estado de fertilidad y sin problemas de alcalinidad. Esta variedad requiere de noches tibias y días bastantes calientes y de la nula presencia de heladas. Las condiciones atmosféricas son un factor muy importante para la

calidad de la fruta la poca humedad relativa, durante el periodo de maduración, favorece el desarrollo de una cascara dura y áspera con el tejido de red bien marcado y solidez de la pulpa requisitos estos indispensables para el producto de exportación, que puede resistir el maltrato del transporte o bien un prolongado periodo de almacenamiento (Fersini, 1982).

El cultivo es tolerante a:

Acidez: ligeramente; sales: moderada; Fluctuación de pH favorables: 6.0 a 7.0 (Castaños, 1992).

5. Selección y Preparación del Terreno

Para hacer la selección del terreno, este debe ser bien drenado, hay que tomar en cuenta las condiciones climáticas y edáficas que exige el cultivo del melón.

La labranza básica se efectúa con arados de vertederas o con arados de discos. Para obtener una buena labranza, primero debe limpiarse el terreno previamente con una rastra de discos, o fresadora, para así lograr una incorporación superficial del material orgánico.

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

6. Siembra

La siembra, según Castaños, 1992) 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 grados centígrados

Noche: 16 - 18 grados centígrados

Comportamiento al transplante: Susceptible.

Cantidad de semilla en almácigo: 500 gr/ha.

Siembra directa (la 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 184 cm, entre plantas 30 cm.

Desarrollo radical (profundidad): 85 - 115 cm

Días desde la siembra hasta la madurez son de 100 a 120.

7. Labores Culturales

Poda y Aclareo. No todos los estados productores realizan estas prácticas y cuando las efectúan son diferentes a las que se realizan en sandía. En 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).

8. Fertilización

Nitrógeno. Durante la época de plantación, la hortaliza deberá recibir de 35 a 70 Kg/ha, aplicados en 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 las 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 fertilización rinde mejores resultados cuando los análisis de los suelos reportan concentraciones debajo de 8 - 15 ppm.

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 de los 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).

9. Plagas y Enfermedades

9.1. Plagas

Afidos. Son insectos chupadores que se alimentan de la savia de las hojas, a consecuencia de lo cual estas se doblan o enrollan por los bordes, los cogollos se arrugan y se deforman en ataques muy severos, provocan la defoliación de las plantas, lo que causa una disminución en los rendimientos, además son transmisores de enfermedades virósas (Zapata, 1989).

Otras plagas más comunes en el cultivo del melón son :

- Mosquita blanca, (*Bemisia tabaci* G.),
- Pulga saltona (*Epitrix cucumeris* H).
- Chicharrita (*Empoasca* spp).
- Minador de la hoja (*Liriomyza sativae* B).
- Pulgón (*Aphis gossypii* G.).
- Barrenador del fruto (*Diaphania nitidalis*).
- Falso medidor (*Trichoplusia ni* H.).

9.2. Enfermedades

Mildiu polvoriento o ceniza (*Aphis gossypii*). Es una enfermedad causada por el hongo *Erysiphe cichoracearum*, ataca al melón, pepino y en menor grado a la sandía. Se caracteriza por la aparición en los tallos y hojas inferiores de pequeñas manchas de forma más o menos circular, con aspecto de un polvillo blanquesino, el hongo invade rápidamente la planta, las hojas pierden su color verde y finalmente caen. Los ataques severos de mildiu causan una considerable reducción de los rendimientos, debido a que las plantas afectadas pierden las hojas y tienen un escaso crecimiento de las ramas, lo cual favorece la quemadura de los frutos por el

sol, la disminución de su tamaño y acelera la maduración de los mismos (Valadéz, 1995).

Marchitez o Fusariosis. Es una enfermedad provocada por el hongo *Fusarium spp*, el cual penetra en las raíces y más fácilmente en las heridas de estas, como las causadas por los nematodos. Las plantas pueden ser atacadas en cualquier edad, las muy jóvenes pueden morir en corto tiempo; en las adultas se aprecia un marchitamiento en la parte terminal de las ramas, el cual avanza hasta manifestarse en toda la planta (Valadéz, 1995).

Virosis. El melón también es atacado por un grupo de virus ampliamente difundidos en las zonas productoras del país, los cuales también atacan otros cultivos, estos pueden causar grandes pérdidas a las siembras de melón, son transmitidos desde las plantas enfermas a las sanas por una gran cantidad de especies de áfidos y también mecánicamente por medio de las labores culturales (Valadéz, 1995).

10. Cosecha

La cosecha se inicia cuando los frutos han tomado un color anaranjado con la red bien formada y que se desprendan con facilidad de la planta. Si la venta al mercado se retrasara, los frutos no deben tener el color indicado, pero contar con la red reticulada bien formada. Otro indicados de gran utilidad, es el doblamiento del pedúnculo que une al tallo con el fruto (Valadéz, 1995).

Los rendimientos promedio nacionales, en ton/ha, fueron de 8.151 en el ciclo de primavera-verano y de 9.371 en el ciclo de otoño-invierno.

11. Usos

El melón es usado en la industria y en el hogar; cuando aún no alcanza su madurez es consumido cocido ((Zapata, 1989).

Cuando ha completado su ciclo vegetativo, es usado como: Fruta en fresco, Mermeladas, Jugos, Licuados, Dulces, Confituras, etc.

12. Producción Nacional de Melón

La producción de melón en México se concentra en cinco entidades de nuestro país (Cuadro 1), y en estas el tipo de producción es 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 de primavera-verano. En el siguiente Cuadro se muestra la superficie sembrada de los principales estados productores de melón.

CUADRO 1
PRINCIPALES PRODUCTORES DE MELON EN MEXICO
PRIMAVERA-VERANO 1990-1991

Estado	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción	Rend/Ha
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, VII Censo Agrícola-Ganadero, 1991.

En el año agrícola 1990-1991 la superficie nacional sembrada con melón fue de 43,854 Ha. En 28 entidades se reporto este cultivo, destacando por la mayor superficie sembrada : Sonora con 6798 Ha, Oaxaca con 5389 Ha, Nayarit con 5107 Ha, Guerrero 4545 Ha, Durango con 2763 Ha, Nuevo León con 2574 Ha,

Tamaulipas 2541 Ha, Coahuila con 2488 Ha y Baja California con 2106 Ha. Las superficies anteriores representan en su conjunto 78 % de la superficie sembrada con esta cucurbitácea en el país (ver Cuadro 1). Las diecinueve entidades restantes aportaron conjuntamente una superficie de 9543 Ha sembradas con melón (INEGI, 1991).

La superficie nacional sembrada con melón correspondiente a cada ciclo agrícola, así como su porcentaje con respecto a la superficie nacional sembrada con cultivos anuales fue de 22259 Ha (0.17 %) para primavera-verano y de 21595 Ha (0.54 %) para otoño-invierno (INEGI, 1991).

En el cuadro anterior se muestran los estados con mayor superficie sembrada en primavera-verano, esto no significa que hayan obtenido los mejores rendimientos. En otoño-invierno fueron Nayarit con 4395 Ha, Guerrero 4031 Ha y Oaxaca con 2754 Ha. Los rendimientos promedio nacionales, en Ton/Ha, fueron de 8.151 en el ciclo primavera-verano y de 9.371 en el ciclo otoño-invierno.

Los estados que registraron los más altos rendimientos promedio en el ciclo primavera-verano y las que obtuvieron en el ciclo otoño-invierno, en ton/ha fueron los que se describen en el siguientes cuadros.

CUADRO 2
RENDIMIENTOS PROMEDIO DE MELON EN MEXICO
PRIMAVERA-VERANO 1990-1991

Entidad	Ciclo P-V
---------	-----------

Guanajuato	14.435
Zacatecas	13.874
Baja California	12.554
B.C. Sur	11.698

Fuente : INEGI, 1991.

CUADRO 3
RENDIMIENTOS PROMEDIO DE MELON EN MEXICO
OTOÑO-INVIERNO 1990-1991

Entidad	Ciclo I-O
Baja California	14.908
Guerrero	14.567
Colima	13.760
Sonora	12.678

Fuente : INEGI, 1991.

CAPITULO II

USO DE LA FERTIRRIGACIÓN EN LA AGRICULTURA

1. Fertirriego

1.1. Definición

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

Se entiende por fertirrigación la aplicación de los fertilizantes y más concretamente, la de los elementos nutritivos que precisan los cultivos, junto 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. Para ello se utiliza el agua como vínculo al estar los elementos nutritivos disueltos en la misma (Domínguez, 1993).

La fertirrigación es una técnica que nace con el empleo del sistema de riego por goteo y es un método de aplicación del agua de manera eficiente y frecuente con los mínimos desperdicios de agua así como de los fertilizantes al ser aplicados mediante este sistema (Burgueño, 1995).

En la fertirrigación los fertilizantes sólidos y líquidos deben ser lo suficiente solubles y compatibles; el suministro de los nutrimentos a través de microaspersión es más efectivo que en otros sistemas de riego debido a que las cantidades necesarias aplicar de estos elementos son generalmente muy bajas y es difícil calcularlas con grandes caudales de agua y en forma fraccionada, de allí la importancia del riego por goteo con el cual se disminuyen las dosis llegando a emplear hasta un 20 % de los quelatos que se utilizarían con el sistema de aspersión, además de lograr una distribución más homogénea (Rodríguez, 1982).

1.2. Ventajas

Una de las principales ventajas del riego por goteo y la fertirrigación es la creciente habilidad para un adecuado manejo y aplicación de nutrientes y específicamente el incremento en el uso eficiente del nitrógeno (N) y su virtual eliminación de pérdidas por filtración; otras ventajas son (Revista 1, 1997):

➤ **Incrementa rendimientos y mejora la calidad de los productos** debido a que:

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 la zona 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.

➤ **Ahorro en los costos de la fertilización**, debido a que:

- 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.

➤ **Facilita las labores agrícolas**:

- Se puede fertilizar cuando el suelo o el cultivo impiden la entrada de la maquinaria de fertilización convencional.

➤ **Reduce la contaminación**:

- Si el agua se aplica uniformemente y con alta eficiencia, los excedentes de riego son mínimos y la percolación y el escurrimiento de agua con fertilizante disminuyen (SAGAR, 1997).

Investigadores sonorenses han determinado estrategias para varios cultivos, incluyendo la sandía, lechuga orejona y romana, espinaca, ejote, chícharo, brócoli y coliflor. Estos estudios han demostrado que:

1. La filtración en los cultivos irrigados por goteo en el subsuelo puede minimizarse o eliminarse llevando a cabo riegos diarios guiados por un tensiometro que monitoree el nivel de humedad del suelo.

2. Que los fertilizantes con base en N pueden ser utilizados muy eficientemente con sistemas de riego por goteo, y

3. Que imponderables económicos y ambientales pueden optimizarse simultáneamente para los cultivos con riego por goteo (Revista 1, 1997).

1.3. Desventajas

⇒ Se requiere inversión inicial.

- Se necesita personal calificado.
- Deben adquirirse el equipo de fertirriego y accesorios de seguridad.
- Los fertilizantes solubles son caros.

⇒ Defectos de fertilización en sistemas mal diseñados, mal operados o con fugas.

- Desperdicios de fertilizantes.
- Contaminación de acuíferos o corrientes superficiales.

⇒ Necesidad de capacitar personal para:

- Seleccionar, manejar y dosificar fertilizantes y operar el sistema de riego.

⇒ Peligros al usar mezclas de fertilizantes:

- Los fertilizantes no compatibles con otros o con el agua de riego, precipitan.
- Se necesita conocer la compatibilidad química de los fertilizantes, con el agua de riego.
- Puede haber reacciones violentas.

⇒ **Las pequeñas aperturas de los emisores se pueden tapar si no se lleva a cabo un control adecuado de fertilizante**, es decir si no está bien diluido, o no son los adecuados para este sistema.

⇒ **Problemas de erosión**; esto se debe a que una sola parte del campo es mojada y el polvo inclusive puede tapar los emisores.

⇒ **Problemas con la presión del agua**, si no se lleva un control adecuado de la presión se pueden botar las cintillas o reventar (Karmeli y Smith, 1977).

2. Métodos de Riego y Fertirriego

Con todos los métodos de riego bien diseñados e instalados o construidos, se pueden obtener altas eficiencias de aplicación de agua y uniformidad en su distribución. El fertirriego debe usarse sólo con sistemas de riego bien diseñados y operados, para evitar desperdicios de fertilizantes, que a su vez, representan pérdidas de dinero y problemas de contaminación. A continuación se mencionan los métodos de riego que pueden ser usados en el fertirriego (Burgueño, 1996).

Algunos autores, como Hoces Tomás (1990), menciona que la fertirrigación por goteo es un sistema, mixto de riego y abonado de cultivos. Se realiza a través de una red de tuberías de PVC que depositan al pie de cada planta, gota a gota la cantidad de agua y fertilizante que necesita para su buen desarrollo. En realidad se trata de una versión del riego por goteo, método cada vez más extendido en regiones áridas y semiáridas y en el cultivo intensivo bajo invernadero. Una

instalación además de tuberías con microespitas individualizadas para cada árbol o planta, de una bomba que extrae el agua del pozo y la inyecta a baja presión en la red, lo que provoca, una salida lenta pero constante de las gotas justo sobre las raíces, sin empapar innecesariamente el terreno de alrededor. Con ello no sólo se consigue un espectacular ahorro de agua, sino también que se forme un bulbo húmedo en torno de las raíces que impide la percolación hasta las raíces de sales minerales perjudiciales (Domínguez, 1993).

Adaptar la fertirrigación a una red de riego por goteo no constituye ningún problema: sólo hace falta intercalar entre la bomba y las tuberías un dosificador.

2.1. Sistemas de Riego Aptos para la Fertirrigación

La aplicación de Fertilizantes a través del sistema de riego tiene una serie de exigencias importantes en orden a la eficiencia del abonado. Destacaremos entre otras las siguientes:

- Oportunidad de aplicación. El suministro de elementos nutritivos al cultivo debe realizarse de acuerdo con las necesidades fisiológicas del mismo.
- Uniformidad de la Distribución. Esta exigencia es más difícil de cumplir de modo que sólo los sistemas que realizan la distribución del agua hasta el emisor por medio de tuberías, pueden garantizar, en principio, una cierta homogeneidad en la distribución de los elementos.
- Localización del fertilizante en la zona de absorción de las raíces. Se refiere en particular a los elementos nutritivos menos móviles como el fósforo y el potasio, el nitrógeno se mueve fácilmente con el agua y alcanza sin problemas la zona adecuada (Rodríguez, 1992).

2.1.1. Riego por aspersion

Son generalmente de alto caudal y baja frecuencia aunque hay una amplia gama de posibilidades para adaptarse a las diferentes condiciones de clima, suelo y cultivo. La utilización de la aspersión se basa en la constitución en el suelo de una reserva de agua para un período de tiempo, que puede alcanzar hasta varias semanas, según las necesidades del suelo. De hecho existen diversos tipos de riegos por aspersión, que se adaptan a los diferentes tipos y métodos de cultivo. Las instalaciones pueden ser fijas, semifijas o móviles, de baja, media o alta presión. El caudal y la frecuencia de riego pueden variar entre amplios límites, llegando, en caso de utilizar microaspersores (Domínguez, 1993).

