

Manual para planificar la tecnificación del riego parcelario





SECRETARIA
DE MEDIO AMBIENTE
RECURSOS NATURALES Y PESCA



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGIA DEL AGUA

Manual para planificar la tecnificación del riego parcelario

**Juan Enciso Medina
Juan Carlos Herrera Ponce
Efrén Peña Peña**

Junio de 1998

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA
CENTRO DE CONSULTA DEL AGUA

Clasif. 8618

ES3

1998

C.B. 23698

Proced. _____

Fecha 23.08.18

Título

Manual para planificar la tecnificación del riego parcelario

Autores

Juan Enciso Medina

Juan Carlos Herrera Ponce

Efrén Peña Peña

Edición gráfica

Pedro Pacheco Hernández

Mario Alberto Montiel Gutiérrez

Susana Tinoco Oacheco

2ª Edición

ISBN 968-7417-20-X

Diseño de portada y formación

Francisco Salinas

Colección Manuales

Coordinación de impresión

Guillermo Larios

© Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1998

Reservados todos los derechos

Paseo Cuauhnáhuac Núm. 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos

Tel.: (73) 19-40-00 y 18-40 81

Internet: <http://www.imta.mx>

E-mail: cocom@tlaloc.imta.mx

Hecho en México

Made in Mexico

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	1
ÍNDICE DE LÁMINAS.....	3
ÍNDICE DE CUADROS.....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
1 PLANIFICACIÓN DEL RIEGO.....	9
1.1 REQUERIMIENTO DE AGUA DE LOS CULTIVOS	9
1.2 FUENTES DE SUMINISTRO DE AGUA	12
1.3 DISPONIBILIDAD DE AGUA	13
1.3.1 <i>Medición del volumen de agua (lago o pileta)</i>	13
1.3.2 <i>Medición del gasto de una corriente superficial</i>	15
1.3.2.1 Método de área y velocidad	15
1.3.2.2 Vertedores	20
1.3.2.3 Módulos para medición y control	27
1.3.3 <i>Medición del gasto en la descarga de una bomba</i>	28
1.3.3.1 Escuadra.....	28
1.3.3.2 Medidor de hélice	29
1.3.3.3 Medición de niveles del agua en acuíferos subterráneos.....	32
1.4 CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO Y DRENAJE	33
1.4.1 <i>Salinidad</i>	33
1.4.2 <i>Sensibilidad de las plantas a algunos iones</i>	36
1.4.3 <i>Drenaje</i>	36
1.4.4 <i>Contaminación del agua</i>	38
2 SELECCIÓN DE MÉTODOS DE RIEGO.....	45
2.1 LOS MÉTODOS DE RIEGO	45
2.1.1 <i>Descripción de los métodos de riego</i>	45
2.1.1.1 Riego superficial	46
2.1.1.2 Riego presurizado	47
2.1.1.3 Subsuperficial	48
2.1.2 <i>Factores que afectan la selección de los métodos de riego</i>	49
2.1.2.1 Características del cultivo	49
2.1.2.2 Pendiente del terreno.....	50
2.1.2.3 Relieve del terreno	50
2.1.2.4 Velocidad de infiltración básica del agua en el suelo.....	51
2.1.2.5 Efecto de la capacidad de retención de humedad.....	52
2.1.2.6 Salinidad del suelo y del agua.....	52
2.1.2.7 Acción del viento.....	53
2.1.2.8 El gasto disponible.....	54
2.1.2.9 El costo del agua.....	54
2.1.2.10 Los objetivos del productor	55
2.1.3 <i>Ejemplos de selección de métodos de riego</i>	56
2.2 EL MÉTODO DE RIEGO SUPERFICIAL (GRAVEDAD).....	57
2.2.1 <i>Elementos básicos del sistema superficial</i>	57
2.2.2 <i>Descripción de los sistemas de riego superficiales</i>	59
2.2.3 <i>Factores que afectan la selección del sistema de riego superficial</i>	64
2.2.3.1 Melgas a nivel (rectas y en contorno)	64
2.2.3.2 Melgas con pendiente.....	65
2.2.3.3 Cuadros y cajetes	65
2.2.3.4 Surcos a nivel (rectos y en contorno).....	66
2.2.3.5 Surcos con pendiente	66

