

CAPITULO IV LOS SISTEMAS DE RIEGO¹

Megh R. Goyal, Kenneth H. Solomon, Hernán Ruiz Giraldo y Miguel A. Lugo López

1.0	Introducción-----	093
2.0	Selección de los sistemas de riego-----	095
2.1	Capacidades y limitaciones-----	099
2.1.1	Cultivo, suelo y topografía-----	099
2.1.2	Cantidad y calidad del agua-----	101
2.1.3	Rendimientos-----	102
2.2	Consideraciones de mano de obra y energía-----	103
2.3	Consideraciones económicas -----	105
3.0	Riego superficial -----	109
3.1	Riego por bordes -----	109
3.2	Riego por inundación -----	110
3.2.1	Riego por fajas con diques -----	110
3.2.2	Riego por surcos -----	111
3.2.2.1	Surcos al contorno -----	120
3.2.2.2	Surcos a nivel -----	121
3.2.2.3	Surcos en declive -----	122
3.2.2.4	Surcos muy próximos -----	122
4.0	Riego por aspersión -----	123
4.1	Tipos de riego por aspersión -----	127
4.1.1	Sistemas de aspersión manual -----	127
4.1.2	Sistemas laterales sobre ruedas -----	128
4.1.3	Sistemas de aspersion con movimientos progresivos-----	128
4.1.4	Sistemas de pivote central -----	129
4.1.5	Sistemas de movimiento lineal -----	130
4.1.6	Sistemas de aplicación con presión con baja energía (LEPA) -----	130
4.1.7	Sistemas de conjunto sólido y sistemas permanentes -----	130
4.2	Tipos de aspersores -----	131
5.0	Riego subterráneo -----	132
5.1	Adaptabilidad -----	132
5.2	Características -----	133
5.3	Limitaciones -----	133
5.4	Riego subterráneo natural -----	134
6.0	Riego por goteo -----	135
7.0	Riego por goteo subterráneo -----	135
8.0	Riego al xilema -----	136
9.0	Sistema hidropónico -----	136
10.0	Resumen -----	137
11.0	Bibliografía -----	138

¹ Este capítulo fue preparado para el libro “**Manejo de Riego Por Goteo**”. Autor: Dr. Megh R. Goyal, Profesor en Ingeniería Agrícola y Biomédica, Universidad de Puerto Rico – Recinto de Mayagüez, PO Box 5984, Mayagüez, Puerto Rico 00681 – 5984. Para más detalles pueden comunicarse por correo electrónico: m_goyal@ece.uprm.edu ó visitar la página de Internet: http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/home.htm

1.0 INTRODUCCION

El arte de riego es muy antiguo y ha sido esencial al desarrollo y florecimiento de algunas civilizaciones. El Código de Hammurabi, sexto rey de la primera dinastía de Babilonia, señala la importancia del regadío. En II Reyes 3:16-17 también se alude al riego en el año 2000 antes de J.C. En este mismo año, se le atribuye a una reina asiria el desvío de las aguas del Río Nilo para regar el desierto egipcio. Los canales que se cree que fueron construidos durante su reinado todavía funcionan. De la misma forma se menciona el riego en antiguos documentos de Siria, Persia, India, China, Java e Italia. La importancia del riego en nuestros tiempos ha sido definida con precisión por N.D Gulati: "En muchos países el riego es un arte antiguo, tanto como la civilización, pero para la humanidad es una ciencia, la de sobrevivir [3]".

El riego se aplica para lograr los siguientes **objetivos principales**:

1. Suministrar la humedad necesaria para el desarrollo de los cultivos.
2. Asegurar un abasto suficiente de agua durante sequías de corta duración y clima impredecible.
3. Disolver sales del suelo.
4. Como medio para aplicar agroquímicos.
5. Mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
6. Activar ciertos agentes químicos.
7. Generar beneficios operacionales.

El agua de riego es un componente muy importante en el ciclo hidrológico (Figura 1) y contribuye a abastecer las fuentes y el almacenamiento de agua.

2.0 SELECCION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

El riego puede realizarse de diferentes formas: Por inundación, surcos, infiltración, subterráneo, aspersión; por goteo.

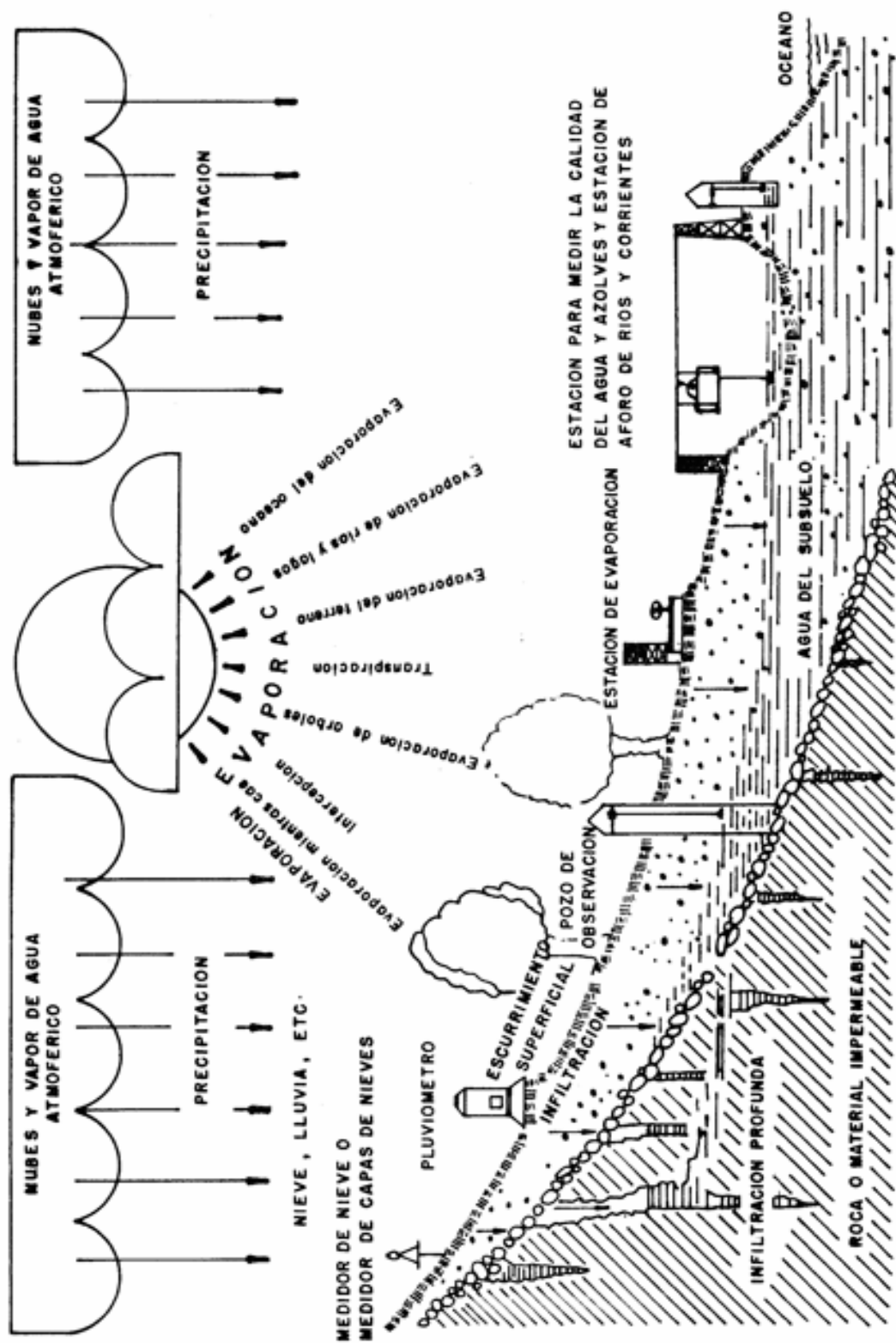


Figura 1. El ciclo hidrológico.

Es, por supuesto, necesario elegir un tipo de sistema de riego antes de que se pueda proceder al diseño, especificación del equipo e instalación. Para realizar un trabajo adecuado en la selección del sistema, hay que considerar cuidadosamente tanto el medio ambiente en el que debe funcionar el sistema como las capacidades y limitaciones de todas las alternativas potenciales. En la selección de un sistema de riego deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos [Cuadros 1 y 2]:

1. Los cultivos y prácticas relacionadas: Tipo, profundidad de raíces, consumo de agua, hábitos de desarrollo de plagas.
2. Características del suelo: Textura y estructura, profundidad y uniformidad; velocidad de infiltración y potencial de erosión; salinidad y desagüe interno; topografía-pendiente y grado de irregularidad.
3. Abasto de agua: Fuente, cantidad disponible y confiabilidad, calidad, sólidos en suspensión y análisis químico.
4. Valor y disponibilidad de la tierra.
5. Limitaciones y obstrucciones de inundación.
6. Nivel freático.
7. Condiciones climatológicas.
8. Disponibilidad y confiabilidad de la energía.
9. Consideraciones económicas: Inversión de capital requerida, disponibilidad de créditos y tasa de interés, duración del equipo y costos anualizados, inflación y costos, factores de rendimiento.
10. Tecnología disponible.
11. Consideraciones sociales: Asuntos políticos y legales, cooperación de las dependencias y habitantes, disponibilidad y confiabilidad de la mano de obra, nivel de conocimiento y especialización de la mano de obra, expectativas del gobierno y habitantes, nivel del control automático deseado, potencial de daño por vandalismo, y asuntos sobre la salud.

Cuadro 1. Condiciones que facilitan la aplicación de riego.

Método de riego				
Condiciones	Inundación	Surcos	Aspersión	Goteo
Topografía	Moderado a irregular	Moderada	Irregular	Irregular
Permeabilidad del suelo	Buena	Buena	De excesiva a buena	De excesiva a buena
Erosionabilidad	Alta	Alta	Baja	Baja
Característica de los cultivos	Sembrados a voleo	Cultivo en Hileras	Cultivo valioso	Cultivo valioso
Carga hidráulica	Alta	Alta	Moderada	Baja

Cuadro 2. Comparación de los métodos de riego.