Para (Rodríguez, 1992) el riego por aspersión tiene ventajas indudables en relación con los riegos de superficie o de pie, pudiendo destacarse las siguientes:

- Buen control de la dosis de agua que se aplica y por lo tanto posibilidad de ahorrar agua al poderse adaptar mejor a las características del suelo y a las necesidades del cultivo.

- Distribución bastante uniforme de la dosis de agua aplicada.

- Costo reducido de la aplicación en términos de mano de obra necesaria, si bien esto depende de las características de la instalación.

- No es necesaria la nivelación del terreno.

El mejor rendimiento de este sistema está en momento de instalación y en su ejecución se hayan teniendo en cuenta en profundidad tanto las principales características del suelo (textura, estructura, profundidad permeabilidad, capacidad de campo, capacidad de reserva de agua útil, etc.), como las necesidades de los cultivos a lo largo de su ciclo vegetativo y las características agroclimáticas (insolación, temperatura, lluvia, evaporación, transpiración, ETP, etc.) de modo que

se asegure la posibilidad de realizar adecuadamente los tiempos y turnos de riego para los diferentes cultivos (Domínguez, 1993).

2.1.2. Riego por Goteo

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

A diferencia del riego por aspersión, el riego localizado no se constituye una reserva de agua en el suelo, sino un depósito intermedio que asegure la transferencia de agua casi continua desde el sistema radicular del cultivo. El almacenamiento de agua es muy pequeño y continua desde el sistema radicular del cultivo. Constituye el margen de tolerancia para cubrir los desfases en la demanda y las posibles incidencias del riego (Rodríguez, 1992).

Siguiendo con el ejemplo expuesto en el párrafo anterior aplicando a riego localizado, sea una instalación con 1,000 goteros, cada uno de ellos con un radio de acción de 40 cm. El volumen de suelo ocupado por la zona humedecida, es decir por los bulbos, supuesta una forma semiesférica de los mismos sería de unos 135 m³/ha o 200 t/ha. Ello equivale a una reserva de agua de unos 24 m³ que supone una reserva inferior al consumo de un día. Aunque las reservas varían según las condiciones y los demás parámetros básicos que determinan el diseño de las instalaciones, el aspecto fundamental del riego localizado es la frecuencia y la continuidad en el suministro de agua (Burgueño, 1996).

Bulbo o Zona Húmeda

Generalmente la superficie del suelo humedecida es muy pequeña, sin que, en general supere el 30-40 %. El tamaño del bulbo que se forma depende básicamente del tipo de suelo y del caudal de agua que se aplica. Las partes más diferenciadas son:

- La zona de transmisión del agua situada inmediatamente debajo del gotero, denominada también zona de saturación, debido a que alcanza con cierta frecuencia el punto de saturación, pudiendo aparecer charcos.

- La zona húmeda, que se mantiene en un nivel cercano a la capacidad de campo.
- La pared del bulbo o frente que separa la zona húmeda de la zona seca del suelo.
- La zona de acumulación de sales situada en las partes más superficiales de las paredes del bulbo y que en la superficie del suelo puede manifestarse como un anillo salino, alrededor de la zona húmeda (Domínguez, 1993).

Por otra parte, además del equilibrio de humedad es de destacar también la excelente aireación que se consigue debido a que la zona que se mantiene saturada de agua o zona de transición es mínima. Las raíces disponen de aire suficiente en la zona húmeda y abundante en la zona en el resto del suelo. También existe un menor riesgo de formación de costras superficiales (Rodríguez, 1992).

En estas condiciones, se favorece el desarrollo radicular preferentemente en dicha zona húmeda, es decir, en el bulbo, que forma alrededor del emisor (gotero, microaspersor, etc.), asegurándose un suministro de agua prácticamente óptimo al cultivo. De hecho, se ha comprobado que el rendimiento de los cultivos aumenta a medida que se incrementa el régimen medio de humedad que se mantiene en el

suelo hasta un determinado nivel a partir del cual ya no se observan diferencias de desarrollo. Esto es debido a que las plantas no se ven limitadas por el agua en su desarrollo, o dicho de otro modo, las plantas tienen a su disposición todo el agua que necesitan a cada momento y además pueden absorberla con facilidad ya que la fuerza con la que esta retenida por el suelo es baja. En síntesis, el cultivo no experimenta prácticamente ningún déficit en la absorción de agua. Este es otro aspecto de los riegos localizados (Domínguez, 1993).

Radio de Acción del Emisor

Otra característica del bulbo es el tamaño que puede alcanzar. Este viene definido por el radio de acción y depende fundamentalmente de las características del suelo. Cada tipo de suelo, un determinado caudal de agua sin que llegue a reproducirse la zona de saturación en la zona de transmisión. Este caudal límite y a este le corresponde un volumen de bulbo determinado que queda definido por un radio de acción característico. El caudal límite es un parámetro representativo del suelo. En la práctica se utilizan caudales ligeramente superiores al límite, lo que aumenta el radio de acción del bulbo a costa de mantener ocasionalmente pequeñas zonas de saturación o charcos. De cualquier modo hay que advertir 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).

Tal como se deduce de lo expuesto anteriormente, el radio de acción es un tanto menor cuanto más ligero es el suelo, lo que llega a imponer un límite a la utilización de ciertos riegos localizados como el goteo. En efecto, con radios de acción inferiores a 30 cm es difícil mantener un flujo continuo suficiente para atender las necesidades puntuales de ciertos cultivos. Es necesario en estos casos recurrir a otros tipos de riegos localizados, como por ejemplo: la microaspersión con aportaciones discontinuas (Burgueño, 1996).

Así, en función de la textura del suelo, el radio de acción puede variar normalmente entre 30 y 110 cm. El mantenimiento del bulbo requiere una aportación

muy frecuente de agua que compense sistemáticamente las pérdidas por la evaporación real. Si se acorta el suministro desaparece el margen de seguridad y el bulbo se contrae (Rodríguez, 1992).

Tipos de aplicación

Los riegos localizados o de alta frecuencia tienen su máxima aplicación en los suelos ligeros con poca capacidad de retención de agua en los que con riegos convencionales resulta muy difícil y caro alcanzar la frecuencia necesaria de riego para atender a las necesidades puntuales de los cultivos en los períodos críticos de mayor consumo o demanda. Así, en los suelos arenosos, los riegos convencionales con gran caudal y baja frecuencia, de al menos varios días, pueden llegar a ser muy ineficientes provocando déficit importante en los períodos más críticos del desarrollo y por lo tanto afectando de modo muy considerable a la producción. Estos problemas quedan minimizados totalmente con los riegos localizados de alta frecuencia como el goteo la microaspersión (Domínguez, 1993).

También son especialmente apropiados estos métodos de riego, para los cultivos intensivos y forzados, sobre sustratos más o menos artificiales, tales como enarenados, turbas, lana de roca, etc.

Se está desarrollando igualmente este tipo de riegos en arboricultura frutal (cítricos, frutales, etc.). Por último, con la posibilidad de aportar nutrientes en solución se completan las condiciones idóneas para asegurar un desarrollo óptimo de la planta al eliminar todo tipo de limitaciones de agua y nutrientes. No obstante, también presenta algunos problemas que es necesario tener en cuenta y corregir. Estos problemas se derivan principalmente de la adecuación de los sistemas de riego y su operación a las condiciones del medio y del cultivo. Por otra parte hay que destacar el mayor costo de instalación y sobre todo los requerimientos técnicos tanto para el diseño, como para la implantación y la operación del sistema (Burgueño, 1996).

La obturación de los emisores, que como se dijo anteriormente es uno de los aspectos más críticos del sistema puede producirse por la precipitación de los productos insolubles en agua si no se emplean productos fertilizantes muy solubles o se realizan mezclas de productos poco compatibles que dan lugar a reacciones no solubles (Domínguez, 1993).

Otro inconveniente que es necesario controlar es la salinidad. Los riegos localizados tienen el riesgo de que se produzcan zonas de mayor concentración de sales en los bordes superiores del bulbo húmedo que se forma alrededor del emisor. Este riesgo se incrementa cuando se utilizan aguas con alto contenidos de sales en este caso es necesario controlar la concentración máxima de sales a la salida de los emisores (SAGAR, 1997).

La práctica del Riego Localizado

Se ha explicado anteriormente que resulta prioritario mantener el objetivo de evitar durante el riego zonas permanentes de saturación que impidan la aireación del sistema radicular con consecuencias graves para el mismo. Ello exige, bien mantener el caudal de aplicación por debajo del caudal límite del suelo, o bien adoptar alternativas si ello es posible.

En suelos pesados, por ejemplo, es prácticamente imposible no rebasar dicho caudal límite, ya que el número de emisores necesarios sería incompatible con el marco de plantación del cultivo. Ello exige, en muchos casos, superar dicho caudal adoptando prácticas de riego que reduzcan los períodos y las zonas de saturación a mínimos aceptables. Se recurre en estos casos al riego por pulsos, que consiste en romper la continuidad de riego, realizándolo de forma intermitente. de este modo, se permite recargar del bulbo a medida que el agua es absorbida en las zonas profundas. Ello significa que la humedad del bulbo es menor y a igualdad de caudal la zona mojada, es decir, el bulbo es mayor con el riego a pulsos (Rodríguez, 1992). Se puede emplear de dos formas:

a). Pulsaciones largas. Corresponde, por ejemplo al riego continuo en el que el caudal es inferior a la necesidad máxima horaria. Así si, por ejemplo: se aplica un riego de 10 horas diarias, en las horas centrales del medio día existirá déficit de suministro, por lo que no se producirán encharcamientos. En los períodos extremos pueden producirse ligeros encharcamientos de escasa duración.

b). Pulsaciones cortas. Se trata de alternar cortos períodos de riego con paradas de mayor o menor duración de acuerdo con las necesidades del cultivo.

Lo más difícil de conseguir es un ajuste adecuado del suministro de agua a las necesidades puntuales de los cultivos, que evite tanto el estrés de la planta, como el riego en exceso. Actualmente existe la posibilidad, sin embargo, de llegar a conseguir la automatización prácticamente completa del riego mediante su control con ordenadores y programas específicos. Estos programas utilizan los datos que reciben de los diferentes sensores (estaciones climatológicas, tensiómetros, etc.) situados en la parcela de cultivo, para reprogramar de modo dinámico el riego. De este modo, se pueden detectar encharcamientos, áreas de déficit de humedad, etc., iniciando y recortando el riego en consecuencia (Burgueño, 1996).

También se están desarrollando sistemas más sofisticados denominados sistemas expertos, que pueden gestionar de un modo integral la fertirrigación, actuando del mismo modo que un especialista humano.

2.2. Eficiencia de aplicación

Con la eficiencia de aplicación se evalúa la cantidad de agua aprovechada con respecto a la que se aplica y se expresa en %. Para asegurar el éxito con fertirriego, deben obtenerse eficiencias iguales o mejores que las siguientes: 80 % en riego superficial o por gravedad, 90 % en riego por aspersión y 95 % en microrriego (microaspersión y goteo) (SAGAR, 1997).

Con estas eficiencias se evitan pérdidas por percolación o escurrimientos y problemas de contaminación.

Se obtienen con la fórmula siguiente:

$$Ea = \frac{LAP.100}{LRA}$$

Donde: Ea [%] es la eficiencia de aplicación del riego, LRP [cm] es la lámina de riego que se proyecta o necesita aplicar y LRA [cm] es la lámina que se aplica en el campo.

Ejemplos

En una parcela con surcos, se proyectó aplicar una lámina de riego de 10 cm, y al finalizar el riego, se determinó una lámina aplicada de 12.3 cm. ¿Cual fue la eficiencia de aplicación?

$$Ea = \frac{10(100)}{12.3} = 81.3 \%$$

Se requiere determinar la eficiencia de aplicación con la información siguiente: longitud del surco 200 m; espaciamiento entre surcos 0.9 m; gasto por surco 1 lps; lámina de riego proyectada 10 cm y tiempo de aplicación del agua en el surco 6 hrs.

$$LRA = \frac{(TR)(Q)(3.6)}{(LS)(ES)} = \frac{(6)(1)(3.6)}{(200)(0.9)} = 0.12 \text{ m}$$

$$E_a = \frac{10(100)}{12} = 83.3 \%$$

En el riego por goteo se proyectó aplicar una lámina de 6 mm, si el sistema aplica una lámina media de 2.5 mm/hr y se regó durante 3 horas, ¿Cuál es la eficiencia de aplicación?

$$LA = (2.5)(3) = 7.5 \text{ mm}$$

$$E_a = \frac{LP(100)}{LA} = \frac{6(100)}{7.5} = 80.0 \%$$

En riego por aspersión portátil manual se aplicaron 7 horas de riego con una intensidad de aplicación de 15 mm/hr, si se quería aplicar una lámina de riego de 70 mm, ¿Cuál es la eficiencia de aplicación?

$$LA = (7)(15) = 105 \text{ mm}$$

$$E_a = \frac{LP(100)}{LA} = \frac{(70)(100)}{105} = 66.7 \%$$

2.3. Eficiencia de Distribución

La eficiencia de distribución sirve para conocer las diferencias de aplicación de láminas de riego dentro de una sección de riego o una tendida de riego. Para

tener éxito en el fertirriego, la eficiencia de distribución del agua debe ser mayor al 90 % en cualquier método de riego, con la finalidad de que las plantas reciban cantidades prácticamente iguales de agua y fertilizantes (Domínguez, 1993).

Se obtienen con la fórmula siguiente:

$$ED = \frac{LR_{min}(100)}{L_{Med}}$$

Donde: ED [%] es la uniformidad de distribución del agua a lo largo de la franja de terreno regada, LR_{min} [cm] es la lámina de riego mínima aplicada en el campo o de proyecto y LR_{med} [cm] es la lámina de riego media aplicada.

Ejemplos

Se aplicó un riego en una melga y se muestreo la humedad en el perfil del suelo para conocer las láminas infiltradas a lo largo de la melga, obteniéndose LR_{min} = 8 cm y LR_{med} = 9.5 cm. Encontrar la uniformidad de distribución en el riego.

$$ED = \frac{(8)(100)}{9.2} = 87 \%$$

En un sistema de riego por goteo , se aforaron goteros en la parte final (zona crítica) de una sección de riego y se obtuvo la media aritmética de 2 lph y después se aforó en diferentes partes de la sección de riego y el gasto medio fue de 2.20 lph. El espaciamiento entre goteros es de 0.5 m y el espaciamiento entre tuberías regantes es de 1.2 m.