2.2.3.6 Corrugaciones	67
2.3.1 Elementos básicos del método de riego presurizado	68
2.3.2 Descripción de los sistemas de riego presurizado	73
2.3.2.1 Sistemas de goteo.....	73
2.3.2.2 Sistemas de borboteo	75
2.3.2.3 Sistemas de microaspersión	75
2.3.2.4 Sistemas de aspersión.....	76
2.3.3 Factores que afectan la selección del sistema de riego presurizado	82
2.3.3.1 Sistemas de goteo de emisor puntual (individual).....	82
2.3.3.2 Sistemas de goteo de emisión continua (cinta)	83
2.3.3.3 Sistemas de microaspersión	83
2.3.3.4 Sistemas de aspersión semifijo.....	84
2.3.3.5 Tubería rodante mecanizada (<i>Side roll</i> y <i>Power roll</i>)	85
2.3.3.6 Tubería regante (pivote central y avance frontal).....	85
2.3.3.7 Sistema de aspersor móvil (cañón viajero).....	86
2.4 NIVELACIÓN DE TIERRAS	89
3 ANÁLISIS ECONÓMICO DE ALTERNATIVAS DE TECNIFICACIÓN	93
3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	93
3.2 DETERMINACIÓN DEL COSTO INICIAL.....	95
3.3 DETERMINACIÓN DEL COSTO ANUAL DE DEPRECIACIÓN	95
3.4 DETERMINACIÓN DEL COSTO ANUAL DE OPERACIÓN	98
3.5 DETERMINACIÓN DEL RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	100
3.6 EN CASO DE FINANCIAMIENTO	102
3.6.1 <i>Parámetro de decisión</i>	104
BIBLIOGRAFÍA.....	107

ÍNDICE DE LÁMINAS

1. Estructuras de medición y control
2. Área superficial media
3. Curva de área-caplacidades
4. Tanque para aumentar el gasto
5. Área de la selección
6. Velocidad en la selección transversal y vertical de la corriente
7. Área transversal (regaderas)
8. Medición con flotador en regadera de tierra con hierba
9. Instalación de un vertedor de cresta afilada
10. Vertedor rectangular
11. Módulo Acuacontrol típico
12. Aforo en la tubería de descarga de un pozo
13. Medidor de hélice
14. Acuíferos confinado y no confinado
15. Medición con sonda de los niveles de un pozo profundo
16. Efecto del exceso de agua en la zona de raíces
17. Drenaje superficial
18. Drenaje subterráneo
19. Sistema de riego de cañón móvil para regar caña
20. Sistema de riego de microaspersión para cítricos
21. Sistema de riego por goteo en vid
22. Riego subsuperficial en canales abiertos
23. Riego subsuperficial con cinta enterrada para hortalizas
24. Velocidad de infiltración en suelos de textura gruesa y fina
25. Influencia de la velocidad del viento en la uniformidad de aplicación del aspersor
26. Medición del consumo de energía de un equipo de bombeo
27. Elementos de un sistema de riego superficial
28. Pileta y canal de concreto para conducir el agua por gravedad; medición con molinete
29. Represa y estructura (con compuerta) para entregar el agua a la parcela
30. Elementos de un sistema de riego de melgas a nivel rectas
31. Melgas a nivel en contorno
32. Sistema de riego de melgas con pendiente