TOPICO	Riego por inundación	Riego por surcos	Riego por aspersión	Riego por goteo
1. Pérdida por evaporación	Alta	Alta	Mediana	Mínima
2. Humedecimiento del follaje	Alto	Mediano	Alto	Mínimo
3. Consumo de agua por yerbajos	Alto	Alto	Alto	Mínimo
4. Escurrimiento superficial	Alto	Alto	Mediano	Mínimo
5. Control en la profundidad de riego	Mínimo	Mínimo	Mediano	Alto
6. Rendimiento por unidad de agua aplicada	Mínimo	Mínimo	Mediano	Alto
7. Uniformidad en el rendimiento	Poco	Mediano	Mediana	Alta
8. Aereación del Suelo	Mínimo	Poca	Poca	Alta
9. Interferencia del riego con otras tareas.	Alta	Alta	Alta	Baja
10. Aplicación del abono y plaguicidas a través del agua de	Mínima	Mínima	Moderada	Alta
11. Costos de operación y mano de obra	Bajo	Bajo	Moderado	Alto
12. Requerimiento de nivelación del terreno	Alto	Alto	Bajo	Mínimo
13. Automatización del sistema	Bajo	Bajo	Alto	Alto
14. Requerimientos de energía	Bajo	Bajo	Alto	Alto
15. Calidad de agua	Mínima	Mínima	Moderado	Alto
16. Uso de filtros	Mínimo	Mínima	Moderado	Alto
17. Control de enfermedades y plagas	Mínimo	Mínimo	Moderado	Alto

2.1 Capacidades y limitaciones

2.1.1 Cultivo, suelo y topografía

Riego superficial o por infiltración:

Hay formas de riego superficial para casi todos los cultivos. Los cultivos forrajeros se riegan en algunas regiones por el método de surcos. Los métodos de riego por inundación son adecuados para cultivos forrajeros, así como las acequias siguiendo las curvas de nivel y las eras. Los cultivos en hileras se riegan por surcos.

Este sistema de riego trabaja mejor cuando los suelos son uniformes, ya que el suelo es determinante de la infiltración del agua. Las longitudes de los regueros (fajas o eras) con caballones se debe limitar a 100 metros en suelos de textura gruesa, pero pueden alcanzar los 400 metros en otros suelos. El riego por surcos es posible en todo tipo de suelo, pero los suelos con capacidad de infiltración demasiado rápida o lenta requieren mano de obra excesiva o ajustes del costo del capital que rara vez son económicos. Las pendientes uniformes y ligeras se adaptan mejor al riego por infiltración. La topografía ondulada y los suelos con poca profundidad requieren nivelación. Las pendientes escarpadas y la topografía irregular aumentan el costo de nivelación del terreno y reducen el tamaño de los bordes (fajas). Los cortes profundos pueden exponer las áreas del suelo no productivo, requiriendo una fertilización especial. Tal vez se requieran medidas para controlar la erosión si se utilizan flujos de gran tamaño.

Riego por aspersión:

Casi todos los cultivos se pueden regar con algún tipo de sistema de aspersión, aunque se debe considerar al seleccionar el sistema, la característica del cultivo, especialmente la altura. A veces se usan los aspersores para germinar la semilla y cubrir

suelo. Las aplicaciones ligeras y frecuentes que se necesitan para esta finalidad, se logran fácilmente con algunos sistemas de aspersión. Se pueden regar casi todos los suelos con el método de aspersión, aunque los suelos con infiltración inferior a 5 mm/h pueden requerir medidas especiales. Los aspersores se pueden utilizar en suelos muy poco profundos para permitir que se amolde la superficie o en suelos muy variables para un riego eficiente de la superficie. En general, los aspersores se pueden usar en terrenos de cualquier topografía que pueda cultivarse. Por lo general no se requiere la nivelación del terreno. Los sistemas de aspersión se diseñan (con algunas excepciones) de manera que apliquen al agua con intensidad más baja que la infiltración a fin de que la cantidad de agua infiltrada en cualquier punto dependa de la intensidad de la aplicación y de tiempo de aplicación y no de la capacidad de infiltración del suelo.

Riego por goteo:

El riego por goteo es más conveniente para los viñedos y los cultivos de árboles y de hilera. La limitación principal es el costo del sistema, el cual puede ser muy elevado en cultivos de siembra muy densa. Los cultivos forrajeros no se pueden regar en forma económica con los sistemas de goteo. El riego por goteo es conveniente para casi todos los suelos. En suelos de textura muy fina, las intensidades de la aplicación por goteo pueden hacer que se estanque el agua, con escurrimiento potencial de la misma, erosión y problemas de aireación. En suelos pesados, el movimiento lateral del agua será limitado, por lo que tal vez se requieren más emisores por planta para mojar bien el área deseada. Con el diseño adecuado, usando emisores de presión compensada y reguladores de presión en la forma requerida, el riego por goteo se puede adaptar a casi cualquier topografía. En algunas áreas, el riego por riego se utiliza con éxito en pendientes elevadas.

2.1.2 Cantidad y calidad de agua

Riego superficial:

Es importante que la cantidad de agua para riego alcance el nivel del borde para lograr un riego uniforme. El caudal de la corriente que pasa por el borde varía de 15 a 300 litros por segundo. La variación de la velocidad de admisión durante la estación es provechosa para los sistemas de borde y surco, si la fuente de abastecimiento de agua se puede variar de un riego al siguiente. Los sistemas de bordes y surco no son convenientes para la filtración de sales que reclama el suelo, ya que el agua no puede mantenerse en el suelo por el tiempo requerido. Sin embargo, el método del almacenamiento usando el borde es ideal para este fin.

Riego por aspersión:

El riego por aspersión se adapta particularmente bien a la condición en que la capa freática es alta, puesto que el regante puede hacer la aplicación con el volumen de agua que se determine. En el caso del riego por aspersión se usa menos agua que en el riego por inundación.

Riego por goteo:

La aplicación de agua es menos intensa durante un periodo de tiempo más largo que en otros métodos de riego. El diseño más económico tendría agua fluyendo hacia el área del cultivo durante casi todo el día, cada día, durante los periodos de más uso. Si el agua no está disponible constantemente, tal vez sea necesario almacenar agua. Se pueden usar con éxito aguas con alguna salinidad, aunque se necesita tomar precauciones especiales. Las sales tienden a concentrarse en el perímetro del volumen del suelo mojado. Si pasa mucho tiempo entre los riegos, el movimiento del agua en el suelo puede

invertirse regresando las sales a la zona de la raíz. Cuando llueve después de un periodo de acumulación de sales, debe continuar el riego normal hasta que aproximadamente hayan caído 50 mm de lluvia para prevenir el daño que pueda causar la sal. En las regiones áridas, donde la lluvia anual es insuficiente (< de 300 a 400 mm) para lixiviar las sales, la filtración artificial puede ser necesaria en tiempo, requiriendo el uso de un aspersor complementario o sistema de riego por infiltración. Se usan los separadores ciclónicos y filtros de malla para remover partículas inorgánicas del agua de riego y los filtros del medio se usan para remover contaminantes orgánicos. Tal vez se requiera también el tratamiento químico del agua para controlar la actividad biológica, ajustar el pH o evitar la precipitación química que podría obstruir los emisores. El diseño y cuidado adecuados del sistema para el tratamiento del agua es vital para el uso exitoso del riego por goteo. El riego por goteo es de baja presión y de baja intensidad de flujo.

2.1.3 Rendimientos

Riego superficial:

Los altos rendimientos son posibles con riego superficial, pero es mucho más fácil obtener estos rendimientos potenciales con el método de almacenamiento usando el borde. Los rendimientos en el diseño para los sistemas de almacenamiento deben ser altos, tal vez de 80-90% para todos excepto los suelos con una capacidad de infiltración muy alta. Los rendimientos razonables para el riego con borde son del 70 al 85%, y del 65 al 75% para el riego por surco. Debe buscarse una aplicación útil al agua de drenaje y de escorrentía.

El ingeniero y el operador pueden controlar muchos de los factores que afectan la eficiencia del riego, pero la uniformidad potencial de la aplicación del agua, usando riego por superficie, esta limitada por la variación de las propiedades del suelo principalmente la

capacidad de infiltración. Estudios indican que aun en suelos relativamente uniformes puede existir una uniformidad de distribución de velocidades de infiltración de solo 80%. Se ha sugerido que los cálculos de la uniformidad del riego por superficie basados en la velocidad de infiltración necesitan reducirse por 5% a 10% para justificar la variación del suelo.

Riego por aspersión:

Los rendimientos alcanzados usando riego por aspersión son:

Manual o portátil	65-75%
Lateral sobre ruedas	60-70%
Pivote central	75-90%
Movimiento lineal	75-90%
Conjunto sólido o permanente	75-80%

Riego por goteo:

Los sistemas de riego por goteo diseñados y mantenidos adecuadamente son capaces de propiciar altos rendimientos. La eficiencia en el diseño debe ser del orden del 90 al 95%. Con cuidado y mantenimiento razonables, los rendimientos en el campo pueden fluctuar entre 80 a 90%. Donde la obstrucción es un problema, o el rendimiento del emisor es altamente variable, la eficiencia en el campo puede ser tan baja como un 60%.

2.2 Consideraciones de mano de obra y energía

Riego superficial:

El riego por inundación requiere el uso mínimo de la mano de obra entre los métodos superficiales, particularmente si el sistema está automatizado. También se pueden automatizar hasta cierto grado los sistemas de borde y surco, a fin de reducir la necesidad de mano de obra. El riego por bordes y el riego por surcos requieren expertos

para obtener altos rendimientos. La mano de obra experta que se necesita para establecer flujos de borde o surco puede disminuirse con el equipo de alto costo. El poner sifones o correderas son útiles para medir la velocidad deseada del flujo. El riego superficial requiere poca o ninguna energía, para distribuir el agua a todo el campo, pero se gasta algo de energía al llevar el agua al campo, especialmente cuando se bombea el agua subterránea. En algunos casos esos costos de energía pueden ser sustanciales, particularmente con una baja eficiencia en el uso del agua. Será necesario alguna mano de obra y energía para nivelar y preparar el terreno.

Riego por aspersión:

La necesidad de mano de obra varía dependiendo del grado de automatización y mecanización del equipo usado. Los sistemas manuales requieren el menor grado de habilidad, pero más mano de obra. En el otro extremo, los sistemas de pivote central y movimiento lineal requieren considerable habilidad en la operación y mantenimiento, pero sobre todo la cantidad total de mano de obra necesaria es baja. El consumo de energía se relaciona con los requisitos de presión de operación que varían considerablemente entre los sistemas por aspersión. En los extremos, el sistema de aspersor viajero con movimiento progresivo requiere 7 bares o más de presión. Otros sistemas pueden usar de 2 a 5 bares, dependiendo del diseño de los aspersores y las boquillas.

Riego por goteo:

Debido a sus características de flujo bajo, los sistemas de riego por goteo tienen, por lo general, pocas sub-unidades y están diseñados para largos periodos de riego. Los sistemas se hacen funcionar fácilmente en forma manual, pero también se pueden automatizar plenamente. De tal forma, el requisito principal de mano de obra es la

inspección y mantenimiento del sistema. La cantidad de mano de obra necesaria para mantenimiento se relaciona con la sensibilidad de los emisores a las obstrucciones y a la calidad del agua de riego. En un viñedo, por ejemplo, un obrero puede inspeccionar y mantener aproximadamente 20 hectáreas por día.

Por lo general, los sistemas de riego por goteo requieren menos energía que otros sistemas de riego presionizado. Los goteros funcionan, a presiones que fluctúan de 0.5 a 1.5 bares. Se requiere presión entre la parte superior del filtro y la red de tubería. Las presiones del sistema fluctúan desde aproximadamente 2 (sistemas pequeños en terrenos planos) a 4 bares (sistemas mayores en terrenos ondulados).