¿Cuales son las láminas de riego y la eficiencia de distribución si se regó durante 3 horas.?

$$LR = \frac{Vol}{Sup} = \frac{Q \cdot TR}{Sup}$$

$$Tr = 3 \text{ horas}$$

$$LR_{min} = \frac{(2)(3)}{(0.5)(1)} = 12 \text{ mm}$$

$$LR_{med} = \frac{(2.2)(3)}{(0.5)(1)} = 13.2 \text{ mm}$$

En un sistema de riego por aspersión el gasto de los aspersores que operan al final de la tubería, tienen 2.5 lps de gasto y los primeros tienen gasto de 2.8 lps. Los aspersores están instalados en tuberías con espaciamiento de 9 m entre ellos y 15 m entre las tuberías regantes. Se quiere conocer la eficiencia de distribución de la tubería de aspersión.

Primero se calcula el gasto medio, con la media geométrica de los gastos medidos (SAGAR, 1997):

$$Q_{med} = (Q_{ult} \cdot Q_{prim})^{1/2} = \sqrt{[(2.5)(2.8)]^{1/2}} = 2.65 \text{ lps}$$

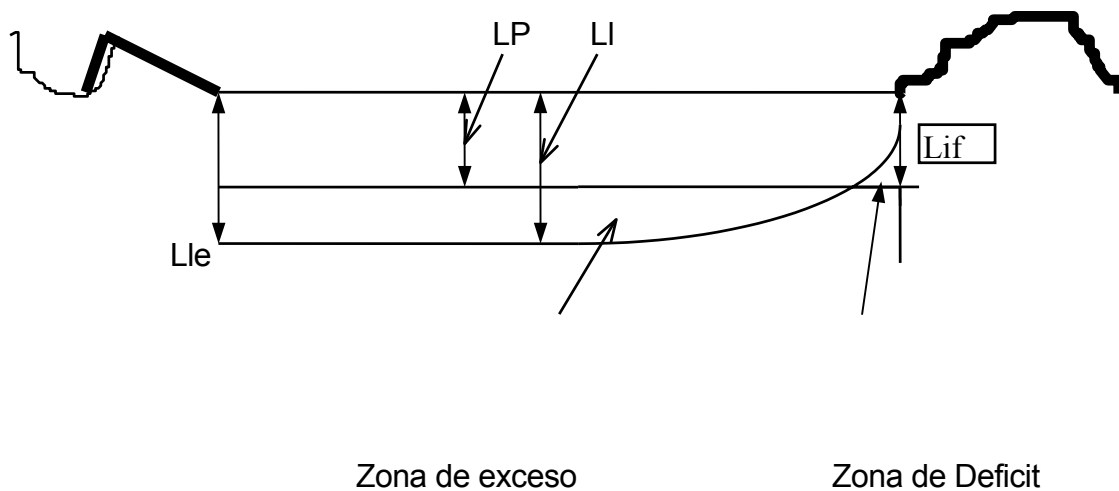
$$ED = \frac{(2.5)(100)}{2.65} = 94.3 \%$$

2.3.1. Riego por Gravedad o Superficial

Para surcos o melgas se presentan tres esquemas de distribución del agua bajo diferentes condiciones de gasto (SAGAR, 1997).

⇒ **Gasto pequeño.** Tendencia al avance lento del agua y la percolación.

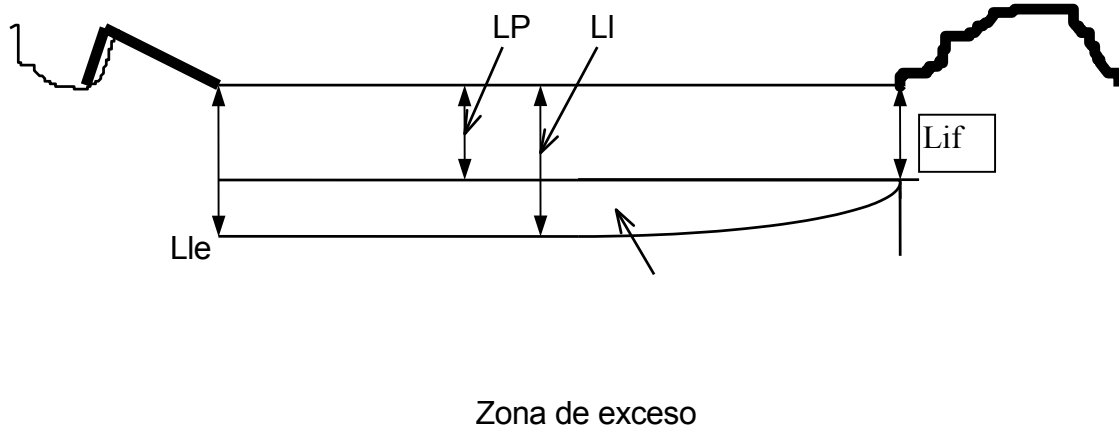
FIGURA 1
DISTRIBUCION DEL AGUA DE RIEGO POR GRAVEDAD
CON GASTO PEQUEÑO



De acuerdo con la lámina, al manejar un gasto pequeño se presenta un exceso por percolación profunda y se observa que no hay escurrimientos superficiales. También puede verse que hay un déficit de riego en la parte final. Si se aplicara el fertilizante con el agua de riego, se distribuiría mal, con peligro de contaminar el subsuelo o el acuífero subterráneo y se desperdicia inversión en el fertilizante .

⇒ **Gasto adecuado para fertirriego.** Avance adecuado al tiempo necesario para que se infiltre la lámina de riego requerida en todo lo largo del surco o la melga.

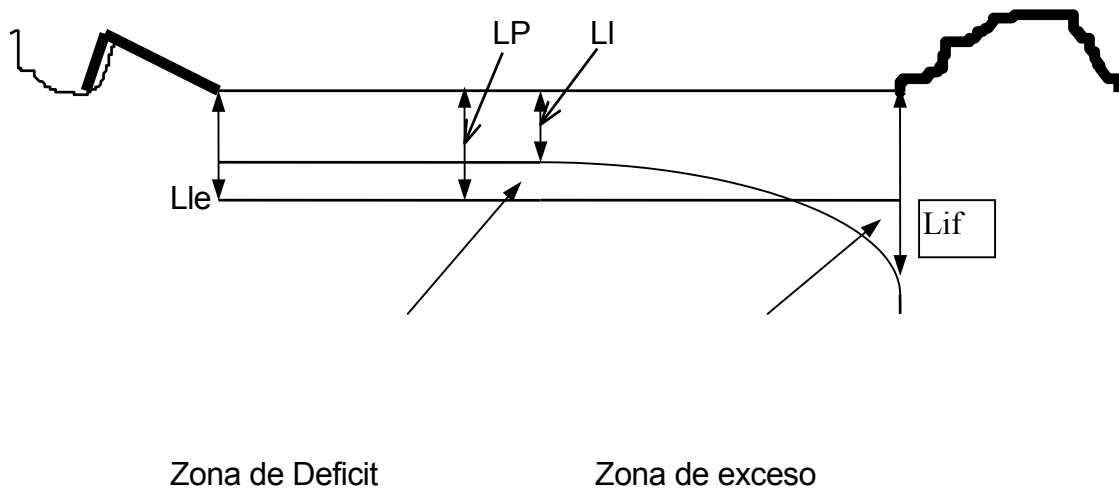
FIGURA 2
RIEGO CON EL GASTO ADECUADO



En la figura 2 se observa que se cubren las necesidades de humedecimiento con un pequeño exceso, sin embargo, con alta uniformidad, aplicando la lámina de riego proyectada al final de la tirada de riego. Esta es la condición excelente para el fertirriego.

⇒ **Gasto grande.** Tendencia del agua a escurrir fuera del surco o la melga y con posibilidad de erosionar el suelo.

FIGURA 3
RIEGO CON EL GASTO EXCESIVO



2.3.2. Presurizado

Aspersión

En sistemas de aspersión estándar bien diseñados, la diferencia de gastos entre el último y primer aspersor de la tubería regante es igual o menor al 10 %. La diferencia máxima de láminas también corresponde al 10 % de la lámina del último aspersor. En estos casos, la dosificación de agroquímicos se realiza con las condiciones apropiadas de alta uniformidad, sin embargo, deben cuidarse la eficiencia de la aplicación y la lámina de riego total, debido a que puede haber percolación de fertilizantes con las consecuencias lógicas que esto implica (Domínguez, 1993).

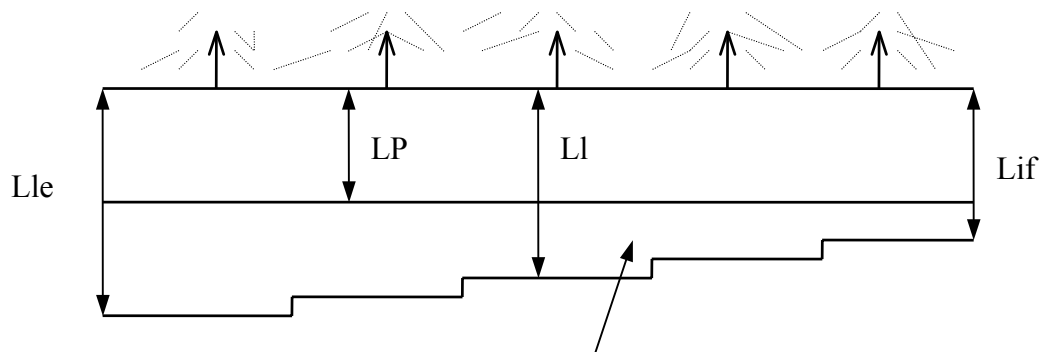
Microrriego

Este caso es similar al de riego por aspersión estándar, sólo que la comparación de las láminas se hace a nivel de sección de riego. Cuando hay goteros o microaspersores con regulador de presión o las tuberías regantes tienen regulador de presión, la uniformidad de distribución del agua aumenta (Domínguez, 1993).

Tiempo de Riego Grande

Se puede aplicar excesos de agua en riego por aspersión al regar más tiempo del recomendado para aplicar la lámina de riego programada (SAGAR, 1997).

FIGURA 4
TIEMPO DE RIEGO GRANDE

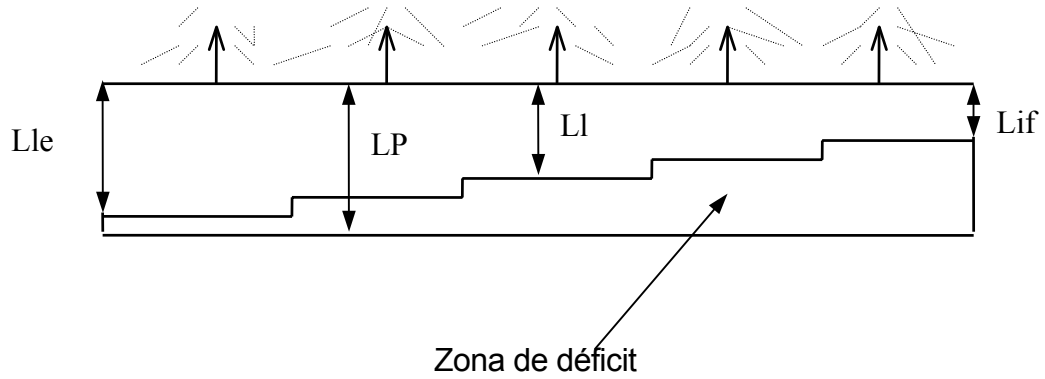


Zona de exceso

Tiempo de Riego Menor que el necesario en riego por aspersión

Se deja de humedecer el suelo correctamente dejando un volumen con déficit de agua, que las plantas deben resentir, bajando los rendimientos (SAGAR, 1997).

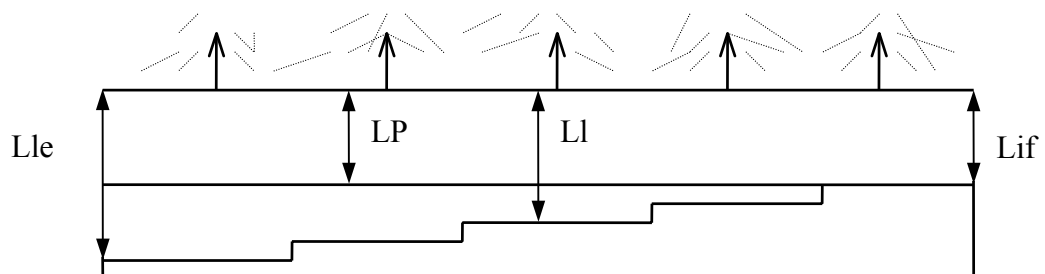
FIGURA 5
TIEMPO DE RIEGO MENOR
QUE EL INDICADO EN RIEGO POR ASPERSIÓN



Tiempo de riego adecuado en riego por aspersión

Permite la distribución correcta de la lámina de riego, regando uniformemente y desperdiciando un mínimo de agua por percolación (SAGAR, 1997).

FIGURA 6
TIEMPO DE RIEGO POR ASPERSIÓN



3. Suelo y el Fertirriego

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).

3.1. Textura

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

3.2. 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, media de 15 a 20, alta de 20 a 40 y muy alta mayor de 40 meq/l.

En los suelos con alta capacidad de intercambio catiónico (arcilloso, 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, porque tiene baja capacidad de intercambio catiónico, y no inhibe la acción benéfica de los nutrientes. En los arcillosos, la capacidad de intercambio catiónico, puede inhibir el efecto de los nutrientes. Deben estar en buen nivel de fertilidad al momento de iniciar el fertirriego, para evitar problemas de inhibiciones de nutrientes (SAGAR, 1997).

3.3. Salinidad

Los fertilizantes son sales que, agregadas al 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 y además se previene el sobrerriego, 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 dS/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 contienen 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.

3.4. 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 un suelo con pH bajo tiene pocos iones intercambiables, los suelos alcalinos están cercanos a la saturación de bases. El pH del suelo puede originar desbalances nutritivos, debido a que la concentración de los iones nutritivos puede aumentar o disminuir bajo condiciones ácidas.

Los pH altos en el suelo pueden disminuir la disponibilidad de zinc, fierro y fósforo para las plantas.

No se recomienda el uso de amonio en el fertirriego, porque puede elevar el pH cuando se inyecta en el agua de riego. Los ácidos nítrico, ortofosfórico, y sulfúrico pueden reducir el pH del agua de riego. A continuación se presenta el cuadro de composición y acidez de fertilizantes (SAGAR, 1997):

CUADRO 4
COMPOSICIÓN Y ACIDEZ DE ALGUNOS FERTILIZANTES

Fertilizantes	% N	% K	% P	% Ca	% S	Equivalente de Áidez*
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		60.0				Neutro
Nitrato dePotasio	13.0	44.0				23
Sulfato de Potasio		50.0				Neutro

Fosfato de diamónico	18		46.0			70
Fosfato amónico		11.0	48.0			58
Ácido fosfórico			52.0			110

Fuente : SAGAR, 1997.

* Kg. de CaCO que son requeridos para neutralizar 100 kg. de fertilizante.

En suelos de pH bajo, se pueden usar 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 al suelo con mejoradores adecuados y luego proceder al análisis del fertirriego.