33. Melgas con pendiente, regadas con tubería de compuerta
34. Patrón de mojado en surcos
35. Tuberías de compuertas para aplicar el agua a los surcos
36. Sistema de riego de surcos a nivel rectos regados con sifones
37. Sistema de riego por corrugaciones
38. Elementos básicos de un sistema de riego presurizado
39. Elementos de un sistema de riego por goteo
40. Bomba propulsada por un motor eléctrico
41. Bomba propulsada por un motor diesel
42. Energía solar como sustituto de la energía eléctrica para el control de válvulas
43. Unidad de control autónomo para programar y registrar los volúmenes de agua y fertilizante
44. Válvula para controlar los distribuidores de la sección de riego
45. Unidad de control de una sección de riego
46. Sistema de filtrado con hidrociclones y filtros de mallas
47. Filtros de grava y de mallas para agua de un canal o de un río
48. Gotero de emisión puntual insertado en la tubería
49. Goteros en línea para regar vid
50. Cinta regante
51. Cinta regante de polietileno con regulador de presión
52. Acolchado que cubre a la línea regante para evitar el crecimiento de malas hierbas
53. Microaspersor de estrella
54. Microaspersor rotatorio
55. Sistema de riego por aspersión
56. Válvula de hidratante
57. Acoplamiento rápido de tuberías de aluminio
58. Sistema de riego por cañón autopropulsado
59. Sistema de riego por pivote central
60. *Land plane* utilizado para emparejar suelos ligeramente desnivelados
61. Máquina con cuchilla para mover grandes volúmenes de tierra
62. Equipo para nivelación con rayo *laser* colocado en el centro del terreno.

ÍNDICE DE CUADROS

- 1 Evapotranspiración de diseño diaria y requerimiento durante el ciclo (mm)
- 2 Características económicas de los sistemas de riego presurizado
- 3 Fórmulas para el gasto de los vertedores más comunes
- 4 Gasto para vertedor triangular de 90°
- 5 Gasto para vertedor rectangular sin contracción (m³/s)
- 6 Gasto para vertedor rectangular con contracciones (m³/s)
- 7 Gasto en tubo lleno (lps)
- 8 Porcentaje de área con respecto a tubo lleno (lps)
- 9 Clasificación de suelos con base en su extracto de saturación
- 10 Directrices para interpretar la calidad del agua para riego
- 11 Concentración de Ca^c corregida por HCO₃/Ca y CE
- 12 Tolerancia relativa de algunos cultivos a la salinidad
- 13 Tolerancia relativa de algunos cultivos al porcentaje de sodio intercambiable
- 14 Tolerancia de algunos cultivos al cloro
- 15 Tolerancia de algunos cultivos al boro
- 16 Clasificación de los métodos de riego
- 17 Velocidad de infiltración básica del agua y capacidad de retención en el suelo
- 18 Mano de obra requerida ((h/ha)
- 19 Factores que afectan la selección del método de riego
- 20 Factores que afectan la selección del sistema de riego superficial
- 21 Factores que afectan la selección del sistema de riego presurizado
- 22 Factores que afectan la selección del sistema de riego localizado
- 23 Factores que afectan la selección del sistema de riego por aspersión
- 24 Forma de costo y retorno (información general)
- 25 Factor de costo anual de depreciación, FCAD
- 26 Cálculo del costo anual de depreciación
- 27 Conversiones de consumo de energía y aceite
- 28 Factor de costo de financiamiento

INTRODUCCIÓN

El manual para *Planificar la tecnificación del riego parcelario* se preparó como material técnico de apoyo para el Programa de Desarrollo Parcelario y está dirigido a usuarios y a técnicos que deseen realizar cambios tecnológicos en la parcela con el fin de mejorar sus ingresos por unidad de agua aplicada. El manual describe las diferentes alternativas de tecnificación para hacer un mejor uso del agua en la parcela; proporciona una metodología para hacer un análisis económico de estas alternativas; y finalmente sugiere cómo tomar una decisión para seleccionar la mejor alternativa. El manual se dividió en tres secciones. En la primera se describen de manera general, los conceptos básicos de la planeación agrícola para fines de riego, tales como: la estimación de las cantidad de agua demandada por las plantas; la medición del agua; la relación entre agua demandada y disponible; el efecto de la calidad del agua en la producción; y las necesidades de drenaje. En la segunda sección se describen los métodos de riego; y los factores que influyen en su selección. En la tercera parte se describen varios parámetros económicos tales como la relación beneficio costo y la tasa interna de rendimiento para seleccionar el mejor método o nivel de tecnificación del riego.