2.3 Consideraciones económicas

Riego superficial:

Un costo importante en el riego superficial es el de nivelar el terreno. El costo está directamente relacionado con el volumen de tierra que debe removerse, la longitud y tamaño de los bordes. Los volúmenes típicos de tierra que se remueven son del orden de 800 metros cúbicos/ha. Si los costos fueran excesivos se debería revisar el diseño. Los costos típicos de la tierra que se remueve son de \$0.65 por metro cúbico. El terminado final con “roto raspador” ("drag-scrappers") controlados por láser después de remover la tierra costará aproximadamente \$110 por hectárea. El nivelado de retoque en suelos previamente arrasados por láser, costará aproximadamente \$50.00 por hectárea.

El plástico enterrado de baja presión o las canalizaciones de concreto para flujos bajos, pueden costar aproximadamente el doble de las zanjas revestidas de hormigón, y hasta de 5 a 10 veces más para flujos mayores.

Una represa de tierra compacta de tamaño mediano capaz de almacenar un volumen de agua de 24 horas cuesta aproximadamente \$250/ha para fincas pequeñas (de hasta 15 ha). Para fincas más grandes el precio puede bajar hasta \$125/ha. Una represa revestida puede costar del doble a cinco veces más.

Riego por aspersión:

En el cuadro 3, se resumen los factores que afectan el costo de los sistemas de riego por aspersores. Los costos de capital para los sistemas de aspersión dependen del tipo de sistema y tamaño de la superficie de terreno regado. Los costos típicos de inversión (cuadro 3) suponen que el agua está disponible al nivel del suelo a un lado del campo e incluyen la tubería principal y la planta de bombeo.

Los costos de energía varían ampliamente de lugar a lugar. Los requisitos de energía dados en el cuadro 3 se pueden usar para calcular los costos en base a los costos de energía unitaria adecuados. Se ha supuesto un rendimiento de la bomba de 75%. Las cifras de energía que se citan están en términos de kilovatios por hora por hectárea por milímetro (bruto) de agua aplicada.

Los costos de operación (mano de obra) varían según el tipo de sistema y los costos locales para mano de obra. El cuadro 3 da valores típicos por hora de mano de obra que se requieren por hectárea por 100 mm de agua aplicado (bruto).

Es difícil predecir los costos de mantenimiento, pero las cifras anotadas en el cuadro 3 se pueden usar como guías. El costo de mantenimiento anual se calcula multiplicando el costo de capital inicial del sistema por el factor de mantenimiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Costo de los sistemas de riego por aspersores.

Tipo de sistema		Tamaño del Campo	Costo de Capital	Uso de Energía	Mano de Obra	Factor de mantenimiento
		ha	\$/ha	kvh/ha/mm	Hrs/ha/100mm	**
1.	Manual o portátil	65	175-250	0.86-2.05	1.65	2
2.	Lateral sobre ruedas	65	740-1000	0.86-2.05	1.17	2.5
3.	Asesor viajero con movimiento progresivo	32	865-1100	3.42-4.79	0.68	6
4.	Pivote central sin sistema para esquinas	55	620-1000	0.86-2.23	0.09	5
5.	Pivote central con sistema para esquinas	60	865-1100	0.96-2.33	0.09	6
6.	Movimiento lineal o alimentado por zanjas	130	1000-1200	0.86-2.23	0.19	6
7.	Movimiento lineal o alimentado por manguera	130	1500-1850	1.20-2.57	0.19	6
8.	Conjunto sólido	65	2500-3000	0.86-2.05	0.97	2
9.	Permanente	65	2100-3000	0.86-2.05	0.09	1

** El costo de mantenimiento se calcula multiplicando el costo de capital del sistema por el factor de porcentaje tabulado.

Riego por goteo:

Los costos del sistema por goteo pueden variar ampliamente, dependiendo del cultivo (planta, y por consiguiente, las distancias de las mangueras y emisores) y el tipo de manguera empleada (tubas de pared delgada "desechables" o permanentes). Los costos par el riego por goteo serán más bajos en hortalizas muy espaciados, tal vez de \$2,200/ha. Para viñedos con espacios menores, los costos se incrementan a \$3,400/ha más o menos.

Para cultivos de hortalizas con espacios más cerrados (tomate, pimiento, etc.) los costos del sistema par goteo con laterales recuperables pueden costar de \$2,900 a \$4,900/ha. Para hortalizas usando sistemas con laterales desechables, el costo puede variar de \$340 a \$440/ha anual para reemplazar las líneas laterales desechables.

Estos cálculos son para un sistema de alta calidad e incluyen bombas, filtros, controles, la red de tubería y emisores. En situaciones donde hay más de una bomba básica, suficiente el equipo para filtración y control, costos varían de 20 a 25% menos de los gastos calculados.

Los gastos típicos de funcionamiento y mantenimiento de un sistema de riego por goteo varían ampliamente dependiendo de las circunstancias locales y de las eficiencias de riego obtenidas. Una practica aconsejable, es calcular el costo de mantenimiento y funcionamiento (\$ por hectárea por año) como un porcentaje del costo inicial como se ha hecho a continuación:

Gasto	Factor de porcentaje
Mano de Obra	1.5%
Energía*	3 a 7%
Agua*	4 a 6%
Mantenimiento	1%
Impuestos y Seguros	2%
*Depende del rendimiento del sistema.	

3.0 RIEGO SUPERFICIAL

En el caso del riego superficial, el agua corre sobre la superficie de la tierra proporcionando a las plantas la humedad necesaria para su desarrollo. Sus componentes básicos son: Fuente de agua, líneas de abastecimientos, mecanismo de control, represas o bordes de control, surcos de riego, sistema de drenaje y sistema de reutilización del agua (opcional).

Las líneas de abastecimientos pueden ser tubos de de P.V.C o entubado flexible (lay-flat); también pueden ser canales abiertos de tierra, asfalto, hormigón, o plástico, hierro, de hormigón.

Además de las tuberías y cauces abiertos se utilizan otras estructuras complementarias: Túneles (para acortar los canales rederivación); saltos y rápidos (para reducir la energía de la corriente sin que produzca erosión y para reducir la velocidad del agua respectivamente) y sifones invertidos (para cruzar depresiones del terreno).

Los mecanismos de control pueden ser medidores de flujos como orificios, reloj para tubos (manual y automático), métodos "porshall", vertederos, molinete para canales. Para el control se incluyen las llaves de pasos y compuertas.

3.1 Riego por bordes a nivel

En el riego por bordes, se aplica el agua a un área a nivel rodeada por diques o caballones. Cada área individual regada está completamente a nivel sin pendientes hacia ninguna dirección. No es necesario que los bordes sean rectangulares o rectos ni tampoco que los diques en los bordes sean permanentes. A esta técnica de riego también se le llama: "Eras niveladas para inundación o riego en eras (fajas) con caballones."

El tamaño de los bordes depende del caudal de agua disponible, la topografía, el suelo y el grade de nivelación requerido. El tamaño fluctúa de unos cuantos metros cuadrados a 15 hectáreas, aproximadamente. Una ventaja del riego por borde a nivel es que el regador necesita suministrar únicamente un volumen específico de agua. El riego por borde es más efectivo en suelos uniformes y nivelados con precisión. Es posible alcanzar altos rendimientos con bajos requisitos de mano de obra.

3.2 Riego por inundación (Figuras 2 y 3)

Este es el sistema tradicional más antiguo y más utilizado en la agricultura. Se adapta para siembras extensas y no propensas a enfermedades que se desarrollan por exceso de humedad. Consiste, en llevar agua de pozos profundos o corrientes superficiales (ríos, lagos, estanques, etc.), hasta los puntos de mayor elevación de la finca, para de allí utilizarla en el regadío. Este tipo de riego requiere que los campos estén preparados con un desnivel que oscile entre 3% y 6% para que el agua corra lentamente y llegue a la parte más baja de la finca donde se recogerá por canales (drenajes) para eliminarla o volverla a usar.

3.2.1 Riego por fajas con diques (Riego en eras con caballones)

Este tipo de riego por inundación es el más común y popular. Se utiliza principalmente en cultivos de espacios cortos entre plantas como arroz. Se puede definir como la aplicación de agua entre bordes paralelos; la faja entre diques adyacentes no tiene pendiente en la dirección transversal, pero sí la tienen en la dirección del riego.

El riego en fajas con diques utiliza la tierra acomodada en fajas niveladas a través de la medida angosta y con pendientes a lo largo de la medida ancha, y rodeadas por diques (caballones) a fin de evitar el flujo lateral del agua. Se transporta el agua hacia el extremo

superior del dique y avanza hacia bajo. Con este método de riego son posibles altos rendimientos de riego, pero se obtienen muy raramente en la práctica debido a la dificultad de equilibrar las fases de avance y retracción en la aplicación del agua.

El riego por fajas con diques es el más complicado de todos los métodos de riego. Los factores en el diseño son la longitud y pendiente del borde, caudal por unidad de ancho de borde, deficiencia de la humedad del suelo en el momento del riego y capacidad de infiltración. Sin embargo, debido a las grandes variaciones en las condiciones del campo que tienen lugar durante la estación, el regador puede llegar a tener tan buen efecto en el rendimiento del riego como lo tuvo el diseñador del sistema.

Ventajas:

1. Es fácil de usar.
2. Es de bajo control operacional.
3. Es conocido por ser el sistema tradicional.

Desventajas:

1. Se pierde bastante terreno para siembras.
2. No se puede entrar al terreno una vez regado.
3. Se pierde abono.
4. Se pierde mucha agua por evaporación y escorrentía.
5. Causa problemas de erosión
6. Muchas veces el agua no puede utilizarse porque esta contaminada.

3.2.2 Riego por surcos o riego por infiltración (Figuras 4 a 6)

Los surcos son canales con pendientes que se formaron en el suelo. La infiltración ocurre lateral y verticalmente a través de perímetro mojado del surco.