4. Agua de Riego y Fertirriego

4.1. Solubilidad de fertilizantes

Los fertilizantes ideales no corren o 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 taponamientos por inyectar soluciones saturadas que puedan generar precipitados fácilmente (Domínguez, 1993).

El cuadro 5 muestra algunos fertilizantes comunes y su solubilidad aproximada en agua. La fórmula química y la temperatura empleada para la medida de la solubilidad, se incluyen en los renglones correspondientes.

CUADRO 5
FÓRMULAS Y SOLUBILIDAD DE FERTILIZANTES

	Contenido	Fórmula	Temp °C	Solubilidad gr/lit
Fertilizantes Nitrogenados				
Nitrato de Amonio	34-00-00	NH ₄ NO ₃	0	1182
Polisulfato de Amonio	20-00-00	NH ₄ S ₂		Alta
Sulfato de Amonio	21-00-00	(NH ₄)SO ₄	0	706
Tiosulfato de Amonio	12-00-00	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃		Muy Alta
Amoniacó Anhidro	82-00-00	NH ₃	15	380
Aqua Ammonia	20-00-00	NH ₃ H ₂ O NH ₄ OH		1212
Nitrato de Calcio	15.5-00-00	Ca(NO ₃) ₂	17.77	1000
Urea	46-00-00	CO(NH ₂) ₂		Alta
Acido Sulfúrico Urea	28-00-00	CO(NH ₂) ₂ .H ₂ SO ₄		Alta
Nitrato de Amonio Urea	32-00-00	CO(NH ₂) ₂ .NH ₄ NO ₃		
Fertilizantes Fosforados				
Fosfato de Amonio	08-24-00	NH ₄ H ₂ PO ₄		Moderado
Polifosfato de Amonio	10-34-00	(NH ₄) ₅ P ₃ O ₁₀		

		y Otros		Alta
Polifosfato de Amonio	11-37-00	(NH ₄) ₇ P ₅ O ₁₆ y Otros		Alta
Acido Fosfórico, Verde	00-52-00	H ₃ PO ₄		457
Acido Fosfórico, Blanco	00-54-00	H ₃ PO ₄		457
Fertilizantes Potásicos				
Cloruro de Potasio	00-00-60	KCl	20	346
Nitrato de Potasio	13-00-44	KNO ₃	0	132
Sulfato de Potasio	00-0050	K ₂ SO ₄	25	120
Fosfato de Potasio Monobasico	00-52-34	KH ₂ PO ₄		330

Fuente : SAGAR, 1997.

4.2. Prueba de Solubilidad

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

- ⇒ Con las dosis de fertilizantes que se desean inyectar en el sistema de riego, con los gastos del sistema de riego y de inyección, se definen los volúmenes de agua y de solución fertilizadora para realizar la prueba.
- ⇒ Se toma agua de la fuente de abastecimiento que sea representativa de la calidad del agua para riego, y se pone en el recipiente.
- ⇒ Se agregan los fertilizantes en la cantidad proporcional que les corresponde para preparar la solución fertilizadora, que debe inyectarse al sistema de riego.
- ⇒ Se agrega la solución fertilizadora al recipiente, en la proporción que corresponde a la relación de gastos que hay entre el gasto de inyección y el gasto del sistema.

⇒ Se mezcla, agitando la solución y 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 pueden obstruir 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 requiere realizar la mezcla 24 horas antes de la aplicación y decantarla o poner la toma arriba del fondo para evitar succionar los precipitados; y eliminar las natas de 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 y también 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 precauciones siguientes:

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

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

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

4.3. Acondicionadores de Fertilizantes Granulados

La mayoría de los fertilizantes sólidos secos se fabrican con una cubierta que los protege de la humedad. Para evitar que esos materiales originen problemas de taponamiento en mallas y emisores, se recomienda hacer la prueba de solubilidad de los fertilizantes para definir su manejo.

4.4. Soluciones Frías de Mezclas de Fertilizantes

La mayoría de los fertilizantes nitrogenados sólidos absorben calor del agua cuando son mezclados. Se enfría mucho líquido y puede llegar a congelarse el agua afuera del tanque de mezcla. 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 mas fácilmente (Hoces, 1990).

4.5. Formas Insolubles de Precipitados

Deben considerarse las reacciones químicas que se realizarán entre los fertilizantes y el agua de riego, debido a que pueden generarse precipitados insolubles que obstruirán el sistema de riego. Cuando el pH del agua de riego es alto, puede causar que iones de calcio y magnesio en el agua, formen precipitados con los aniones, como son: hidróxidos y carbonatos de calcio y magnesio.

4.6. 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, originará formación de sulfato de calcio, que puede precipitar. 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 costos de fertilización, se recomienda hacer prueba de solubilidad.

4.7. Calidad del Agua

⇒ Clasificación de aguas por salinidad

A continuación se presentan el cuadro 6 propuesto por Ayers y Wescot (1976) para la interpretación de análisis de aguas de riego:

CUADRO 6
NORMAS PARA LA INTERPRETACION DE LA
CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

Problema	Grado del Problema		
	Sin Problema	Problema Creciente	Problema Agudo
Salinidad (Afecta la disponibilidad de agua para las plantas) $EC_w(\text{mmho/cm})^*$	< 0.75	0.75 - 3.00	> 3.00
Permeabilidad (Afecta la velocidad de infiltración en el suelo) $Ec_w(\text{mmho/cm})^*$	> 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
Toxicidad Ionica Especifica (Afecta cultivos semisensibles)			
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

Efectos varios (Afecta a cultivos susceptibles)			
Nitrógeno, NH o NO (mg/l)	< 5.00	5.00 - 30.00	> 30.00
Bicarbonatos (meg/l) en riego por aspersión	> 1.50	1.50 - 8.50 (Rango normal: 6.5 - 8.4)	> 8.50 (Rango normal: 6.5 - 8.4)
Ph			

Fuente: Ayers y Westcot, 1976.

* E_{c_w} - Conductividad eléctrica.

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

⇒ **Características físicas**

Se consideran las sustancias que lleva en suspensión, como: tierra (arena, limo y arcilla), materia orgánica muerta (restos de plantas), y materia orgánica viva (insectos, plantas acuáticas, bacterias y algas).

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

⇒ **Características químicas**

Se consideran 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**

Indica la acidez o la alcalinidad, el pH =7 corresponde al agua neutra, pH mayor de siete a alcalina y menor de siete a ácida. Alcalinidad mayor de ocho se

considera agua con problemas de uso en fertirriego, porque hay peligro de que se presenten precipitados de calcio y magnesio o de colaborar en que se eleve el pH del suelo a niveles en que los nutrimentos no pueden aprovecharse.

⇒ **Contenido de sales**

El contenido total de sales engloba el peligro de acumulación de sales solubles en el suelo, que pueden generar problemas de presión osmótica, es decir producen dificultades de 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 deciSiemen/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.

El miliequivalente por litro (meg/l) es la milésima parte del peso molecular o atómico de los iones, dividido por su valencia, disuelto en un litro de agua. Ejemplo. El sulfato (SO_4) tiene como peso molecular 96 y su valencia es 2, luego entonces se tiene que:

$$\frac{1meq(SO_4)}{1} = \frac{96}{(2)(100)} = 0.04 \text{ seg/l}$$

⇒ Peligro de salinización del suelo

Se estima con el contenido total de sales solubles en el agua de riego y se utiliza el cuadro 4 para clasificar el agua por el peligro de salinización.

CUADRO 7
CALIDAD DEL AGUA POR PELIGRO DE SALINACIÓN

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

Para 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.

En suelos arenosos, con buen drenaje pueden usarse con menos de 2,000 micromhos/cm y habrá riesgos a partir de 2,000. Por otra parte, en suelos arcillosos puede haber peligro de salinización con conductividades mayores de 1,500 micromhos/cm, regando varios años.

⇒ Contenido de Sodio

Puede llegar a desplazar a iones de calcio y magnesio en el complejo de intercambio catiónico, originando en el suelo pérdida de estructura y haciéndose impermeable. El límite de tolerancia es 0.25 g/l o 10.87 meq/l. El agua se puede clasificar por porcentaje de sodio respecto al total de cationes.

CUADRO 8
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

⇒ **Contenidos máximos permisibles de los iones tóxicos**

Se consideran límites máximos permisibles del contenido de los iones en las aguas analizadas en laboratorios y se presentan a continuación:

CUADRO 9
Contenidos Máximos Permisibles de los Tóxicos

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

Se pueden 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).

4.8. Uso de Ácidos

Cuando el pH del agua es mayor que 7.5 y hay presencia de calcio y magnesio, se pueden precipitar carbonatos de calcio y de magnesio. Para evitar o reducir la precipitación de carbonatos dentro de los sistemas de riego, se aplican ácidos para disminuir el pH del agua (Olague, 1994; SAGAR, 1997).

Se pueden usar ácido sulfúrico (H_2SO_4), clorhídrico (HCl) y fosfórico (H_2PO_4), este último con doble objetivo, debido a que además de bajar el pH aporta fósforo en forma de P_2O_5 que sirve como fertilizante.

Al bajar el pH se ayuda a controlar las bacterias. Si el pH llega a bajar temporalmente a 4 en el agua de riego, se generan condiciones para solubilizar carbonatos de calcio y magnesio, y eliminar bacterias; sin embargo, esto puede encarecer el proceso.

Prueba de acidificación. A un volumen unitario de agua de riego se le agrega una solución ácida, se mezcla y se mide el pH, esto se repite con dosis mayores de solución ácida para bajar el pH, hasta que se llegue al valor deseado.

4.9. Clorinación

Para evitar o reducir la actividad microbiana se usa la clorinación mediante el hipoclorito de sodio (líquido) o hipoclorito de calcio (sólido). Estos compuestos tienen reacción alcalina y se considera que con un pH mayor que 7.5 se requiere aplicar ácido para evitar problemas. Con la clorinación se pueden reducir los depósitos de sulfuros y de fierro originados por bacterias.

5. Fertilizantes y Fertirriego

5.1. Nitrogenados

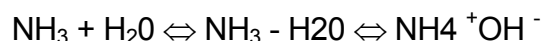
Los fertilizantes nitrogenados que con mayor frecuencia se usan para inyectar en los sistemas de riego son: urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio y nitrato de calcio (SAGAR, 1997).

Los fertilizantes nitrogenados como el amoníaco anhidro, el agua amoniacal y el fosfato de amonio, pueden formar precipitados insolubles al inyectarse en aguas con pH alto o con contenidos elevados de calcio y magnesio, por ello se usan en aguas neutras o ácidas.

El uso efectivo de los fertilizantes nitrogenados requiere del conocimiento de las interacciones con el agua de riego, y sus transformaciones y movimientos del suelo.

5.1.1. Amoníaco anhidro

El amoníaco anhidro es un gas licuado y debe manejarse con equipo especial para mantener la alta presión requerida para almacenarlo. Cuando el amoníaco anhidro se inyecta en el agua de riego se forma agua amoniacal o hidróxido de amonio.



El amoníaco anhidro agregado al agua puede formar agua amoniacal, esta a su vez puede formar amonio e hidróxido en forma iónica y esto es reversible hasta su forma inicial.

El agua amoniacal se vende como fertilizante 20-0-0.

Al usar amoníaco libre en los fertilizantes se corre el riesgo de que se volatilice en la atmósfera. Al disolver amoníaco en el agua se libera calor. También se transforma el amoníaco en el ión amonio NH_4^+ y en el ión hidróxido (OH^-); este ión es la causa del pH elevado. El pH del agua o del suelo tratados con suministro rápido de amoníaco puede llegar de 10.5 a 12; la reacción puede invertirse y formar amoníaco en forma de gas y volatilizarse (Rodríguez, 1993).

CUADRO 10
RELACIÓN ENTRE pH Y % DE N QUE PUEDE VOLATILIZARSE

pH	% N que puede Volatilizarse
7.2	0.1
8.2	10.0

9.2	50.0
10.2	90.0
11.2	99.0

Esto indica que se puede volatilizar el amoniaco en aguas con pH de 8 o mayor y considerando que la reacción del amoniaco con el agua de riego eleva el pH, el problema se agudiza. Inyectando agua amoniacal en el agua de riego normal elevará el pH arriba de 9.4, donde las pérdidas de amoniaco pueden ser de 30 a 50 % del nitrógeno aplicado. Las pérdidas de nitrógeno son mayores si el aire es muy seco y hay viento.

Para evitar pérdidas de amoniaco por volatilización, es mejor fertirrigar con amoniaco o fertilizantes de amonio en días frescos, húmedos y con poco viento, reduciendo también la turbulencia en el flujo del agua en canales y surcos. La mejor manera de evitar las pérdidas de amoniaco es acidificar el agua de riego antes de inyectar el fertilizante y conservar la forma amonio (NH_4^+)

Los fertilizantes amoniacales no deben aplicarse por aspersion, debido a que el amoniaco se desprende de las gotas de agua y el gas amoniaco puede dañar severamente las hojas de las plantas.

La molécula de amonio (NH_3) no tiene carga eléctrica pudiendo entrar libremente por las células de las plantas, lo que puede perjudicar a las plantas hasta matarlas. El amonio se usa como defoliante en el cultivo algodonoero (Rodríguez, 1989).

5.1.2. Orgánicos

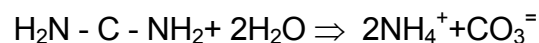
Los fertilizantes nitrogenados orgánicos no son rápidamente solubles en el agua por esta razón no se usan en fertirriego.

5.1.3. Urea

No es corrosivo para la mayoría de metales. Se vende como 46-0-0 sólido y 23-0-0 líquido. La urea es muy soluble en el agua (1g de urea en 1 cm³). La alta solubilidad de la urea y el hecho de que no ioniza en solución, permite su aplicación directa a las hojas de los cultivos en soluciones de 0.5 a 1.0 % sin riesgos para las plantas, pero debe usarse urea recristalizada.

Como la urea no tiene carga eléctrica tiene gran movilidad en el suelo, hasta que es transformada por microorganismos.

Las plantas y microorganismos producen la enzima ureasa, la cual transforma la urea en amonio y carbonato.



Una molécula de urea con dos de agua forma dos iones de amonio y uno de carbonato.

Como el amonio tiene carga eléctrica (+) es retenido por las arcillas y partículas de materia orgánica; esta transformación puede ocurrir en horas, después de su aplicación. Cuando la urea se aplica en seco sobre la superficie del suelo puede llegar a volatizarse a menos que se riegue o se cubra con suelo (Rodriguez, 1989).

5.2. Fosforados

La fertilización con fósforo por medio del agua de riego no se ha usado debido a la baja solubilidad de los compuestos de fósforo y a la reducida movilidad del fósforo en el suelo.

Por lo anterior, en riego por gravedad se recomienda seguir aplicando el fósforo en la forma tradicional, en el caso de microrriego, sólo se puede aplicar como fosfatos monoamónico o diamónico y ácido fosfórico, lo cual puede resultar costoso (Rodríguez, 1989).

5.3. Potasicos

El cloruro de potasio se usa combinando con sulfato de potasio y magnesio, nitrato de potasio y fosfato de potasio. Debe tenerse en cuenta que el cloro puede intoxicar algunos cultivos y ante la presencia de calcio y magnesio en el agua de riego, el sulfato y los fosfatos puede crear precipitados. Los fertilizantes de potasio deben probarse por solubilidad para evitar problemas de impurezas que puedan crear grumos y precipitados (Rodríguez, 1989).

5.4. Fertilizantes con Azufre

Los fertilizantes que contienen azufre pueden mejorar el riego superficial. Los fertilizantes con azufre acidifican la superficie del suelo durante el riego y ayudan a la infiltración del agua en el suelo. Cuando el agua contiene calcio y magnesio hay peligro de que se forme yeso que puede precipitar (Rodríguez, 1989).

5.5. Fertilización con Micronutrientes

No hay evidencias definitivas del éxito de fertirriego con micronutrientes, por lo que no se recomienda.

6. Programa de Fertilización

6.1. Fundamentos para un Programa

Los programas de fertilización se fundamentan en: El agua es el principal alimento y vehículo de transporte de los nutrimentos. Cada vez que se riega debe fertilizarse para dosificar fraccionadamente el nutrimento y de acuerdo con las demandas de la planta en cada etapa de desarrollo. Las demandas parciales deben sumar las demandas anuales o por ciclo del cultivo. Los análisis de suelo, agua y plantas son útiles para orientar y hacer ajustes de fertilización (SAGAR, 1997).

6.2. Recomendaciones para elaborar Programa de Fertirriego

Debe prepararse un programa de riego previo al ciclo de cultivo y ajustarse de acuerdo con el desarrollo del cultivo y del tiempo (meteorológico) en condiciones reales. A continuación se describen las recomendaciones que hace la SAGAR para la elaboración de un programa de fertirriego :

1. La fertirrigación en frutales debe aplicarse al inicio de la vegetación y terminar con la caída de las hojas en los árboles de hoja caduca. En los de hoja perenne, cuando finalice la última brotación.
2. Durante el ciclo se requiere aplicar los nutrimentos de acuerdo con las etapas de desarrollo, por ejemplo, Nitrógeno en brotación, crecimiento y llenado de grano; Fósforo en prefloral, floral y final de maduración; Potasio en llenado de grano y

maduración; Magnesio en maduración, y calcio en brotación, crecimiento y llenado de grano.

3. Los programas hortícolas de fertirriego, durarán todo el ciclo vegetativo.
4. Para preparar el programa de fertilización se debe tomar en cuenta: la textura del suelo (CIC), la fertilidad inicial del suelo, el requerimiento de nutrimentos minerales por ciclo del cultivo, los nutrimentos necesarios para producir una tonelada del producto agrícola y el porcentaje de nutrientes que se consumen en cada etapa de desarrollo.
5. De acuerdo con la información de las demandas de nutrimentos de los cultivos, el número de riegos, la fertilidad inicial del suelo y los fertilizantes disponibles para inyectar en el sistema de riego, debe prepararse el programa de fertirriego.
6. Los programas de fertirriego se pueden preparar por el número de riegos, por dosificación semanal o en diferentes períodos de tiempo.
7. En suelos arenosos tiene mayor ventaja aplicar el fertirriego con el mayor número de riegos; en el caso del riego por goteo debe ser diario. Cuando hay suelos arcillosos debe evitarse provocar excesos de humedad, por lo que pueden aplicarse dosificaciones de fertilizantes semanales.

En el cuadro 11 se presenta el consumo de nutrimentos en el cultivo de tomate.

CUADRO 11
CONSUMO DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DEL TOMATE

Intervalo Días	(kg/ha/día)		
	N	P ₂ O ₅	K
1 - 10	0.30	0.01	0.40
11 - 20	0.30	0.02	0.50
21 - 30	0.30	0.03	0.50
31 - 40	0.40	0.03	0.50
41 - 50	0.40	0.03	0.55
51 - 60	0.45	0.04	0.55
61 - 70	0.50	0.04	0.60
71 - 80	1.10	0.18	2.20
81 - 90	2.80	1.22	4.80
91 - 100	1.30	0.10	2.90
101 - 110	2.70	0.30	5.70

111 - 120	4.60	0.60	7.80
121 - 130	3.90	0.45	7.00
131 - 150	2.70	0.17	1.00
151 - 200	-	-	-
Total	250	24	370

Fuente : SAGAR, 1997.

7. Sistemas de Inyección

Los equipos de inyección dependen del tipo de sistema de riego que se utiliza.

Se considera que los sistemas de riego por gravedad y de baja presión con tuberías con compuertas, se pueden aprovechar para fertilizar con depósitos de carga constante y un inyector de orificio calibrado. Los sistemas de riego presurizado requieren de inyectores de bomba, de tanque y venturis. Estos equipos permiten aplicar fertilizantes, fungicidas, herbicidas y soluciones para prevenir taponamientos en los goteros y en las tuberías, y pueden emplear energía eléctrica para su operación o energía hidráulica del mismo sistema de riego (L.J., 1992).

7.1. Inyector de Orificio

Se denomina así a un equipo de fertirriego que consta de tanque de la solución fertilizadora, depósito de carga constante, válvula de flotador, dispositivo de inyección y accesorios.

El tanque alimenta al depósito de carga constante por medio de una manguera y tiene válvula de cierre y apertura. La válvula del flotador abre cuando se descarga solución fertilizadora aguas abajo por el inyector de orificio y permite el paso del líquido del tanque al depósito de carga constante. Cuando sale un gasto menor al de la válvula del flotador, éste regula el gasto para igualarlo haciendo que la carga hidráulica sea constante. Al permanecer la carga constante, el gasto del inyector de orificio permanece también constante.

El inyector del fertilizante puede descargar a un canal abierto o puede conectarse a la salida del hidrante de un sistema de tuberías con compuertas. Este sistema se usa para fertiirrigar surcos y melgas (Domínguez, 1993).

7.2. Vénturi

Reciben este nombre los inyectores de soluciones fertilizadoras que funcionan por succión generada por un estrechamiento y ampliación del área de paso del flujo en una tubería, y se puede hacer funcionar de dos formas (L.J., 1992):

- a) por presión diferencial generada por válvula y
- b) por presión generada por bomba centrífuga.

7.2.1. Vénturi de Válvula

Estos inyectores se instalan para derivar un caudal de la tubería principal del sistema de riego, aguas arriba de una válvula. El agua derivada entra en un ramal de menor diámetro, en el cual se coloca un dispositivo conocido como "vénturi" que consiste en una reducción del área de paso del agua, de manera que al pasar el agua aumenta de velocidad en el estrechamiento al iniciar la ampliación se conecta

una entrada de agua o solución, debido a que en ese punto se genera una succión que se aprovecha para aplicar soluciones de agroquímicos (L.J., 1992).

7.2.2. Vénturi con Bomba

En este caso se usa la bomba centrífuga para generar una diferencia de presiones entre dos puntos de la tubería principal del sistema de riego, que permita la inyección de la solución fertilizadora. La succión de la bomba se instala en la tubería principal y la descarga se conecta al fertilizador Vénturi, de manera que al funcionar, bombea un gasto adecuado para que pase por el cuerpo del Vénturi generando 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).

7.3. Bomba Inyectora

Las bombas inyectoras de fertilizantes funcionan con energía eléctrica o con energía hidráulica. Generalmente son bombas de pistón que operan con una cámara de bombeo que se llena de solución fertilizadora al desplazarse el pistón hacia afuera de la cámara transportándola hacia el sistema de riego al impulsarla al pistón o émbolo hacia adentro de la cámara. Cada ciclo envía un volumen de solución fertilizadora equivalente al de la cámara de bombeo. El número de pulsos por unidad de tiempo, permite calcular el gasto promedio de inyección que genera la bomba.

Las bombas fertilizadoras usan cualquiera de las dos formas de energía para inyectar la solución dentro de la tubería, en un punto donde la presión es menor que la generada por la bomba fertilizadora, de manera que la solución pueda entrar en el

sistema. La presión que genera la bomba debe ser mayor que la de la tubería; entre mayor sea la diferencia de presiones, mayor será el caudal inyectado en la tubería.

Para conocer el caudal inyectado se pone una escala (regla) en la pila o tanque de la solución fertilizadora después de un tiempo, se mide el desnivel en dicha escala; al multiplicar el área de la pila o tanque por el desnivel, se obtiene el volumen aplicado de solución. Si este se divide entre el tiempo transcurrido, se obtiene el caudal inyectado (SAGAR, 1997).

7.4. Tanque de Inyección

Es un dosificador de agroquímicos en el que se diluyen las soluciones, y emplea el método de presión diferencial para aprovechar la energía hidráulica e inyectar fertilizantes. Se emplea un tanque conectado aguas arriba de la válvula de la tubería principal, parte del agua que fluye en la tubería principal se desvía hacia el tanque y el flujo entra en el tanque donde se encuentra la solución del agroquímico con una concentración inicial. Al entrar y salir agua se diluye continuamente y sale solución fertilizadora cada vez más diluida por la tubería, entrando a la tubería principal aguas abajo de la válvula, para mezclarse con el flujo de la principal y llevarla al sistema de riego para su distribución en el campo (Valadéz, 1995).

Inyección Central y Unidades Móviles de Inyección

De acuerdo con el tamaño y tiempo del sistema de riego, se puede usar métodos de inyección central fijos o móviles que inyecten fertilizantes en secciones de riego específicas.

8.1. Inyección Central

Cuando los sistemas de riego dominan toda la superficie con riego simultáneo, es necesario usar sistemas de inyección central, tales como pivote central y sistemas de microrriego pequeños. Requieren de un tanque con capacidad para diluir la dosis del fertilizante del área que riega simultáneamente. En microaspersión y goteo también se usan unidades centrales de fertirriego, con capacidad para inyectar el fertilizante por secciones de riego.

Unidades Móviles de Inyección

Se usan tanques de plástico ligeros o tanques montados en remolques, con equipo de bombeo de gasolina, para generar la presión diferencial o se tiene el sistema diseñado para que operen los fertilizadores en cada sección de riego. En este caso el inyector, ya sea bomba, vénturi o tanque dosificador, se traslada a cada sección que se regará, esto ahorra costos del sistema de fertirriego.

8. Gastos y Tiempos de Inyección

8.1. Gasto de Inyección del Fertilizante

Para determinarlo se deben seguir los pasos siguientes (Valadéz, 1995):

➤ **Cantidad de Nutriente.** Se determina la cantidad necesaria por hectárea, dependiendo del número de fertirriegos y de la dosis de nutriente por fertirriego, según la etapa de desarrollo.

Ejemplo:

Se requiere aplicar 200 kg. de nitrógeno/ha y se aplicará en 10 riegos, para simplificar se usan cantidades iguales de nutrimento por riego, por lo que:

$$\frac{N}{Riego} = \frac{200}{10} = 20 \frac{K}{ha} / riego$$

➤ **Selección de fertilizante.** Se escoge el fertilizante que se usará de acuerdo con el precio unitario, el tipo de suelo, calidad del agua y programa de manejo. Se tienen dos condiciones :

a) **Sólido.** Se selecciona Urea (46-0-0)

b) **Líquido.** Se selecciona Urea nitrato de amonio (32-0-0).

➤ **Cantidad de fertilizante/ha.** Se calculan los kilogramos que deben usarse por hectárea.

a) **Fertilizante sólido**

$$\frac{kfert}{ha} = \frac{knut / ha(100)}{\%nut}$$

$$\frac{kfert}{ha} = \frac{(20)(100)}{46} = 43.5 \text{ k/ha}$$

b) **Fertilizante líquido**

$$\frac{kurea32}{ha} = \frac{(20)(100)}{32} = 62.5 \text{ k/ha}$$

➤ **Volumen de agua**

Se calculan cuántos litros de agua se necesitan de acuerdo con su solubilidad en k/l, para los dos tipos de fertilizante:

a) **Fertilizante sólido.** Se considera una solubilidad de 0.78 kg/l para la urea.

$$V_a = \frac{kfert / ha}{kfert / l} = \frac{43.5}{0.78} = 55.71 /ha$$

b) **Fertilizante líquido.** Se usa la densidad de la urea nitrato de amonio (32-0-0) 1.34 k/l.

$$V_a = \frac{kfert / ha(11 / fert)}{kfert / l} = \frac{62.5(1)}{1.34} = 46.61$$

➤ **Puesta de riego.** 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 riego por gravedad es un número de surcos o melgas que se riegan simultáneamente con el gasto modular parcelario. En riego presurizado equivale a la superficie que se riega con aspersores, microaspersores o goteros que funcionan simultáneamente y pueden ser: una tubería regante de aspersión o secciones de riego en microaspersión y goteo. Ejemplo. Se consideran 5 ha de riego simultáneo.

➤ **Volumen por puesta de riego.** Se calcula el volumen de agua necesario para cada puesta o sección de riego.

a) **Fertilizantes sólido:** urea (46-0-0)

$$V_{ts} = V_a \times ha = (55.7)(5) = 278.51 \text{ lt agua}$$

b) **Fertilizante líquido:** urea (32-0-0)

$$V_t = V_a \times h_a = (46.6)(5) = 233.01$$

➤ Tiempo de inyección

Generalmente es el tiempo total de riego, el tiempo de inyección y se aplica a todos los métodos de riego, sin embargo, es posible que se inyecte fertilizante sólo en una fracción del tiempo. Para el ejemplo se considera que el tiempo de riego por puesta es de 16 h, e inyectar los fertilizantes durante todo el tiempo de riego.

➤ Gasto de inyección

Se calcula dividiendo el volumen de solución entre el tiempo de inyección:

a) **Fertilizante sólido.** La solución de urea tiene mayor volumen que el agua necesaria para diluirla, por lo que se puede tomar el doble del volumen necesario, para garantizar que el tanque tenga capacidad de suficiente.

$$Q_i = \frac{V_t}{T} = \frac{(278.5)(2)}{16} = 34.8 \text{ l/h} = 580 \text{ cm}^3/\text{min}$$

b) **Fertilizante líquido.** Se puede calcular directo, puesto que es soluble:

$$Q_i = \frac{V_t}{T} = \frac{233}{16} = 14.6 \text{ l/h} = 243 \text{ cm}^3/\text{min}$$

8.2. Gasto de inyección de campo

Para comprobar o calibrar un inyector de fertilizantes. es necesario aforar la descarga de la siguiente forma (SAGAR, 1997):

➤ **Recipiente**

Se escoge un recipiente graduado para conocer el volumen de descarga.

➤ **Tiempo**

Se selecciona un tiempo de captación del gasto, de manera que la precisión de la lectura sea menor de 1 % del gasto de inyección.

➤ **Fórmula**

Se usa la fórmula siguiente:

$$Q_i = \frac{V(0.06)}{T}$$

Donde Q_i (l/h) es el gasto de inyección, V (cm^3) es el volumen captado en el tiempo T (min).