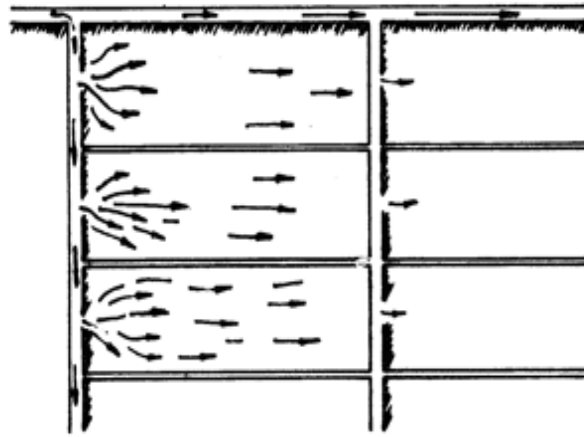


Figura 2a. Inundación periódica

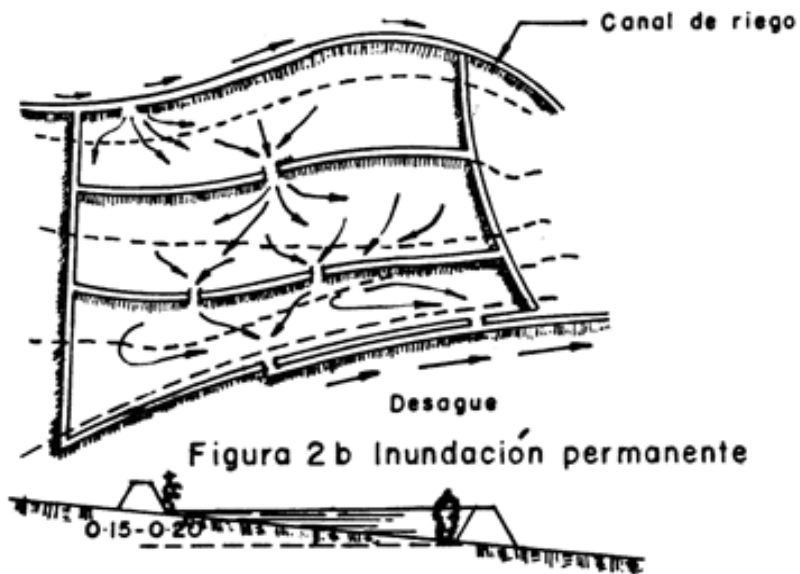


Figura 2 b Inundación permanente

Figura 2. Riego por inundación.

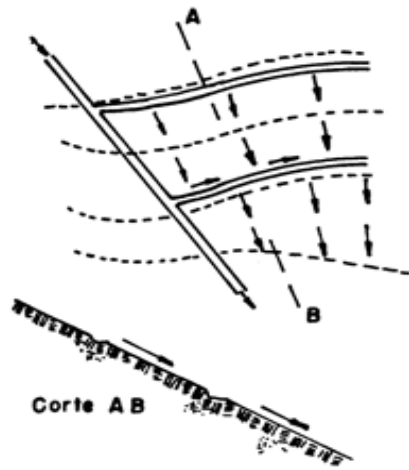


Figura 3b. Inundación simple.

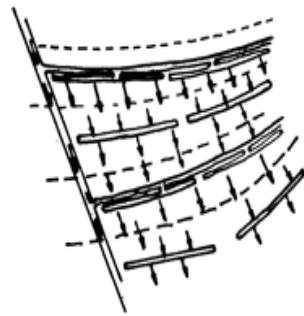


Figura 3b. Inundación múltiple



Figura 3c. Inundación para cultivo en terraza

Figura 3. Riego por inundación.

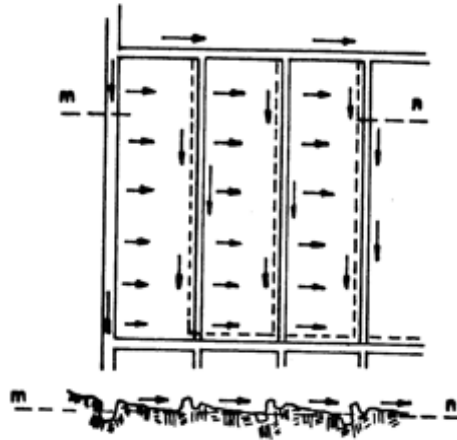


Figura 3d. Zanjas simples

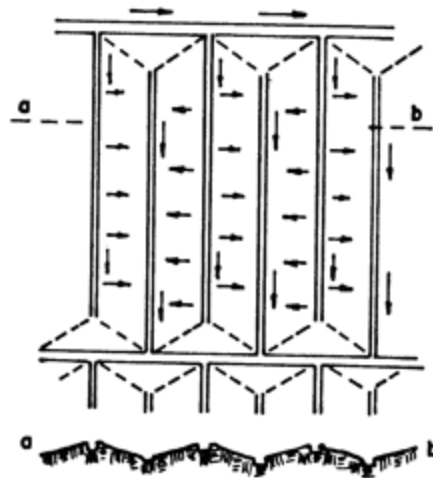


Figura 3e. Zanjas dobles

Figura 3. Riego por inundación.

Se pueden diseñar los sistemas en una diversidad de formas. Las longitudes óptimas de los surcos se controlan principalmente mediante la capacidad de infiltración y el tamaño del campo.

Las capacidades de infiltración en los surcos pueden variar mucho, inclusive cuando el suelo esta uniforme debido a las practicas de cultivo. La capacidad de infiltración de un surco nuevo (o recién cultivado) será mayor que la de un surco que se ha regado antes.

Los surcos por hileras con paso para ruedas, pueden tener infiltraciones mucho más reducidas debido la compactación. Debido a los muchos parámetros controlables de diseño y uso, los sistemas de riego por surcos se pueden utilizar en varias situaciones dentro de los límites de la uniformidad y topografía del suelo. Con los sistemas para hacer regresar el flujo del agua que se ha escapado, el riego por surcos puede ser un método altamente eficiente y uniforme para aplicar el agua. Sin embargo, la uniformidad y eficiencia dependen altamente del uso adecuado, por lo que el mal uso puede disminuir el rendimiento del sistema.

El riego por surco requiere una estructura similar a la regadera o acequia; pero de mucho menos magnitud. Está diseñado para que el agua corra a lo largo del predio regable. En este sistema, el agua llega por presión a las partes más altas de la finca. Luego se distribuye, ya sea por canales o por tubos, hacia los predios en donde entrará a los surcos para así inundar el terreno. Desde las líneas de abastecimiento el agua entra a los surcos por medio de compuertas, sifones o destapándole surco. Esto aplica cuando el canal es abierto. Se pueden usar llave de paso a cada salida para regular la aplicación cuando la línea de abastecimiento es un tubo.

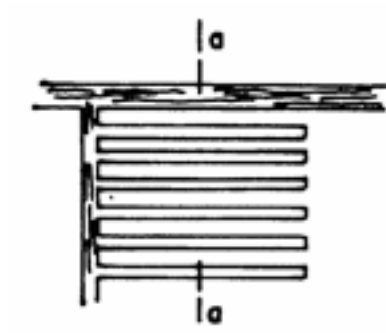


Figura 4a. Surcos simples

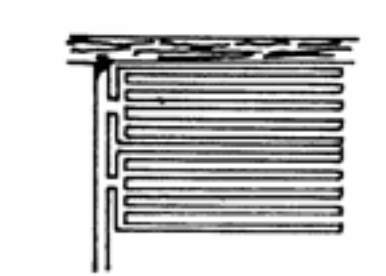


Figura 4b. Surcos múltiples

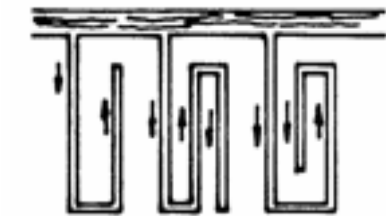


Figura 4c. Surcos tipo caracol

Figura 4. Riego por infiltración superficial.

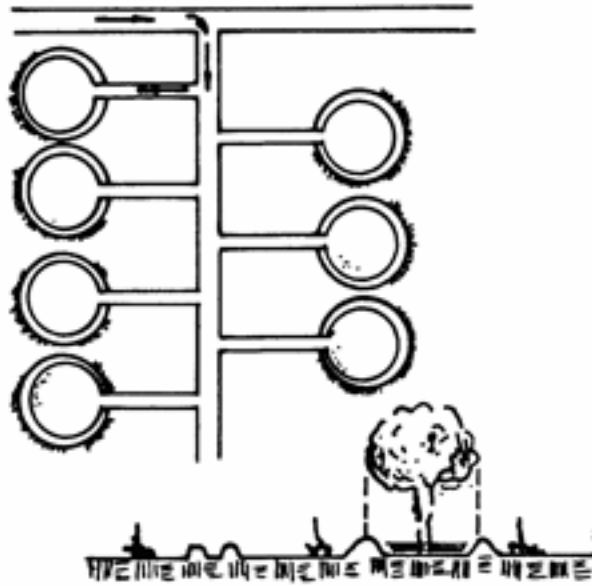


Figura 5a. Palangana circular.

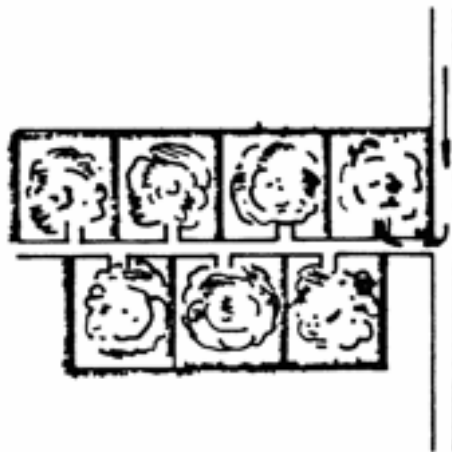


Figura 5b. Palangana cuadrada

Figura 5. Riego por infiltración subterránea.

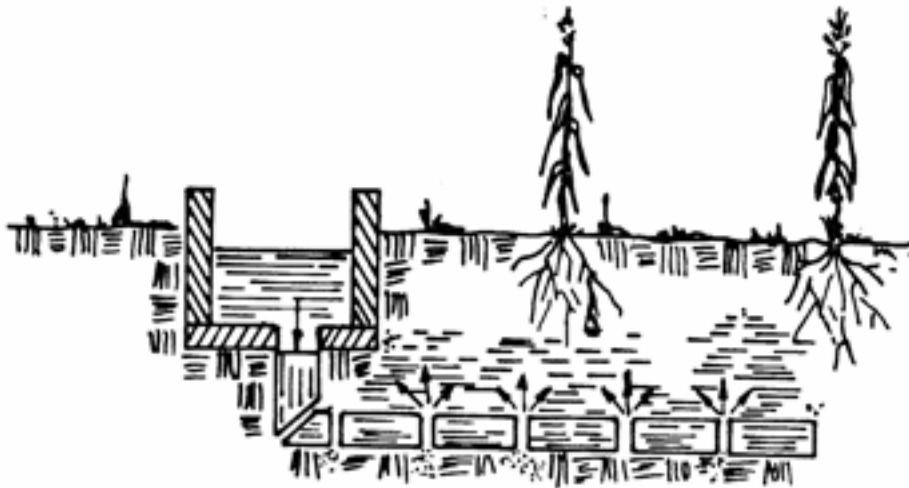
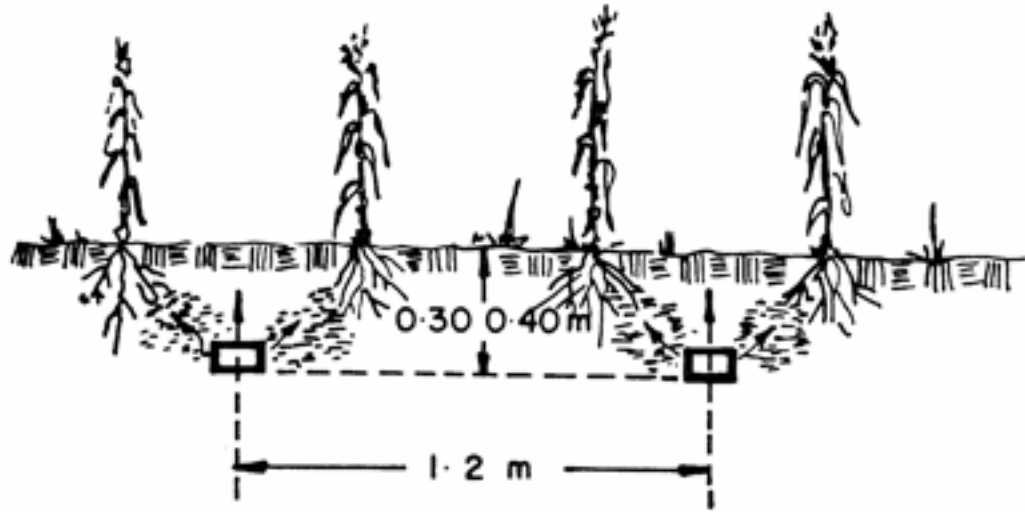


Figura 6. Riego por infiltración subterránea.