Ejemplo

Se afora la descarga de un inyector de fertilizantes y se encuentra que llena un recipiente de $V = 500$ [cm^3] en un tiempo $T = 12$ min, por lo que:

$$Q_i = \frac{500(0.06)}{\frac{12}{2}} = 2.5 \text{ l/h} = 41.7 \text{ cm}^3/\text{min}$$

8.3. Tiempo de Riego

Se calcula con la fórmula siguiente:

$$TR = \frac{(27.8)(LRN)(S)}{(Qm)(Ea)}$$

Donde: TR [h] es el tiempo de riego necesario para aplicar una lámina neta de riego (LRN) [cm] en una superficie (S) [ha], con un gasto modular (Qm) [l/s] una eficiencia de aplicación (Ea) [%].

Ejemplo en riego por surcos

Se riegan 80 surcos con 1.0 l/s por surcos, los cuales tienen 200 m de longitud y espaciamiento de 0.9 m, considerando una LRN = 10 cm con eficiencia de aplicación (Ea) = 0.8.

$$S = \frac{(200)(0.9)(80)}{10000} = 1.44 \text{ ha}$$

$$TR = \frac{(27.8)(10)(1.44)}{(80)(1)(0.8)} = 6.26 \text{ h}$$

Al iniciar el riego, debe observarse el avance y hacer el ajuste siguiente: si el avance es lento, debe incrementarse el gasto por surco y reducir el número de surcos de la puesta de riego o viceversa.

- Ejemplo de riego por aspersión

Se riega con tres líneas o tuberías de riego con aspersores, espaciadas entre ellas 18 m y entre aspersores de la tubería 12 m, la longitud de las tuberías es de 240 m, el gasto medio de los aspersores es de 0.7 l/s, se requiere aplicar una lámina de riego neta LRN = 7 cm con eficiencia de aplicación Ea = 0.85.

Se puede calcular de la siguiente forma:

$$LPH = \frac{(Qasp)(360)}{(Easp)(Etr)} = \frac{(0.7)(360)}{(12)(18)} = 1.17 \text{ cm/h}$$

Donde: LPH (cm/h) es la lámina precipitada horaria, Qasp (l/s) es el gasto del aspersor, Easp (m) es el espaciamiento entre aspersores y Etr (m) es el espaciamiento entre tuberías.

$$TR = \frac{LRN}{(Ea)(LPH)} = \frac{7}{(0.85)(1.17)} = 7 \text{ h}$$

Comparación de Costos de Fertilizantes

Cuando se pueden usar varios fertilizantes para suministrar el nutrimento que se quiere aplicar al cultivo, es conveniente analizar los factores técnicos y los costos de los fertilizantes (Valadéz, 1995).

Si los precios están dados en pesos por tonelada de fertilizante, el costo por kilo de nutrimento se calcula con la fórmula siguiente:

$$C = \frac{(P\$ / Ton)(100\%fert)(1Ton)}{(\%nut)(1000k)}$$

Ejemplo:

Se requiere comparar los costos de Nitrógeno, utilizando: urea, sulfato de amonio, nitrato de potasio y nitrato de calcio. Sustituyendo el costo del fertilizante y el porcentaje del nutriente en la fórmula, se tiene:

$$C = \frac{(2780)(100)(1)}{(46)(1000)} = 6.04 \text{ \$/k de N}$$

$$C = \frac{(1400)(100)(1)}{(21)(1000)} = 6.67 \text{ \$/k de N}$$

$$C = \frac{(2300)(100)(1)}{(33.5)(1000)} = 6.86 \text{ \$/k de N}$$

$$C = \frac{(6200)(100)(1)}{(13)(1000)} = 47.69 \text{ \$/k de N}$$

$$C = \frac{(2800)(100)(1)}{(15.5)(1000)} = 18.19 \text{ \$/k de N}$$

CUADRO 12
RESUMEN DE COSTOS DE NUTRIENTES

Fertilizante	% N	Costo Fert. \\$/Ton	Costo N \\$/K
Urea	46.0	2,750	6.04
Sulfato de Amonio	21.0	1,400	6.67
Nitrato de Amonio	33.5	2,300	6.86
Nitrato de Potasio	13.0	6,000	47.69
Nitrato de Calcio	15.5	2,820	18.19

Al comparar costos de los fertilizantes debe tomarse en cuenta que algunos de ellos proporcionan otros nutrientes. El sulfato de amonio proporciona 24 % de azufre, además del nitrógeno; el nitrato de potasio proporciona 44 % de potasio y el nitrato de calcio proporciona 21 % de calcio, por eso son más caros.

Ejemplos de Fertirriego

Fertirriego con tuberías con compuertas

Se requiere preparar el programa de fertirriego para un lote de 3.84 hectáreas, con cultivo de trigo. Se aplican 4 riegos, con láminas de 10 cm. (Rodríguez, 1992).

Longitud de surcos 320 m

Espaciamiento entre surcos 0.75 m

Gasto parcelario 80 lps

Gasto por surco 1 lps

Dosis de nitrógeno por hectárea 200 kg

⇒ Cantidad de nitrógeno por riego

$$C_n = 200/4 = 50 \text{ K}$$

⇒ Cantidad de fertilizante por hectárea

Se usará sulfato de amonio

$$C_{S \text{ de } A} = (50 \times 100)/20.5 = 244 \text{ K/ha}$$

⇒ Volumen de agua necesario

Solubilidad del sulfato de amonio 0.71 k/l

$$V_a = (244 \times 1)/0.71 = 3441$$

⇒ Volumen total por puesta de riego

Se determina la superficie de la tendida de riego.

$$N_{\text{surcos}} = Q_{\text{parcelario}}/Q_{\text{surco}} = 80/1 = 80 \text{ Surcos}$$

$$S = (80 \times 0.75 \times 320) / 10,000 = 1.92 \text{ Ha}$$

$$V_t = 344 \times 1.92 = 6601$$

Gasto de Inyección

Se determina el tiempo de riego:

$$TR = (320 \times 0.75 \times 0.10) / (1 \times 3,600) = 6.66 \text{ h}$$

Se considera un tanque que reciba el volumen del fertilizante, considerando 1 kilo como 1 litro y el volumen del agua, por lo que:

$$V = 660 + 468 = 1,1281$$

Fertirriego con Riego por Goteo

Se requiere preparar un programa de fertirriego para un lote de 22.36 hectáreas, que riega 5 secciones de 4.472 ha. con gasto de $Q = 26$ lps. La dosis de fertilización para el cultivo del melón es: 200-60-100 de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente y 13 kg de magnesio (Domínguez, 1993).

Para el cultivo de melón usando híbrido de ciclo corto y con fertilización preventiva del consumo de N por microorganismos de 50 Kg de sulfato de amonio. El fertirriego se aplica en forma semanal y durante 6 semanas.

Los 50 kg de N del sulfato de amonio no se toman en cuenta por el programa de fertirriego, debido a que los consumirán los microorganismos del suelo.

Como en este caso no hay información de la demanda de nutrimentos por etapas de desarrollo y se tiene que se aplican riegos diarios, se decide hacer fertilizaciones semanales, con un fertilizante cada día.

El suelo tiene pH = 6.0 y tiene contenidos bajos de calcio y magnesio, por lo que se requiere aplicar nitratos de calcio y magnesio.

El plan fertirriego requiere de aplicación de fósforo, que puede ser inyectado como fosfato monoamónico. También requiere de potasio que puede ser aplicado como nitrato de potasio. Por último se requiere la aplicación de nitrato de calcio para cubrir las necesidades de calcio y se deben considerar las aportaciones de nitrógeno para calcular el faltante y cubrirlo con sulfato de amonio (Valadéz, 1995).

☆ Fósforo

Cantidad de fósforo:

$$C_{P/Semana} = 60 \text{ K/ha}/6 = 10 \text{ K de } P_2O_5/Semana$$

Cantidad de fertilizante/ha (MAP)

$$C_{Fert/ha} = 10 \text{ %/ha} \times 100/61 = 16.4 \text{ K de MAP/ha}$$

Volumen de agua para dilución.

$$V_a = 16.4 \text{ K/ha}/0.25\text{K/l} = 65.6 \text{ l/ha}$$

Volumen por puesta de riego para MAP.

$$V_t = 65.6 \text{ (l/ha)} \times 4,472 \text{ (ha)} = 293.41 \text{ de agua}$$

Tiempo de inyección. Considerando LR = 0.6 cm

$$Q = 26 \text{ lps} \quad IR = 1 \quad \text{y} \quad E_t = 0.9$$

$$TR = (27.8 \times 4.472 \times 0.6)/(26 \times 1 \times 0.9) = 3\text{h } 11 \text{ min}$$

Si se considera que el sistema debe lavarse durante los 30 minutos finales, se tiene que el tiempo de inyección $T_i = 2 \text{ h } 40 \text{ min}$.

$$Q_i = 293.4 \text{ l}/2.66 \text{ h} = 110.3 \text{ l/h} = 1,838 \text{ cm}^3/\text{min}.$$

☆ **Potasio**

Cantidad de potasio

$$C_{K2O/Semana} = 100 \text{ (K/ha)}/6 = 16.7 \text{ K/Semana}$$

Cantidad de nitrato de potasio

$$C_{fert/ha} = (16.7 \times 100)/44 = 38 \text{ K/ha}$$

Volumen de agua para dilución.

$$V_a = 38 \text{ (K/ha)}/0.13 \text{ (k/l)} = 292 \text{ l/ha}$$

Volumen por puesta de riego para potasio

$$V_t = 292 \times 4.472 = 1,305 \text{ l de agua}$$

Gasto de inyección

$$Q_i = 1,305 \text{ l}/2.66 \text{ h} = 490.9 \text{ l/h} = 8,182 \text{ cm}^3/\text{min}$$

☆ **Calcio**

Se requiere aplicar 42 k de calcio por hectárea.

Cantidad de calcio

$$C_{Ca/semana} = 42 \text{ (k/ha)}/6 = 7 \text{ k de Ca/semana}$$

Cantidad de fertilizante/ha

$$C_{N \text{ de Ca/ha}} = 7 \text{ (k/ha)} \times 100/21 = 33.3 \text{ de N de k/ha}$$

Volumen de agua para dilución:

$$V_a = 33.3 \text{ (k/ha)}/1.02 \text{ (k/l)} = 32.7 \text{ l/ha}$$

Volumen por puesta de riego

$$V_t = 32.7 \times 4.472 = 146.11$$

Gasto de inyección

$$Q_i = 146.1 \text{ (l)}/2.66 \text{ (h)} = 54.9 \text{ l/h} = 915.7 \text{ cm}^3/\text{min}$$

☆ Nitrógeno

Se considera las aportaciones de nitrógeno al aplicar fosfato monoamónico, nitrato de potasio y nitrato de calcio y luego se calcula el faltante con sulfato de amonio (Rodríguez, 1989).

Se aplican 16.4 K de MAP y como tiene 12 % de Nitrógeno, se tiene que:

$$C_{N1} = 16.4 \times 12/100 = 1.97 \text{ k de Nitrógeno}$$

Se aplican 38 k de nitrato de potasio, los cuales tienen 13 % de nitrógeno, por lo que:

$$C_{N2} = 38 \times 13/100 = 4.94 \text{ k de nitrógeno}$$

Se aplican 33.3 k de nitrato de calcio, los cuales tienen 15.5 % de nitrógeno, por lo que:

$$C_{N3} = 33.3 \times 15.5/100 = 5.16 \text{ k de Nitrógeno}$$

Aplicando un fertilizante por día, se aplicarían 12.07 k de nitrógeno al aplicar esos tres fertilizantes.

Cantidad de nitrógeno por semana.

$$C_N = 200(\text{k/ha})/6 = 33.33 \text{ k/semana}$$

Cantidad de N faltante será:

$$C_{NF} = 33.33 - 12.07 = 21.26 \text{ k/semana}$$

Cantidad de Sulfato de Amonio:

$$C_{\text{fert/ha}} = 21.66 \times 100/21 = 100 \text{ k/ha}$$

Volumen de agua para dilución:

$$V_a = 100 (\text{k/ha})/0.706 (\text{k/l}) = 141.61 \text{ l/ha}$$

Volumen de agua por puesta de riego:

$$V_t = 141.6 \times 4.472 = 6331$$

Gasto de inyección:

$$Q_i = 633 \text{ (l)}/2.66 \text{ (h)} = 238 \text{ l/h} = 9,966.1 \text{ cm}^3/\text{min}$$

☆ Magnesio

Cantidad de magnesio

$$C_{mg} = 13 \text{ (k/ha)}/6 \text{ semanas} = 2.16 \text{ k/sem}ana$$

Cantidad de sulfato de magnesio:

$$C_{fert/ha} = 2.16 \times 100/9.8 = 22.1 \text{ k de fert/ha}$$

Volumen de agua para dilución:

$$V_a = 22.1 \text{ k/ha}/0.85 \text{ k/l} = 261/ha$$

Volumen total:

$$V_t = 26 \times 4.472 = 116.31$$

Gasto de inyección:

$$Q_i = 116.3/2.66 = 43.7 \text{ l/h} = 728.8 \text{ cm}^2/\text{min}$$

El programa de aplicaciones queda integrado inyectando un fertilizante cada día durante 2.66 horas, con diferentes gastos de inyección cada día y se presenta en el cuadro siguiente (Rodríguez, 1989):

CUADRO 13
GASTOS DE INYECCIÓN POR FERTILIZANTE

Fertilizante	k/ha	k/puesta	Vol. de agua	Q_i l/ha	Nutriente k/ha
MAP	16.4	74	293.4	110.3	10.0
Nitrato de K	38.0	170	1305.0	490.9	16.7
Nitrato de Ca	33.3	149	146.1	54.9	7.0
Sulfato de NH ₃	100.0	447	633.0	238.0	21.3
Sulfato de Mg	22.1	99	99	43.7	2.2

Se quiere aplicar un solo gasto de inyección se puede usar el tanque de fertilización a su máxima capacidad, poniendo el fertilizante necesario y agregando agua, hasta 1,500 l, debido a que el volumen total máximo necesario fue 1,305 l para el nitrato de potasio. Así cada solución fertilizadora tendrá la dosis de fertilizante y concentración v (Rodríguez, 1992).

CAPITULO III

EL FERTIRRIEGO EN EL CULTIVO DEL MELÓN

1. Evaluación de una Instalación de Riego por Goteo

El desarrollo tecnológico que ha permitido la implantación de sistemas de riego localizado, en buena parte de las áreas cultivadas, no se ha visto acompañado por un esfuerzo paralelo en divulgación de estos, de manera que permita al regante conocerlos para así obtener su máximo aprovechamiento. A continuación se describe la metodología a seguir para diagnosticar la calidad de una instalación de riego por goteo y de su manejo por parte del agricultor.

El objetivo fundamental del riego es el de suministrar agua a los cultivos, de manera que estos no sufran déficit hídrico en ningún momento que pudieran ocasionar pérdidas de producción cosechable. Además, el riego debe garantizar que se mantenga el balance de sales; es decir, que no se acumulen en exceso en el perfil del suelo como resultado de la aplicación del agua de riego. En todos los casos, el riego debe ser controlado para evitar pérdidas excesivas que se traduzcan en problemas medioambientales o en un consumo innecesario que incremente los costos de la explotación y, por tanto, las posibilidades de mejorar su manejo para hacerlo más eficiente (Ligh, N., 1995)

Para cada instalación, han de determinarse dos parámetros clave:

1.- La ADECUACIÓN del riego: ¿Se está aplicando la cantidad de agua que precisan los cultivos, o se está regando en exceso o por defecto?

2.- Conocida la cantidad que se está aplicando, ¿Con qué UNIFORMIDAD se está distribuyendo dentro de la zona regada? La figura 1 muestra los efectos del riego en exceso y la falta de uniformidad, típicas de un riego inadecuado.

La adecuación del riego suele evaluarse estimando la eficiencia de aplicación (EA), definida:

La uniformidad se mide por varios índices, generalmente referidos en porcentaje. Un porcentaje del 100% significa que la totalidad de la parcela ha

recibido exactamente la misma cantidad de agua de riego en todas sus parte. La falta de uniformidad hace que unas partes de la parcela reciban más que otras, por lo que es necesario añadir más agua para que las zonas que menos reciben tengan la suficiente. Ello hace que se deba regar en exceso si se quiere garantizar un buen suministro a la totalidad de la parcela.

3.- Descripción de un sistema de riego por goteo

Un sistema de riego por goteo está formado por una unidad central denominada cabezal y por una red de distribución de agua. Los elementos fundamentales que componen el cabezal son: un grupo motobomba, un equipo de filtrado, y un equipo de fertirrigación. La red de distribución está compuesta por una tubería principal, tuberías secundarias y líneas portagoteros con los emisores intercalados o adosados. Cada tubería secundaria y las líneas portagoteros asociadas a ella forman un subsector de riego y el conjunto de subsectores que riegan simultáneamente componen un sector de riego. En la figura 2 se representan esquemáticamente los componentes de una instalación de riego por goteo.

4.- Objetivos de la evaluación de una instalación de riego por goteo

La evaluación de un sistema de riego por goteo incluye los siguientes aspectos:

- Adecuación del CABEZAL, para cubrir las necesidades de potencia y filtrado de la instalación.
- Estudio del DISEÑO de la red y la UNIFORMIDAD de aplicación del agua.
- Determinación de la CALIDAD de las tuberías y equipos instalados.
- Evaluación del MANEJO de la instalación por el agricultor.

2. Cultivo de Melón con Cobertura Plástica de Suelo

La cobertura de suelos o acolchonada, es una práctica usada desde hace tiempo por los productores. Se emplearon coberturas vegetales vivas y restos vegetales, como rastrojos de cosechas, paja, hojas, etc., con el fin de proteger la estructura del suelo de la acción de agentes climáticos adversos (viento, lluvia), que causan graves problemas de erosión en algunas zonas. Es usual, además, la protección de cultivos contra la acción de otros agentes climáticos que puedan poner en riesgo las explotaciones agropecuarias (granizo, heladas). En lugares con climas benignos es común que el productor hortícola busque la obtención de primicias en su cosecha. Se recurre a distintas técnicas, como la obtención de plantulas en invernáculo para su posterior trasplante a campo, cultivos bajo reparo, siembra en casilleros de arena, uso de semillas híbrida de ciclo corto, etc. En los últimos años el uso del plástico ha permitido salvar algunos inconvenientes que se presentan con las técnicas tradicionales citadas (Ramírez, 1997).

El comportamiento y los efectos de los tipos de plástico sobre el cultivo es muy variable y depende de una amplia gama de condiciones. De ahí la importancia de manejar algunos conceptos antes de decidir su uso.

2.1. Efectos de la Cobertura Plástica sobre el Suelo

1. Humedad del suelo: mejora el balance hídrico del mismo al evitar pérdida de agua por evaporación.
2. Estructura del suelo: mejora el mantenimiento de la misma al evitar la acción de agentes climáticos adversos.
3. Temperatura del suelo: el plástico transparente ejerce un efecto invernáculo, elevando la temperatura.

4. Control de maleza: el plástico negro inhibe el desarrollo de malezas, al impedir el paso de la luz.

5. Fertilidad del suelo: la elevación de la temperatura, sumada a un buen nivel hídrico, favorece al proceso de nitrificación y, por lo tanto, la absorción de nitrógeno por parte de la planta. Algo similar sucede con los otros nutrientes, que aceleran sus procesos químicos con mayor temperatura.

6. Calidad de frutos: Se mejora la presentación, al evitar rugosidades y lesiones en la piel, ocasionadas por el contacto con el suelo (Robledo, et al., 1981).

2.2. Plásticos Usados en la Cobertura de Suelos

Por razones económicas, el plástico más usado en la cobertura de suelos es el polietileno. Su coloración varía desde el transparente o cristal al negro opaco, pasando por distintas tonalidades como naranja, verde, marrón, gris humo, etc.

Cada uno posee características propias que permiten maximizar los beneficios, según el objetivo buscado, las condiciones del cultivo y el terreno utilizado.

Es importante tener en claro estos puntos antes de optar por un determinado tipo de plástico. Para ayudar en la toma de decisión, definiremos algunos aspectos importantes:

1 - Radiación solar: según la longitud de onda de los rayos que inciden sobre la superficie terrestre, se divide en tres grupos:

-Radiación ultravioleta: Longitud de onda menor de 380 milimicras.

-Radiación Visible: entre 380 y 760 milimicras, comprende las radiaciones violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo.

-Radiaciones infrarrojas o calóricas: mayores de 760 milimicras.

-Las radiaciones visibles tienen un papel fundamental en la síntesis de clorofila y el posterior proceso fotosintético, que permite a los vegetales sintetizar los compuestos orgánicos para su crecimiento y desarrollo. Las radiaciones infrarrojas o calóricas son las que elevan la temperatura ambiente y de los cuerpos sobre los que inciden.

2 - Material receptor: las radiaciones que inciden sobre un cuerpo pueden ser reflejadas, transmitidas o absorbidas por el mismo. Los porcentajes de reflexión, transmisión o absorción, varían según el tipo de plástico, su espesor y su pigmentación. En adelante y, por ser el de mayor uso en la agricultura, nos referiremos sólo al polietileno, dejando como única variable la pigmentación del mismo. Así estableceremos un paralelo entre el polietileno negro y el transparente o cristal (Ramírez, 1997).

2.3. Polietileno Negro

Es totalmente impermeable a la radiaciones visibles. Por lo tanto, si bien las malezas que se encuentran por debajo del mismo pueden germinar, una vez agotadas las sustancias de reserva de semillas, las plantas mueren al no poder realizar el proceso de fotosíntesis por la ausencia de luz. En cuanto a las radiaciones colóricas, el polietileno negro absorbe un alto porcentaje (80 % o más), elevando considerablemente su temperatura, lo que puede producir quemaduras en las hojas del cultivo que están en contacto con él. El resto de las

radiaciones calóricas recibidas son reflejadas o transmitidas en baja proporción (Robledo, et al., 1981).

Esto hace que el suelo que se encuentra por debajo no eleve demasiado su temperatura con respecto al suelo descubierto, por lo que el polietileno negro no induce mayor precocidad.

2.4. Polietileno Transparente o Cristal

Transmite más del 80% de las radiaciones visibles que inciden sobre su superficie. Por esta razón, las malezas que germinan debajo pueden desarrollarse, aunque con ciertas limitaciones. La elevación de temperatura que se registra debajo del polietileno puede actuar como control, provocando la muerte de las malezas por asfixia o quemaduras, en la medida que la población no sea demasiado alta.

Cuando esto sucede no hay un buen control debajo de este polietileno. El polietileno transparente transmite más del 80% de las radiaciones calóricas que recibe, con la consiguiente elevación de la temperatura del suelo. Esto trae aparejada la evaporación de agua del mismo y su condensación en la cara interna de la lámina de polietileno, disminuyendo el poder de transmisión de las radiaciones calóricas emitidas por el suelo hacia la atmósfera. Esta pérdida gradual de calor tiene efecto de evitar el enfriamiento brusco del suelo durante las noches y elevar la temperatura de las primeras capas de aire, dando mejores condiciones para el crecimiento del cultivo y protegiéndolo, incluso, de los efectos de heladas suaves (Ibarra, et al., 1991).

La suma de estas características permite al polietileno transparente la inducción de precocidad. Hay estudios que demuestran que la mayor precocidad es directamente proporcional al crecimiento de la temperatura del suelo, medida a

7,5 cm de profundidad. En experiencias realizadas por el INTA, en el departamento Sarmiento, provincia de San Juan, se ha logrado anticipar entre 15 y 20 días el inicio de cosecha en melón y sandía con cobertura de suelo con polietileno transparente, con respecto al cultivo tradicional. La precocidad se manifiesta, concentrando entre el 60 y 70% de la producción en los primeros 15 días de cosecha. En conclusión, si tenemos un suelo con graves problemas de malezas y no nos interesa lograr precocidad, podemos utilizar el polietileno negro. Si las malezas no plantean inconvenientes y queremos anticipar cosechas, debemos utilizar el polietileno transparente o cristal. Teniendo en cuenta estos conceptos y la diversidad de situaciones que se plantean en el sector de la producción, es que la industria del plástico ha trabajado en la obtención de láminas de polietileno con diferentes tonalidades y grados de pigmentación (amarillo, naranja, verde, marrón, etc.), a fin de lograr un efecto intermedio, que permita un mejor control de malezas que con el transparente y una mayor precocidad que con el negro (Ibarra, et al., 1991).

2.5. Producción Anticipada de Melón

De las experiencias realizadas en la plasticultura en México, surgió la cobertura de suelo con polietileno transparente como la tecnología más apropiada para la obtención de cosechas precoces en cultivos comerciales de melón. A continuación se describe el empleo de esta tecnología.

Selección de Suelos

El melón no es un cultivo muy exigente en cuanto a suelos, por lo que puede adaptarse a una amplia gama de los mismos. No obstante, no tolera suelos ácidos, muy arcillosos, compactados o con mal drenaje. Elevados tenores de salinidad en el suelo o agua de riego y una alta población de malezas perennes, son causales de importantes pérdidas de rendimiento (Zapata, 1989).

Lo mejores resultados se obtienen en suelos fértiles, profundos y con buen contenido de materia orgánica.

Preparación del Terreno:

El melón tiene un sistema radicular muy extenso pero superficial, por lo que es importante una buena preparación del suelo antes de la siembra. Este trabajo debe incluir labores profundas y superficiales que permitan dejar perfectamente mullido el terreno. Es importante hacer los retoques de nivel necesarios para asegurar una buena eficiencia de riego, evitando altibajos en el terreno que posteriormente se traducen en pérdida de rendimiento, por exceso o falta de humedad (Castaños, 1993 ; Fersini, 1982).

Una vez acondicionado perfectamente el terreno, se procede a bordearlo, dejando un esparcimiento entre bordos de siembra, que depende del desarrollo vegetativo de las variedades a cultivar. Visualmente esta distancia puede variar entre 2,5 y 3,5 metros. En esta operación se puede realizar una fertilización con fósforo, empleando alrededor de 200 Kg. de fosfato diamónico por hectárea, para cubrir los requerimientos iniciales del cultivo. Es importante que el fertilizante quede localizado 10 a 15 cm por debajo de la semilla, para evitar problemas de germinación como consecuencia de la elevación del tenor salino que genera su disolución (Valadez, 1993).

Una vez bordeado el terreno, se procede a dar uno o dos riegos para asegurar un perfecto humedecimiento, por recalo del bordo de siembra. Esta labor es fundamental. Siempre se debe colocar el polietileno con una buena humedad de suelo. Cuando partimos de un suelo muy seco, una vez colocado el polietileno resulta muy complicado - con el sistema de riego tradicional -dar la humedad apropiada para la germinación.

2.6. Características de la Lamina de Polietileno:

El polietileno transparente o cristal se comercializa en rollos, con longitud, ancho y espesor variables. Para el caso concreto del melón, el INTA ha evaluado con excelentes resultados, láminas de 0.7 - 0.8 metros de ancho. Si tenemos en cuenta que para una correcta fijación al suelo es necesario enterrar 10 a 12 cm cada uno de los bordes de la lámina, nos queda sobre el bordo de siembra una superficie con polietileno de 50 a 60 cm de ancho. Esto es suficiente para elevar la temperatura del suelo a los valores óptimos requeridos por esta especie para su germinación y los primeros 30 o 40 días de crecimiento. Los valores óptimos de referencia están entre los 25 y 30 ° C y difícilmente se logran en condiciones naturales para las fecha de la primeras siembras. En siembras muy tardías el polietileno transparente puede ocasionar fallas de emergencia, por cuanto la temperatura del suelo puede sobrepasar los valores máximos afectados por el melón (39 C según Harrington). El espesor del polietileno tiene importancia en la transmisión de las radiaciones y, si bien a mayor espesor tenemos un mejor balance térmico del suelo, normalmente se usa un polietileno de 40 a 50 micrones (Ramírez, 1997).

Las razones son de orden económico y práctico. El tiempo de degradación por acción de los rayos solares está considerablemente relacionado con el espesor. Con esos valores el proceso se cumple prácticamente en un ciclo de cultivo, con lo que evitamos el costo de su eliminación postcosecha.

2.7. Colocación de la Lamina de Polietileno:

Esta operación se puede hacer en forma manual, semimecanizada o mecanizada. Aplicación manual: En el inicio del bordo de siembra se practica una pequeña zanja transversal, donde se entierra el extremo del polietileno. Posteriormente se va girando el rollo de manera que la lámina de polietileno queda cubriendo el bordo. Cada 8 - 10 m se coloca una pala de tierra de cada lado para fijar los bordes del plástico al suelo. Una vez cubierta toda la longitud del bordo de siembra, se procede a terminar de enterrar los bordes del polietileno en forma manual (con azadones) o semimecanizada con un arado u otros sistemas que puedan adaptarse. Este método se usa en superficies chicas o medianas (Robledo, et al., 1981).

Aplicación mecanizada

Se usa un implemento que se acopla al levante de tres puntos del tractor, que permite colocar y fijar el polietileno en la misma operación. Este implemento consta de un bastidor sobre el que se asienta un eje portarollo, un rodillo que permite tensar la lámina de polietileno, dos rejas que vuelcan una pequeña porción de tierra en ambos costados del bordo de siembra, dos ruedas que pisan los bordes de la lámina, dejándola perfectamente adherida al suelo y, finalmente dos rejas que levantan la tierra que volcaron las dos primeras, enterrando los bordes del polietileno y fijándolo al suelo, quedando así concluida la operación (Ramírez, 1997).