Los regadores pueden lograr mayor uniformidad en la aplicación del agua a los cultivos de regadío mediante la regulación del caudal que se vierte en el surco. Para esto resultan de especial utilidad las tuberías con compuertas laterales. El empleo de las tuberías con orificios laterales tiene cada vez mayor aceptación. Las pequeñas compuertas de fácil adaptación a las tuberías facilitan la regulación del caudal que llega al surco.

Por medio de estas tuberías se puede automatizar la salida del agua. Estas compuertas permiten el paso de caudales variables > 4 litros por minuto. La tubería ligera de aluminio o de hierro galvanizado con compuertas laterales es de fácil instalación, sencillo ajuste y puede trasladarse rápidamente después del riego. Este sistema se utiliza especialmente para siembras en hileras: frutas y horizontales, caña de azúcar, papa, maíz etc. Los surcos se orientan directamente según la pendiente mayor, pero si la pendiente transversal es bastante uniforme, se puede variar la dirección de los surcos para disminuirle la pendiente.

Ventajas:

1. Bajo costo inicial.
2. Mano de obra menos especializada.
3. Fácil de atender.

Desventajas:

1. La aplicación de fertilizantes debe ser manual.
2. Se pierde agua por evaporación.
3. Hay pérdidas de nutrimentos.
4. Se pierde espacio para siembra.
5. Necesita nivelación.

6. Baja eficiencia de utilización del agua.
7. Se pueden transmitir enfermedades de una planta a otra.
8. Requiere mucho tiempo de aplicación y un caudal grande de agua.
9. Baja velocidad del agua, menos tubos que se usen.
10. Perdidas por infiltración y escorrentía.
11. Tener que nivelar el terreno. Eleva el costo inicial y se pierde mucho tiempo entre cada cosecha.

3.2.2.1 Surcos al contorno

Consiste de pequeños canales con una pendiente continua, casi uniforme por los cuales se distribuye el agua en terrenos montañosos. Los surcos al contorno siguen las curvas de nivel del terreno. Este sistema puede utilizarse en casi todos los suelos con desnivel, excepto aquellos arenosos; también en los cultivos que se siembran en hileras.

El método de surcos al contorno puede emplearse para regar, sin riesgo alguno, tierras con inclinación demasiado pronunciada. La pendiente recomendada debe ser entre 1% y 2%. Si este sistema se establece debidamente, teniendo en cuentas todas las practicas que conlleva, sobre todo dirigiendo el desplazamiento del agua, puede llegar a ser eficiente y aceptable.

Este método debe seguirse con toda regularidad y cuidado a fin de evitar el desbordamiento del agua en los surcos. La longitud de los surcos debe ser corta para poder eliminar, de esta forma, los excedentes del agua que pueden destruir los surcos. El riego mediante surcos al contorno, se emplea conjuntamente con terrazas paralelas para proporcionar seguridad contra roturas. Deben protegerse las acequías superiores e inferiores.

3.2.2.2 Surcos a nivel

Los surcos a nivel son pequeños canales sin declive formados por el equipo agrícola y se utilizan para regar cultivos sembrados sobre los surcos o entre ellos. La aplicación del agua según el método de surcos a nivel requiere que su suministro sea rápido.

El método de surcos a nivel se adapta mejor a los suelos que tienen un índice moderado o lento de absorción y un índice de capacidad de retención entre mediano y alto. Con el sistema de riego por surcos, los mejores resultados se obtienen en pendientes suaves y uniformes.

La cantidad de agua que se aplica puede ajustarse de acuerdo a las variaciones de los surcos. No se requiere cambio alguno en el esquema general. Puede lograrse una alta eficiencia en la aplicación siguiendo este sistema si se diseña y usa en forma adecuada, sin que ello implique pérdida por escurrimiento. A menos que los vientos de gran velocidad afecten el curso de la corriente, las acequías u otras estructuras de conducción, los surcos pueden espaciarse al doble de la longitud de los surcos, ya que el agua puede aplicarse por ambos extremos. Este procedimiento reduce el costo de construcción y mantenimiento del sistema de distribución y el equipo de labranza puede llevarse a mayores distancias.

En lugares donde la velocidad del viento es mayor de 24 o 32 Km/h, la aplicación del agua de riego se dificulta si la dirección del viento es opuesta al curso que sigue la corriente de agua. La capacidad de los surcos debe ser lo suficientemente amplia para mantener el flujo de la corriente. Estos deben ser capaces de admitir aproximadamente la mitad del volumen del riego que se va a aplicar. Para que la operación del sistema sea

eficaz es esencial que los trabajos de labranza no alteren la topografía, la forma y la sección transversal de los surcos.

3.2.2.3 Surcos en declive

Los surcos en declive consisten en pequeños canales con una pendiente continua casi uniforme que sigue la misma dirección del riego. El método de riego por surcos en declive puede emplearse para los cultivos que se siembran en hileras, incluyendo hortalizas. Los surcos en declive pueden usarse en todos los suelos, excepto los arenosos, que tienen un alto grado de infiltración y proporcionan una distribución lateral muy escasa entre los surcos; pero deben emplearse con extrema cuidado en tierras que tienen altas concentraciones de sales solubles.

Normalmente se requiere mucho trabajo cuando se utiliza el método de los surcos en declive. El flujo que va a cada surco debe ser regulado cuidadosamente para que la distribución del agua sea uniforme, con el mínimo de desperdicio. Los terrenos deben nivelarse e instalarse los dispositivos necesarios para coleccionar y deshacerse de los excedentes superficiales. El método no es adecuado para aplicar riegos muy ligeros que se necesitan para la germinación de la semilla o para cultivos de raíz de poca profundidad.

3.2.2.4 Surcos muy próximos

Este sistema consiste en un arrugamiento parcial de la superficie. El agua de riego no cubre todo el terreno, sino que se distribuye mediante pequeños canales u ondulaciones a espacios regulares. El agua aplicada en las ondulaciones penetra en el suelo y se extiende lateralmente a fin de regar los espacios intermedios entre los surcos, los cuales deben quedar a distancias que permitan una distribución lateral adecuada para que el volumen necesario de agua penetre en el suelo.

El riego por ondulaciones o corrugaciones se adapta mejor a los sitios de poca lluvia y a los terrenos planos con pendientes entre 1 a 8%. Puede emplearse en pendientes irregulares, pero las ondulaciones deben tener un declive continuo en el sentido del riego y la pendiente transversal debe ser tal que las cuarteadoras causadas por el agua de riego y la escorrentía motivada por la precipitación se mantengan el mínima posible. Las ondulaciones dan los mejores resultados en suelos suaves a moderadamente pesados en textura, pero no son aptos para los suelos de textura recia con coeficientes altos de absorción ni en las tierras salinas.

Las corrientes de riego pueden ser grandes a pequeñas, ya que el número de ondulaciones que se riegan al mismo tiempo estará de acuerdo con el flujo disponible.

Los requisitos de mano de obra son altos y las corrientes de riego deben regularse cuidadosamente para que la distribución del agua sea uniforme y se reduzca al mínimo el desperdicio. Los costos de operación del equipo, son elevados, no se adaptan a lugares de fuertes lluvias pluviales durante el periodo de riego.

4.0 RIEGO POR ASPERSION (Figura 7)

En el sistema de riego por aspersión, el agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma parecida a la lluvia. Dicha aspersión se obtiene al impulsar agua a presión, a través de pequeños orificios o boquillas, generalmente la presión se obtiene por bombeo, aunque puede lograrse por gravedad. El sistema de riego por aspersión se desarrollo después de la segunda guerra mundial con la introducción de tuberías de aluminios livianos y movibles. Al mismo tiempo aspersores mejorados y acopladores rápidos para facilitar el conectar y desconectar los tubos se hicieron disponibles.

Los primeros sistemas utilizados a gran escala consistían de laterales móviles a mano y aspersores de impactos rotativos, con dos líneas seguidas de laterales. Más tarde con la necesidad creciente de economizar trabajo y agua, surgieron los sistemas fijos a "solid-set". Instalados en plantaciones y huertas, consistían en laterales plásticos colocados entre o a lo largo de las hileras de árboles y rociadores de una baja razón de flujo o mini aspersores.

Se desarrollaron aspersores gigantes o de cañones montados en carretones, facilitándose de esta forma una cobertura rápida en áreas extensas, inclusive las que recibían riego suplementario.

La automatización simple se lleva a cabo mediante el uso de válvulas volumétricas que se ajustan para suministrar un volumen de agua deseado y luego se apagan automáticamente. A un nivel más avanzado las válvulas pueden funcionar a una secuencia predeterminada. Aun más refinado es el uso de unidades de control en el campo para encender y apagar las válvulas mediante electricidad según un horario establecido. Finalmente, varios campos se pueden regar conectando las unidades de campo a una "unidad central maestra" la cual se acciona por computadora.

Aunque los aspersores han aumentado en popularidad, en regadíos predominan los métodos de superficie.

Los componentes básicos de cualquier sistema de aspersión son: Una fuente de donde proviene el agua, una bomba para proveer la presión necesaria, una a más líneas principales para distribuirla a todo el campo, aspersores para rociarla sobre el suelo y válvulas para controlar el flujo.

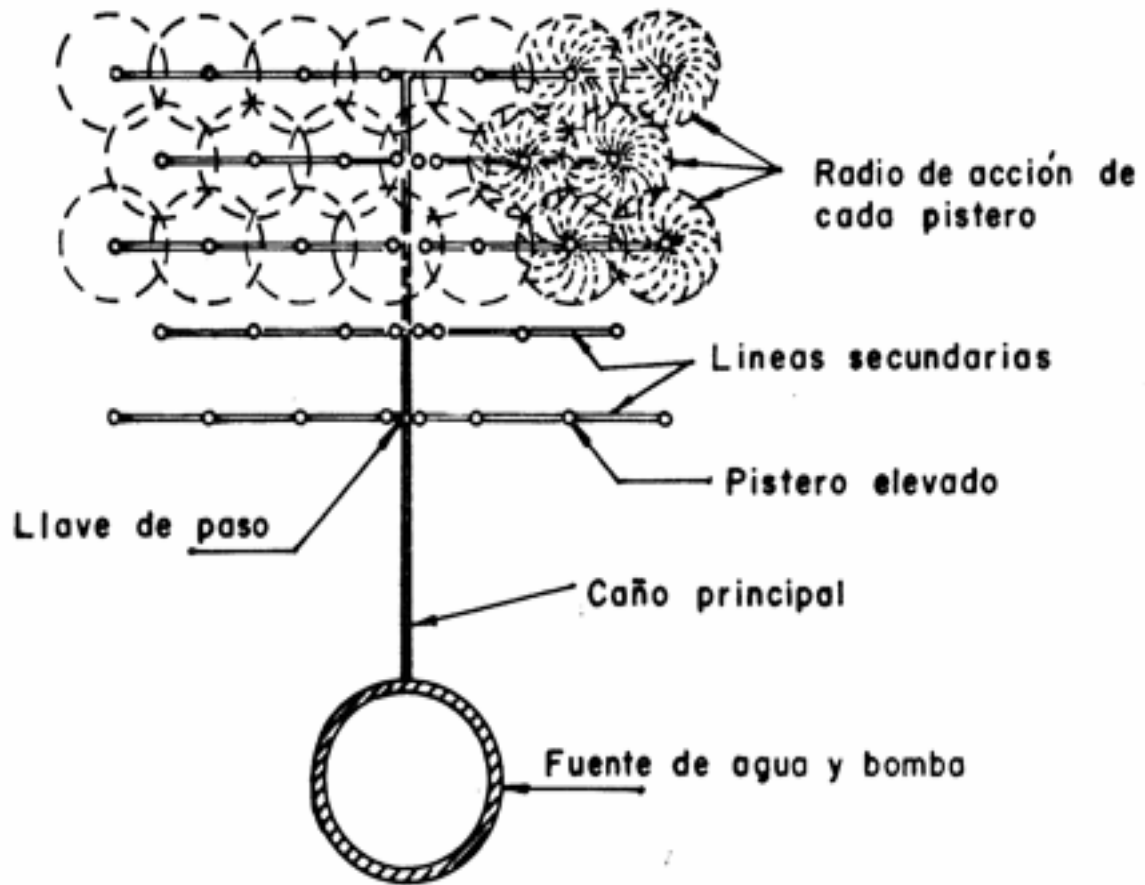


Figura 7. Riego por aspersión.

Ventajas:

1. No se necesita ninguna preparación de la superficie a y regar; puede emplearse con la misma facilidad sobre terrenos de topografía accidentada sobre terrenos llanos.
2. Permite el cultivo de la totalidad del terreno.
3. Ofrece gran flexibilidad en diseño porque hay gran variedad de equipo disponible.
4. Puede emplearse en cualquier tipo de suelo, inclusive en los muy permeables.
5. Generalmente es más eficiente que el riego superficial.
6. Se economiza más agua en comparación con el riego superficial.
7. El riego por aspersión no requiere ninguna destreza particular del regador.
8. Se ajusta muy bien a riego suplementario y se usa para comenzar nuevas cosechas, protección contra heladas y contra el calor.
9. El uso de tubería portátil reduce el costo del equipo, como también facilita su remoción del campo para otras labores.
10. Se pueden aplicar fertilizantes eficientemente por el sistema de aspersión.
11. En lugares de mucho viento, este sistema provee protección en contra de erosión.
12. El sistema radicular de las plantas se desarrolla mejor que con el riego superficial.
13. Los costos de mano de obra son, por lo general, más bajos que los de métodos superficiales.
14. El aforo del agua es más fácil con el sistema de aspersión.
15. El rendimiento de aplicación es mayor.
16. Es posible realizar aplicaciones frecuentes y de pequeños volúmenes, cuando sea necesario.
17. Pone a la disposición de los regadores condiciones de riego muy flexibles, las instalaciones suelen ser individuales o de interés local sin producir dificultades técnicas o financieras como ocurre con otros sistemas.

Desventajas:

1. Costo inicial elevado. Este inconveniente puede ser menos importante de lo que se cree habitualmente. En efecto, las inversiones necesarias para la instalación compiten actualmente con el acondicionamiento eficiente de cualquier otro método de riego. El costo del material y los gastos de colocación pueden compensarse por la eliminación de los trabajos de movimiento de tierra y los gastos de conservación.
2. La evaporación es más intensa, pues las gotas son más finas y el aire más seco. Esto se puede contrarrestar en gran medida regando por la noche.
3. En climas cálidos y donde el agua tiene un alto contenido de sal, cuando se riega con presiones altas, se le puede ocasionar daño a los cultivos.
4. Puede provocar incidencia de enfermedades foliares en cultivos susceptibles. Algunos cultivos pueden sufrir la pérdida de flores debido al impacto del agua. Sin embargo, existen tipos de aspersores que subsanan este defecto.
5. Las boquillas suelen obstruirse evitando que los aspersores no giren. Esto se debe a la basura que entra en el agua o a la que se recoge al acoplar los tubos.
6. Las aspersiones hechas a los cultivos para el combate de plagas y enfermedades, si no se toman las debidas precauciones se pueden lavar. También hay interferencia con la polinización.
7. El viento interfiere según la forma en que se hace la distribución reduciendo su extensión o aumentando la cantidad aplicada cerca del tubo lateral.

4.1 Tipos de sistemas de riego por aspersión

Los sistemas de aplicación por aspersión se clasifican en: fijos o permanentes, semifijos o semipermanentes, y móviles o portátiles según la naturaleza de las partes que lo componen.

4.1.1 Sistema de aspersión manual o portátil

Estos sistemas emplean una tubería lateral con aspersores instalados a intervalos regulares. La tubería lateral es, por lo general, de aluminio, con secciones de 6, 9 o 12 metros, y conexiones especiales de acoplamiento rápido en cada junta del tubo. El

aspersor se instala en un elevador del tubo para que funcione sobre el cultivo (en los huertos, el elevador puede ser corto de manera que los aspersores funcionen por debajo del follaje de los árboles). Los elevadores se conectan al tubo lateral en su acoplamiento con la longitud de sección del tubo que se escoja para que corresponda con la distancia deseada de los aspersores. El tubo lateral del aspersor se coloca en un sitio y se usa hasta que se hayan hecho las aplicaciones deseadas. Entonces, se desarma el tubo lateral y se cambia a la siguiente posición que se va a regar. Este tipo de sistema por aspersión tiene un costo inicial bajo, pero requiere mucha mano de obra. Se puede usar en casi todos los cultivos, aunque con algunos como el maíz, se hace difícil mover las tuberías laterales cuando el cultivo ya está maduro.

4.1.2 Sistema lateral sobre ruedas

Este sistema es una variación de la tubería de aspersión manual. La tubería lateral se monta en ruedas, en la que el tubo forma un eje (se requieren unas acopladores y tubos especialmente fortalecidos para esta aplicación). Se elige la altura de las ruedas de manera que el eje rebase el cultivo cuando se le va moviendo. Se sitúa una unidad de accionamiento, comúnmente un motor accionado con gasolina y enfriado por aire, cerca del centro de la tubería lateral y se usa para mover el sistema de un lugar de riego a otro, sobre ruedas.

4.1.3 Sistema de aspersor viajero con movimientos progresivos

Este sistema utiliza un aspersor (cañón) de alta presión y alto volumen, montado sobre un remolque, con agua que se abastece mediante una manguera flexible o de una zanja abierta a lo largo de la cual pasa el remolque. Se puede colocar el cañón en posición estacionaria durante el tiempo deseado y después cambiarse al siguiente sitio. Sin embargo,

el uso más común es el de movimiento continuo en el que el cañón rocía al moverse. El remolque se puede mover mediante un cable y un malacate, o se puede halar mientras la manguera se enrolla en un carrete a la orilla del campo. El cañón que se usa es, por lo general, un aspersor que forma parte de un círculo que funciona en 80 o 90% del círculo para una mayor uniformidad y permitiendo que el remolque siga adelante sobre tierra seca. Estos sistemas se pueden usar en casi todos los cultivos, aunque debido a las gotas grandes e intensidades altas de aplicación que producen, son mejores en suelos arcillosos y en cultivos que cubren muy bien el terreno.

4.1.4 Sistema de pivote central

El sistema de pivote central consta de una tubería lateral con aspersor sencillo apoyado por una serie de torres. Las torres se auto-impulsan de manera que la tubería lateral gire alrededor del punto del pivote en el centro del área regada. La velocidad de la rotación circular completa fluctúa de medio día a varios días. Mientras más larga sea la tubería lateral, más rápido avanzara el extremo de la lateral y más grande será el área regada por la sección del extremo. Así, la intensidad de la aplicación de agua aumenta con la distancia desde el pivote a fin de entregar una cantidad uniforme en la aplicación. La alta intensidad de aplicación en el extremo de salida del sistema puede ocasionar que se escurra el agua en algunos suelos. Se ha desarrollado especialmente una variedad de productos de aspersion para el uso de estas maquinas para igualar los requisitos de agua, las intensidades de aplicación de agua y características del suelo. Debido a que el pivote central riega en circulo, deja sin regar las esquinas del campo (a menos que se hagan adiciones de equipo especial al sistema). Los pivotes centrales son capaces de regar casi todos los cultivos del campo y en ocasiones se ha usado en viñedos y frutales arbóreos.

4.1.5 Sistemas de movimiento lineal

Los sistemas de movimiento lineal son similares a los de pivote central en su construcción, excepto que ningún extremo de la tubería lateral está fijo. Toda la línea de la tubería se extiende por el campo en dirección perpendicular a la lateral. La entrega del agua a la tubería lateral en constante movimiento se hace mediante una manguera flexible o por captación mediante zanja abierta. El sistema está diseñado para regar los campos rectangulares libres de obstrucciones altas. Tanto los sistemas de pivote central como de movimiento lineal, son capaces de lograr una aplicación de agua con alto rendimiento. Este sistema requiere altas inversiones de capital, pero tiene requisitos bajos de mano de obra para el riego.