SIEMBRA

Esta operación se puede hacer antes o después de la colocación del polietileno. En función de ello, distinguimos dos sistemas de forzadura.

a). Siembra posterior a la colocación del polietileno: Una vez colocada la lámina y con la ayuda de un elemento cortante o con aros metálicos provistos de una fuente de calor, se procede a realizar perforaciones de 5 a 6 cm de diámetro en el polietileno, distanciándolas según los requerimientos de la variedad a sembrar. El polietileno puede comprarse ya perforado. En esas perforaciones, y en

forma manual, se colocan a una profundidad adecuada, 2 o 3 semillas. En este sistema la planta se desarrolla sobre el polietileno desde su germinación.

b). Sistema de Microtúnel: La siembra se hace antes de colocar el polietileno, en una casilla excavada a 10 - 15 cm por debajo de la cresta del bordo, formando una especie de hoyo o taza de 10 - 15 cm de diámetro. Se colocan 2 o 3 semillas por golpe (Ramírez, 1997).

Es recomendable en el momento de la siembra, agregar un insecticida de suelo para proteger las semillas y las plantas jóvenes del ataque de insectos y gusanos de suelo. Esta recomendación es válida cualquiera que sea el método de cultivo empleado.

Una vez sembrado se coloca el polietileno sin perforar por alguno de los procedimientos explicados. El microtúnel permite disminuir el tiempo de emergencia y acelerar el crecimiento durante los primeros 20 a 25 días, como consecuencia que brinda el pequeño túnel formado en cada casilla de siembra (Ibarra, et al., 1991).

Por ello es recomendable su uso en siembras algo más tempranas de lo normal o cuando todavía existe algún riesgo de heladas suaves.

Se debe vigilar atentamente el crecimiento de las plantas y perforar el polietileno antes de que ambos tomen contacto. En días de fuerte insolación el contacto con el plástico produce en las plantas quemaduras de distinto grado, que producen incluso la muerte de las mismas (Ramírez, 997).

Las perforaciones se hacen según lo ya explicado, para permitir la salida de las plantas al exterior del túnel. A partir de ese momento, el desarrollo de las mismas se realiza sobre la cobertura de polietileno, como en el sistema anterior.

Conducción posterior al Cultivo

No difiere de la empleada en el sistema de cultivo tradicional. Cuando la planta crece y ocupa el espacio sobre el borde de siembra se realiza el primer aporqué. En esta operación se hacen, en caso de ser necesario, aportes de nitrógeno al cultivo, con algún fertilizante nitrogenado (Ibarra, et al., 1991).

A medida que las plantas crecen, se hacen los aporques restantes, hasta dejar finalmente el surco de riego, en el centro del espacio entre los bordos de siembra.

3. Expectativas del Uso de la Fertirrigación en la Producción de Hortalizas

Una inversión de \$6,000 por hectárea, puede ser la diferencia para que un productor de hortalizas obtenga una mayor utilidad en el menor tiempo posible. Según los especialistas en el diseño de sistemas de riego, existen varios factores que aumentan el porcentaje de eficiencia de acuerdo con el manejo y la administración de los equipos de riego. Estos factores se pueden clasificar en tres grupos diferentes.

El primero es el ahorro de insumos. Se ha comprobado que con el uso de sistemas de aspersion o goteo, las necesidades de abastecimiento y el gasto promedio de agua se reducen hasta un 50% (Ligh, 1995).

Mientras que con un sistema de gravedad el gasto por hora puede ser hasta de 14,000 litros, con un sistema de aspersion sólo se ocupan 8,000 litros para regar la misma superficie con menos horas de bombeo (Domínguez, 1993).

El segundo aspecto es la protección. Los sistemas de riego tecnificados, ayudan a tener una mejor preparación de la cama de siembra que favorece la germinación. En el caso de las regiones donde al atardecer se presenta un rápido descenso de la temperatura, los sistemas de aspersion, ayudan a reducir el estrés

del cambio climático mediante la aplicación de riegos al final del día para mantener la temperatura más estable. El sistema de aspersión fija, también puede ser muy útil para proteger a las plantitas contra los efectos de las heladas o del calor excesivo (Burgueño, 1997).

El tercer aspecto está relacionado con el incremento de la productividad y la mayor absorción de los nutrientes. Con un cultivo sano y bien desarrollado, el suelo se beneficia con el crecimiento de las raíces y la mayor actividad de las bacterias. Además de esto, nadie puede dudar que la fertilización incorporada en el riego (fertirrigación), aumenta notablemente la calidad y los rendimientos de los cultivos (Hoces, 1990).

De acuerdo a los reportes obtenidos por los Productores de Hortalizas en el Estado de Baja California, la eficiencia en la conducción del agua en los cultivos de brócoli, cebollín, calabacita, tomate y espárrago, ha aumentado hasta llegar a un 85%. Con el uso de sistemas de aspersión y goteo, los productores de Camalú, Ciudad Constitución y Mexicali, han doblado el porcentaje de utilidad del agua que se obtiene en otras regiones (Ramírez, 1997).

Para calcular los porcentajes, los investigadores han considerado los volúmenes de almacenamiento, la extracción y la derivación de redes de distribución. Así mismo, para poder determinar la eficiencia de cada sistema de riego, utilizan un monitoreo constante del suelo para medir el volumen de agua que es retenido por la planta.

Tomando en cuenta las principales variables como pueden ser las condiciones topográficas, el clima, el tipo de suelo, la velocidad del viento y la infiltración, se obtienen datos muy importantes para manejar las estaciones de bombeo. Mediante este sistema, los agricultores pueden programar las necesidades y el gasto de agua para cada cultivo y temporada.

Por otro lado, las características de algunos suelos, la topografía del terreno y las condiciones del clima, dificultan en algunas ocasiones, la aplicación de riego por gravedad.

Según González (1996), las causas y los problemas más comunes que se pueden resolver con la instalación de equipos de riego tecnificados, son los siguientes :

1. Suelos arenosos y permeables que no permiten la distribución homogénea del agua por medio de gravedad.
2. Suelos poco profundos que provocan encharcamientos y erosión.
3. Desniveles y topografía accidentada.
4. Suelos salinos o calcáreos.
5. Abastecimiento limitado de agua.
6. Mano de obra limitada.
7. Requerimientos de láminas menores a 5 mm.
8. Cambios bruscos de temperatura.
9. Germinación deficiente.
10. Bajos rendimientos.

C O N C L U S I O N E S

Hoy en día, en México, la fertilización de los cultivos hortícolas y frutícolas al aire libre ya es realidad. Las técnicas de la fertirrigación y de los sustratos han permitido usar los terrenos áridos y pedregosos y convertirlos en superficies hortícolas altamente productivas.

La clave de la fertilización, es que no solo lleva agua, sino que aumenta el porcentaje de aire en el suelo y lleva 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 puede eliminar la lixiviación de los fertilizantes. Definitivamente, la fertirrigación es la mejor solución para ahorrar agua y utilizar mejor los recursos.

Las soluciones nutritivas aportadas a los cultivos al aire libre se calcularán igual que en los cultivos protegidos teniendo en cuenta las necesidades de las plantas y las características de los suelos. Los equipos para fertirrigar cultivos al aire

libre serán de gran capacidad de caudal, y flexibles para adaptarse a las características de cualquier explotación.

Al igual como existen distintos métodos para la distribución y dosificación del riego, también existen diferentes posibilidades para la dosificación del abono en el agua de riego. Bien se hace la dosificación proporcional al caudal o bien mediante el control de la conductividad eléctrica y el pH.

Aunque las demandas y las necesidades de los agricultores varían en función de diversos factores, como por ejemplo climáticos, económicos, etc. La tendencia generalizada en las principales zonas agrícolas por la implantación de sistemas de riego y fertirrigación eficaces, seguros, cómodos y, sobre todo, duraderos.

La introducción y posterior expansión de la fertirrigación en cultivos hortícolas y frutícolas es prácticamente una necesidad desde el momento en que se está introduciendo el riego localizado en algunas áreas del país. Posteriormente tiene que automatizarse este sistema. Las ventajas de la automatización de la fertirrigación son: mayor eficacia del riego; ahorro de mano de obra; control de operaciones anexas al riego, reducción de costos de instalación y mantenimiento; flexibilidad total del sistema; control de situaciones anormales; y facilidad en el registro de datos.

La completa automatización de la fertirrigación de los cultivos conlleva mejoras substanciales: aumento notable de la producción, mayor ahorro ecológico, reducción del uso de productos químicos, y sobre todo, frutos y plantas mucho más equilibradas en todos los sentidos.

Sin duda alguna los sistemas de fertirrigación han mostrado uno de los mayores porcentajes de crecimiento entre las adaptaciones de las nuevas tecnologías en nuestro país, las superficies bajo riego localizado (goteo y fertirrigación), han aumentado en los últimos años.

En la producción de melón con el uso del fertiriego, aunque no hay inventario que nos muestre con exactitud las regiones donde se aplica, puedo aseverar que estas se localizan cerca a los mercados internacionales (principalmente para Estados Unidos y el Oriente. Los estados de Sonora y Sinaloa son los que están a la vanguardia en fertiriego, además que aprovechan sus ventajas tanto a los puertos marítimos, como hacia la frontera de nuestro país.

La fertirrigación no es una panacea que resolverá los problemas de producción y competitividad en los mercados nacionales e internacionales. La introducción del fertiriego en la agricultura mexicana no será fácil, debido a que se requiere cultura de empresarial y poseer los recursos necesarios (tierra, agua, capital) para su implementación ; por lo tanto el gobierno y agricultor tienen la responsabilidad de empezar a trabajar en este aspecto como un elemento fundamental para competir en el Tratado de Libre Comercio de Norte América, donde nosotros tenemos la peor parte. Es importante mencionar que en el norte de nuestro país y algunas partes del bajío ya se posee experiencia e investigación en el uso del fertiriego y sería de gran ayuda que esta se transmitiera a otras regiones de México.

B I B L I O G R A F I A

- ✓ Burgueño, 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. Bursag. Culiacán, Sin.

- ✓ Burgueño, Hector. 1996. La Fertirrigación en Cultivos Hortícolas con Acolchado Plástico: Extracción de Nutrientes por los Cultivos de Tomate y Bell Pepper en el Valle de Culiacán. Vol. 2. Ed. Bursag. Culiacán, Sin.

- ✓ Burgueño, Hector. 1997. La Fertirrigación en Cultivos Hortícolas con Acolchado Plástico: Las Soluciones Nutrivas, Los Análisis de Extracto de Pasta, El Calor en los Acolchados Plásticos, El Uso de Acondicionadores de Suelo y Fuentes de Fósforo. Vol. 3. Ed. Bursag. Culiacán, Sin.

- ✓ Casseres, E. 1981. Producción de Hortalizas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, C.R.

- ✓ Castañeda González, Rocío. 1995. Irrigación y Reforma Agraria: Las Comunidades de Riego del Valle de Santa Rosalía, Chihuahua, 1920 - 1945. Ed. CIESSAS-CONAGUA, México, D.F.

- ✓ Castaños, Carlos. 1993. Horticultura. Manejo Simplificado. Ed. UACH, Chapingo, Méx.

- ✓ CiQa-UAAAN. 1997. Curso Nacional de Plásticos en la Agricultura, Semana Cultural de Horticultura. Coordinación de Agronomía, Departamento de Horticultura. Buenavista, Saltillo, Coah. del 3 al 7 de Noviembre de 1997.
- ✓ Cisneros, A. F. 1990. El Uso del Plástico en el Campo. Agrocultura. Año 1. No. 1 . Guadalajara, Jal.
- ✓ Domínguez Vivanco, A.. 1993. Fertirrigación. Ed. Mundi-Prensa. Madrid España.
- ✓ Dorra, Raúl. Et al, 1982. Guía y Procedimientos y Recursos para Técnicas de Investigación. 4a de. Trillas. México, D. F.
- ✓ E.P.A., 1991. Principales Ventajas del Uso de Películas Agrícolas. Folleto de Información de E.P.A.. México, D.F.
- ✓ Fersini L., J. 1982. Horticultura Práctica. 4a. Ed. Diana. México, D.F.
- ✓ García Carbajal, Armando. 1996. Evaluación de Películas Fotoselectivas para Acolchado de Suelos en el Cultivo de Pepino. Tesis. Licenciatura, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah.
- ✓ GARCIA, F. 1986. Movimiento y distribución de Fósforo y Potasio en suelos con riego por goteo. s.e. s.l.
- ✓ Gómez Zepeda, Ignacio. 1994. Historia de las Unidades de Riego Memorias de un Soñador. Ed. CIESSAS-CONAGUA, México, D.F.
- ✓ Hansen, I. 1979. Principios y Aplicaciones del Riego. 2a. Ed. Reverté. Barcelona, España.

- ✓ Herrera y Lasso, J. 1994. Apuntes sobre Irrigación: Notas sobre su Organización Económica en el Extranjero y en el País. Ed. CIESSAS-CONAGUA, México, D.F.
- ✓ Hoces, T. 1990. La Fertirrigación. Artículo. Revista Muy Interesante. No. 8-010890. Publicación Mensual. México. D.F.
- ✓ Ibarra, J.L. y Rodríguez, P.A., 1991. Acolchado de Suelos con Películas Plásticas. Ed. LIMUSA, México, D.F.
- ✓ INEGI₁. 1994. VII Censo Agrícola - Ganadero. Resumen Nacional. Tomo I y II. Aguascalientes, México, D.F.
- ✓ INEGI₂. 1994. VII Censo Agropecuario. Cultivos Anuales de México. Aguascalientes, México, D.F.
- ✓ L.J., Rodrigo. et al. 1992. Riego Localizado. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- ✓ LEON, A., TORRECILLAS, 1984. Guía Practica para el Riego y la Fertilización de los Cítricos. s.e. s.l.
- ✓ Ligh, N. 1995. Guía Básica de la Fertirrigación. Productores de Hortalizas. Año 4. No. 5.
- ✓ Olague Luna, Javier. 1994. Fertirrigación en el Cultivo del Melón. Tesis. Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah.
- ✓ Ramírez Villapudua, J. 1996. El Uso de Acolchados Plásticos en la Horticultura. Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sin.

- ✓ Robledo de Pedro, F. Y Martín, V. 1981. Aplicación de los Plásticos en la Agricultura. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- ✓ Rodríguez Suppo, F. 1989. Fertilizantes: Nutrición Vegetal. Ed. AGT EDITOR. México, D.F.
- ✓ Rodríguez Suppo, F. 1992. Riego por Goteo. Ed. AGT EDITOR. México, D.F.
- ✓ SAGAR, 1997. Curso de Diseño de Sistemas de Riego. Celaya, Gto.
- ✓ Serna Anguano, R. Ma. 1996. Influencia de las Películas Fotodegradables sobre el Cultivo del Melón (Cucumis melo) Bajo Condiciones de Fertirrigación. Tesis. Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah.
- ✓ SOLER, J. 1986. Fertigación Nitrogenada en riego localizado. s.e. s.l.
- ✓ Valadéz López, A. 1994. Producción de Hortalizas. Ed. UTEHA. México, D.F.
- ✓ Valadéz, T. 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.
- ✓ Ventura Martínez, S. 1994. Fertirrigación en el Cultivo de Chile (Capsicum annuum L.) bajo Acolchado de Suelos. Tesis. Licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah.

- ✓ Zapata, N., M. 1989. El Melón. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.