4.1.6 Los sistemas de aplicación con presión con baja energía (Sistemas LEPA)

Los sistemas de aplicación con presión con baja energía (LEPA por sus siglas en inglés) son similares a los sistemas de riego de movimiento lineal. Se equipa la tubería lateral con tubas de goteo y dispositivos de emisión por orificio de muy baja presión que descargan el agua por encima exactamente de la superficie del suelo a los surcos. El riego con alta eficiencia es posible, pero requiere velocidades de infiltración muy altas por parte del suelo a fin de evitar que el agua escurra a que no hay a uniformidad a lo largo del surco.

4.1.7 Sistemas de conjunto sólido y sistemas permanentes

Los sistemas de conjunto sólido y sistemas permanentes de aspersión son similares en concepto a los sistemas de aspersión manuales, excepto que se colocan suficientes tuberías laterales en el campo que no es necesario moverla durante la estación. El sistema de conjunto sólido es portátil, usando tubería de aluminio para formar la red de tubos para

el riego. Se ponen bastantes laterales en el campo para cubrir toda el área sin necesidad de moverlos. Las tuberías laterales funcionan mediante válvulas que dirigen el agua dentro de las tuberías laterales para regar durante cualquier momento en particular. Los tubos laterales del sistema de conjunto sólido se mueve hacia el campo al comenzar la estación (después de plantar y, tal vez en el primer cultivo), y no se quitan hasta el final de la estación de riego (antes de cosechar). El sistema de conjunto sólido utiliza la mano de obra disponible al principio y al final de la estación de riego, pero reduce al mínimo las necesidades de mano de obra durante la estación de riego. Un sistema permanente es un sistema de conjunto sólido en el cual las tuberías principales de abasto y las laterales de los aspersores se entierran y se dejan en su sitio permanentemente (esto se hace generalmente con la tubería plástica, (PVC).

4.2 Tipos de aspersores

1. Aspersores rotativos de impacto: Son los más comúnmente usados con una amplia variedad de selección de presión, descargas, espaciamiento y razón de aplicación para diferentes cosechas.
2. Aspersores tipo cañón: Son grandes aspersores rotativos con una descarga de hasta 60 m/h. y una presión de 60 metros. Algunos cubren áreas de hasta una hectárea a la vez.
3. Aspersores de baja razón de flujo: Estos aspersores aplican de 120 a 350 litros por hora con una presión de 15 a 25 metros. Se usan principalmente en riego de árboles frutales.
4. Mini aspersores: Pequeños aspersores que aplican de 30 a 120 litros por hora a una presión entre 15 a 25 metros. Se usan principalmente en hortalizas y viveros.

5.0 RIEGO SUBTERRANEO

Circunstancias favorables a este sistema son: La existencia de un subsuelo impermeable a una profundidad de > 1.8 metros; una parte superficial limosa o limoso-arenosa muy permeable; condiciones topográficas uniformes y pendientes moderadas. En estas condiciones, la regulación adecuada del agua para impedir la acumulación o el exceso de residuos vegetales transportados por la corriente, favorece de ordinario la utilización económica del agua, el elevado rendimiento de las cosechas y el reducido costo de mano de obra del riego.

El riego se aplica mediante acequías expuestas. La capa freática se mantiene a una profundidad predeterminada, normalmente de 30 a 40 centímetros, dependiendo de las características de las raíces de los cultivos.

Las zanjas abiertas son las que probablemente se emplean en mayor escala. Las acequías alimentadoras se excavan en los contornos y las distancias entre ellas deben ser suficientes para mantener y regular el nivel del agua. Se conectan a un canal de abastecimiento que corre hacia abajo, siguiendo el declive predominante del terreno, y que tiene las estructuras necesarias para mantener un nivel conveniente del agua en la canal de toma.

5.1 Adaptabilidad

Es apropiado para los terrenos de textura uniforme y con permeabilidad suficiente para que el agua se movilice con rapidez, horizontal y verticalmente hacia adentro y a una distancia conveniente bajo la zona de las raíces. La topografía debe ser uniforme o casi nivelada, o las pendientes muy suaves y también uniformes. El sistema de riego en el

subsuelo es adecuado para hortalizas, plantas herbáceas, semillas pequeñas y la mayoría de los diferentes tipos de forrajes y flores.

5.2 Características importantes

Este método se emplea en suelos con baja capacidad de retención y alto grado de captación de agua a cuando los sistemas de riego superficiales no puedan utilizarse y el costo del sistema de los riegos a presión sean excesivos. El nivel del agua puede mantenerse a la profundidad óptima según los requisitos de los cultivos en las diferentes etapas de su desarrollo. Las pérdidas por evaporación pueden mantenerse al mínimo. El riego no lleva semillas de malezas a la superficie.

Cuando el sistema emplea tubos subterráneos perforados, por lo que se hace pasar agua a presión para que infiltre el suelo, requiere tuberías con espaciamientos de solo 45 cm, y profundidad de 50 cm; Son costosos y pueden sufrir daños debido a labores profundas de cultivo. Este método solo funciona si el suelo tiene una alta permeabilidad horizontal y que baje verticalmente.

El sistema de distribución del riego subterráneo puede emplearse también como desagüe. Los trabajos de labranza son menores ya que solo se requieren para regular el flujo de la corriente dentro del sistema así como para controlar las estructuras empleadas para mantener el nivel de agua y vigilar el bombeo en caso de que sea necesario.

5.3 Limitaciones

Como este sistema requiere una correlación especial de las condiciones naturales puede emplearse solamente en ciertos tipos de terrenos. El agua con un alto grado de salinización no debe usarse. En algunas regiones áridas los suelos pueden ser salitrosos a menos que no estén drenados adecuadamente. La selección de cultivos es limitada. Las

plantas de raíz profunda, tales como algunas hortalizas y cítricas, generalmente no se prestan para riego subterráneo.

5.4 Riego subterráneo natural

Se llama así, porque las condiciones que lo hacen posible son geológicas o topográficas. Se trata de terrenos más o menos nivelados, con una capa superficial profunda y con gran permeabilidad lateral. Debajo de esta y a una profundidad aproximada de 2 a 7 metros, usualmente se encuentra un substrato rocoso impermeable.

Suelos con estas características pueden llegar a constituir un depósito de agua subterráneo que podrá llevarse por medio de pozos y zanjas de distribución. Con ello se mantiene constante el nivel freático en puntos representativos de la zona de riego, se reemplaza el agua utilizada por la vegetación y la que se pierde por diferentes escapes.

Puesto que todo el movimiento del agua, en el proceso de suministro a las plantas, es ascendente a partir de la capa freática se produce también un ascenso de sales indeseables en el suelo. En regiones con clima cálido donde la lluvia es poca y mal distribuida, se corre el riesgo de que se formen concentraciones de sales perjudiciales en la superficie del suelo o cerca de ella. Si esto sucede, se toman medidas para la lixiviación periódica de los suelos mediante fuertes aplicaciones de agua a la superficie. En este caso se usa el riego por aspersión.

Debe haber un buen drenaje para eliminar las sales lixiviadas en esa forma. En los climas húmedos donde es conveniente el riego complementario en primavera y verano, pero donde se requiere un buen drenaje en invierno y donde los suelos son turbosos o arenosos y muy permeables, la regulación de la capa freática se puede efectuar por medio de zanjas profundas paralelas. En las épocas de lluvias excesivas el agua se elimina por

medio de gravedad o bombeo; parte de ella se almacena en el depósito para volver a distribuirla sobre el terreno por medio de las zanjias en los períodos secos.

6.0 RIEGO POR GOTEO (Vea capítulo VI)

La aplicación de agua es mediante el uso de unos dispositivos mecánicos llamados emisores o goteros localizados en puntos específicos a lo largo de unas líneas distribuidoras del agua. El agua emitida se mueve a través del suelo mayormente por flujo insaturado. De esta forma se mantiene unas condiciones favorables de humedad en la zona radicular de las plantas, propiciándose un desarrollo óptimo del cultivo. Para más detalles vea el capítulo correspondiente en el índice general.

7.0 RIEGO POR GOTEO SUBTERRANEO

Consiste en tener un sistema de riego por goteo a presión en el área de siembra en forma permanente, enterrado a unos 45 cm. El propósito fundamental es evitar los costos de transporte, instalación y desarme de la línea de riego por goteo. Cuando se ubica el sistema permanentemente no perjudica la labranza y resuelve el problema de instalación y movimiento anual o periódico de la tubería. Este sistema cuidadosamente instalado, se calcula que puede durar unos 10 años.

Los componentes de este sistema son básicamente los mismos que los del sistema de riego por goteo convencional:

1. Válvulas manuales o solenoides.
2. Reguladores de presión.
3. Manómetros.
4. Tanque de fertilizantes.
5. Filtros hidrociclónicos, arena o malla.

El sistema puede automatizarse mediante sensores electrónicos de la humedad del suelo instalados a la profundidad de la tubería (45 cm.) y conectados a un regulador computarizado de riego.

Mediante este sistema se pueden aplicar productos químicos por la línea de riego siempre y cuando estos sean altamente solubles.

Para la limpieza se recomienda aplicar agua a presión, fumigantes y herbicidas para impedir la penetración de raíces a los tubos. Las ventajas son:

1. Rendimiento más alto de la cosecha.
2. Conservación de agua y energía.
3. Menos mano de obra.
4. Menos daños a las líneas y al sistema (no hay que recogerla y almacenarla).
5. Mayor duración de las líneas, ya que el plástico no está expuesto a la luz solar.

8.0 RIEGO AL XILEMA (Vea capítulo XX)

Riego al xilema es la aplicación directa del agua con los productos químicos necesarios en el xilema del tronco del árbol usando una serie de inyecciones dependiendo de la edad del árbol. Al riego al xilema se le llama también: ultramicro, alta frecuencia, tensión, inyección al árbol o al tronco, o riego de quimioterapia. No hay diferencia en el concepto que estos nombres representan. La idea básica se origina cuando varios de estos productos se inyectaron dentro del sistema vascular de la planta. Este sistema está en estado de experimentación y no ha sido evaluado comercialmente.

Es simple inyectar agua, fertilizantes, micronutrientes, reguladores e inhibidores de crecimiento, plaguicidas, gases, precursores de sabor, color y aroma y en general cualquier sustancia valiosa para el mejoramiento de la calidad del producto.

9.0 SISTEMAS HIDROPONICOS

El crecimiento de plantas sin suelo se conoce como hidroponía. En nuestra época, entre 1925-1935, ocurrió un desarrollo extensivo para modificar la nutricultura en invernaderos. Cerca de 1930, W.F Gericke, de la Universidad de California, definió hidroponía como la ciencia de cultivar plantas sin el uso de suelo, pero usando un medio inerte como grava, arena, turba, vermiculita o aserrín, entre otros, al cual se le añade una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales para un buen desarrollo de las plantas. Después de la Segunda Guerra Mundial, la Fuerza Aérea de los Estados Unidos continuó usando la hidroponía para proveer comida a las tropas y estableció el primer proyecto de 22 hectáreas en Chofu, Japón. Para la década de los 1950, el uso

comercial de la hidroponía se expandió rápidamente a Italia, España, Francia, Inglaterra, Alemania, Suecia, URSS, Israel y Estados Unidos, entre otros. Esta expansión continuó entre 1950-1970 en Australia, Nueva Zelanda, África del Sur, Koweit, Brasil, Polonia, Singapur, Canadá, Malacia, el Este y el Centro de África y otros países.

Desventajas:

1. El alto costo del capital inicial.
2. Algunas enfermedades como Fusarium y Verticillium.
3. Los problemas con complejos nutricionales.

Ventajas:

1. Una mayor eficiencia en la regulación de nutrimentos.
2. Su disponibilidad en las regiones del mundo con terrenos no arables.
3. Uso eficiente del agua y fertilizantes.
4. Fácil y bajo costo de esterilización de los medios.
5. Una mayor densidad de plantas por área. lo que conlleva a un incremento de la producción por acre (Véase cuadro 4).

El cuadro 5 indica las sales y fertilizantes para usar en hidroponía. La selección particular de una sal dependerá de varios factores y la disponibilidad. En la figura 8, se muestra un sistema hidropónico típico. La aeración y el oscurecimiento de las raíces y el soporte de la planta son requisitos esenciales de los sistemas aeropónicos. La solución nutritiva se bombea a través de un tubo de drenaje en PVC de 10 cm., cubierto con una capa negra de polietileno. El tubo de PVC se corta por la mitad y el polietileno negro se coloca sobre el tope de este para prevenir la entrada de luz. Se le abren hoyos al tope del polietileno a través de los cuales las plántulas crecen en cubos colocados dentro de la solución nutritiva, la cual fluye por el fondo del tubo de PVC. Durante el cambio del cultivo, la cubierta de las plantas se quita y el tubo se lava con un agente blanqueador.

10.0 RESUMEN

La presión demográfica y la necesidad de alimentos adicionales imponen el desarrollo rápido del regadío en todo el mundo; que si bien es de vital interés para las regiones áridas, no hay que olvidar el rol cada vez más importante que desempeña en las regiones húmedas. En muchas regiones la tierra se puede regar con el agua que hay

disponible. Sin embargo, en muchos casos, menos de la mitad del agua aplicada beneficia a los cultivos. Ese desperdicio de agua de riego generalmente daña los suelos por erosión, acumulación de álcali, lixiviación. Además de la erosión, el riego sin control también puede causar problemas graves de drenaje y acumulación de sales en las zonas más bajas. Las pérdidas de agua son mayores cuando se usan canales abiertos, pudiendo llegar hasta 70% del agua aplicada. La mayor parte de esa pérdida es por infiltración y si no se recupera por flujo de retorno, el agua deja de tener utilidad para el agricultor que la compra o bombea. De ahí, la importancia de mejorar los sistemas existentes, buscando lograr la mayor eficiencia en la aplicación del agua. Los investigadores esforzarse por lograr métodos de riego que utilicen solamente el agua requerida por el cultivo, sin desperdicios de nutrientes ni de tierras para riego.

11.0 BIBLIOGRAFIA

1. Bebr, R., 1954. *Hidráulica Agrícola*. Salvat Editores, S.A. Barcelona Madrid. Capítulo 8 páginas 212-220.
2. Jensen, M. E., 1980. *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*. Monograph #3 by American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph MI. Pages 829.
3. Israelson, O. W. y V. E. Hansen, 1965. *Principios y Aplicaciones del Riego*. Editorial Reverte, S.A. Barcelona-Madrid.
4. On-Farm Irrigation Committee of Irrigation and Drainage Division, 1987. *Selection of Irrigation Methods for Agriculture*. American Society of Civil Engineers, New York-NY. Pages 95.
5. Reed, A. D., 1980. Irrigation Costs. Leaflet 2875 October by Division of Agricultural Science, University of California, Berkeley-CA. pages 1-10.
6. Resh, H. M., 1985. *Hydroponics Food Production*. Public. Co., Santa Barbara-CA. 3rd ed. Word bridge Press.
7. Revista "Agricultura de las Américas". Febrero de 1983, febrero de 1984 y julio de 1988.
8. Solomón, K. H., 1988. Selección del sistema de irrigación. Publ. Núm. 880702 – Instituto de Tecnología Agrícola de California, Fresno-CA. Páginas 1-11.
9. Turner, J. H. and C. L. Anderson, 1980. *Planning for an Irrigation System*. American Association for Vocational Instructional Materials, Athens-GA. Pages 120.

Cuadro 4. Incremento de la producción por acre.

Cultivo	Suelo	Hidropónicos
Arroz	1000 libras	5000 toneladas
Avena	1000 libras	2500 toneladas
Batata	4 toneladas	70 toneladas
Gandules	1 tonelada	9 toneladas
Habi. Soya	600 libras	1550 libras
Habichuela	5 toneladas	21 toneladas
Lechuga	9,000 libras	21,000 libras
Papa	8 toneladas	70 toneladas
Pepinillo	7,000 libras	28,000 libras
Repollo	13,000 libras	18,000 libras
Tomate	5-10 toneladas	60-300 toneladas
Trigo	600 libras	4100 toneladas

Cuadro 5. Resumen de los fertilizantes para usar en un hidropónico

Nombre	Peso Molecular	Solubilidad químico/agua	Costo	Nutrientes disponibles
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	132.2	1:2	Moderado	NH_4^+ , SO_4^-
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	132.1	1:2	Moderado	NH_4^+ , HPO_4^{--}
$(\text{NH}_4)_6\text{M}_0\text{O}_{24}$	1163.9	1:2.3	Moderado	NH_4^+ , M_0+6
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2^*$	164.1	1:1	bajo a moderado	Ca^{++} , NO_3^-
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$	252.1	1:60	Bajo	Ca^{++} , H_2PO_4^-
$\text{CaCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	219.1	1:1	Moderado	Ca^{++} , Cl^-
$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$	-	1:300	Bajo	$\text{Ca}^{++}\text{PO}_4^{--}$
$\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	172.2	1:500	Bajo	Ca^{++} , SO_4^{--}
$\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}^*$	249.7	1:5	Bajo	Cu^{++} , SO_4^{--}
$\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	270.3	1:2	--	Fe^{+++} , Cl^-
FeEDTA *	382.1	Muy alto	Moderado	Fe^{++}
$\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	278.0	1:4	--	Fe^{++} , SO_4^{--}
H_3BO_3^*	61.8	1:20	Moderado	B^{+++}
H_3PO_4	98.0	Acido	Alto	PO_4^{--}
K_2SO_4^*	174.3	1:15	Bajo	K^+ , SO_4^{--}
KCL	74.6	1:3	Alto	K^+ , Cl^-
KH_2PO_4	136.1	1:3	Muy alto	K^+ , H_2PO_4^-
KNO_3^*	101.1	1:4	Moderado	K^+ , NO_3^-
$\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}^*$	246.5	1:2	Bajo	Mg^{++} , SO_4^{--}
$\text{MnCl}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$	197.9	1:2	Bajo	Mn^{++} , Cl^-
MnEDTA*	381.2	Muy alto	alto	Mn^{++}
$\text{MnSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}^*$	223.1	1:2	Bajo	Mn^{++} , SO_4^{--}
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$	381.4	1:25	--	B^{+++}
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115.0	1:4	Moderado	NH_4^+ , H_2PO_4^-
NH_4NO_3	80.1	1:1	Moderado	NH_4^+ , NO_3^-
ZnCl_2	136.3	1:1.5	Bajo	Zn^{++} , Cl_2^-
ZnEDTA*	431.6	Muy alto	Moderado	Zn^{++}
$\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	287.6	1:3	Bajo	Zn^{++} , SO_4^{--}

* Recomendable para mezclar en agua.

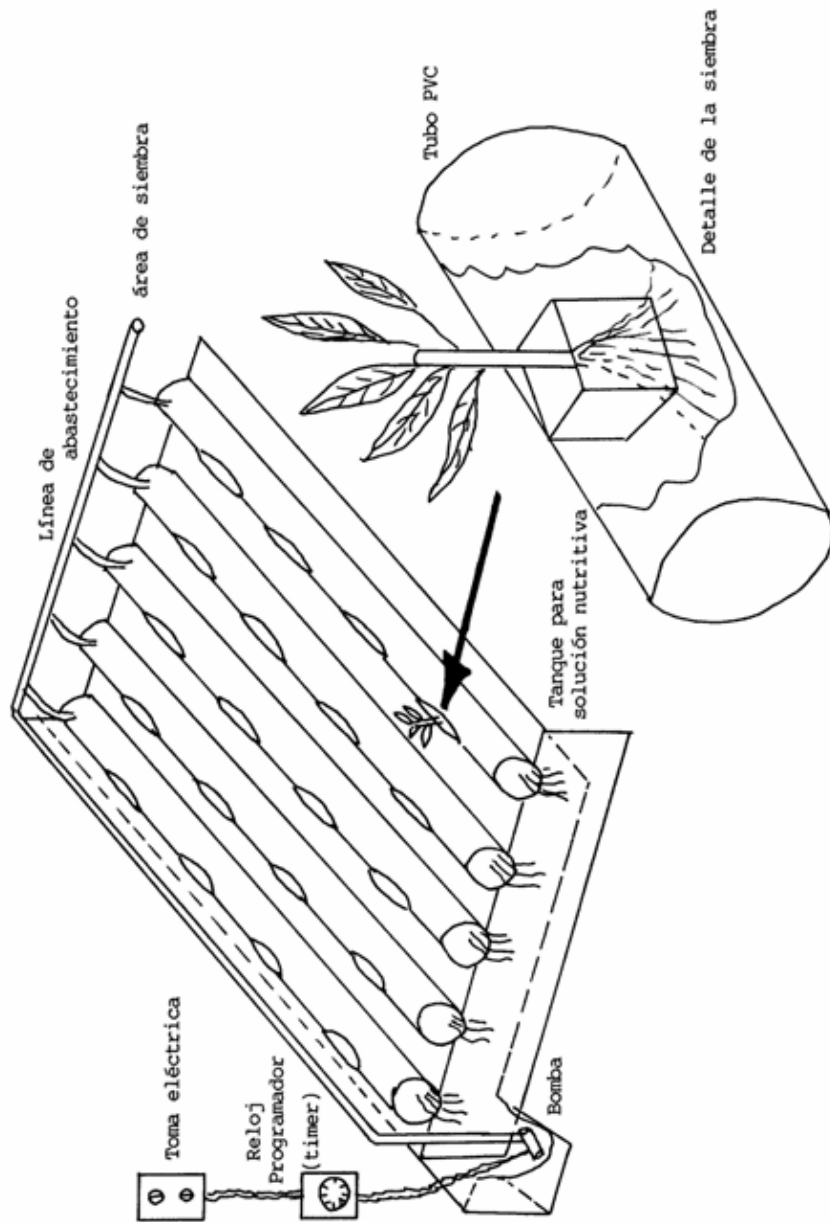


Figura 8. Aspecto general de un sistema hidropónico.