En la sección de selección de alternativas de tecnificación del riego, se ha tratado de enmarcar a los sistemas de riego superficiales (por gravedad), en suelos con textura de media a pesada, mientras que a los sistemas presurizados en suelo con textura de media a ligera. Sin embargo, es importante mencionar que un experto en riego debe tener capacidad para diseñar el sistema para que funcione con alta eficiencia y costos bajos, aun bajo condiciones de poca adaptación.

La información técnica sobre los sistemas de riego que se utilizó para elaborar el instructivo, corresponde a la reportada en la bibliografía; la obtenida en trabajos de campo durante el desarrollo del Plan Nacional de Mejoramiento Parcelario; así como las sugerencias de las diferentes compañías de riego, centros de investigación y universidades.

1 PLANIFICACIÓN DEL RIEGO

1.1 Requerimiento de agua de los cultivos

Cuando se tecnifica el riego, en general, se tienen en mente diversos objetivos, tales como: el ahorro en la mano de obra; el aumento de la productividad; la disminución de los costos de producción; el mejoramiento de la calidad del producto; la aplicación rápida del agua, etcétera. El primer factor que se considera para tecnificar el riego, es el requerimiento de agua del cultivo durante su ciclo vegetativo (Cuadro 1). En este cuadro se presenta el requerimiento de riego de los cultivos aproximado y se puede emplear con fines de planificación¹.

Ejemplo. Obtener el volumen de agua total que requieren 20 ha de vid en Torreón, Coahuila.

Solución. Ingresando en el cuadro 1 con el cultivo y el tipo de clima (desierto alto para Torreón), se obtiene el requerimiento de riego para la vid de 508 mm, por lo que:

$$\text{Volumen requerido} = 20 \text{ ha} * \frac{10,000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} * 0.508 \text{ m} = 101,600 \text{ m}^3$$

En ocasiones se dispone de todo el volumen de agua que requiere el cultivo; sin embargo, no se puede suministrar con la rapidez suficiente; tal es el caso del agua almacenada en un acuífero subterráneo, donde el pozo sólo puede suministrar cierto volumen de agua; o el caso de las presas, las cuales tienen almacenado un volumen de agua que sería suficiente para regar una superficie. Sin embargo, sus canales no pueden suministrar el volumen requerido por los cultivos en su periodo de mayor demanda, por falta de capacidad. Por lo anterior, es necesario conocer el día del ciclo vegetativo del cultivo de mayor demanda de agua, conocida como evapotranspiración de diseño (pico) para determinar el gasto requerido (cuadro 1).

Ejemplo. Calcular la capacidad (gasto) de la toma de agua de una parcela ubicada al margen de un canal. La toma de agua deberá tener un gasto para proporcionar agua a las 20 ha de vid en el día de mayor demanda. El Distrito de Riego sólo puede entregar el agua cada 7 días.

Solución. El cultivo requiere 5.6 mm en el día de mayor demanda (cuadro 1) por lo que:

¹ Para mayor referencia consultar el *Anexo técnico de cuándo y cuánto regar*, IMTA (1993) o el *Manual No. 24*, FAO (1984).

El gasto requerido:

$$\text{Gasto req.} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

$$= 1,120,000 \text{ l / dia} * \frac{7 \text{ dias}}{86,400 \text{ s}} = 90.7 \text{ l / s}$$

El gasto de 90.7 l/s se debe recibir durante un día para satisfacer la demanda de siete días

Cuadro 1 Evapotranspiración de diseño diaria y requerimiento durante el ciclo (mm)

Cultivo	Tipo de clima									
	Frío		Moderado		Caliente		Desierto alto (> 500 msnm)		Desierto bajo (<500 msnm)	
	Diario	Ciclo	Diaria	Ciclo	Diaria	Ciclo	Diaria	Ciclo	Diario	Ciclo
Alfalfa	5.1	635	6.4	762	7.6	914	8.9	1016	10.2	1219
Pasto	4.6	508	5.6	610	6.6	711	7.6	762	8.9	914
Grano	3.8	381	5.1	457	5.8	508	6.6	533	5.8*	508*
Betabel	4.6	584	5.8	635	6.9	711	8.1	732	9.1	914
Frijol	4.6	330	5.1	381	6.1	457	7.1	508	7.6	559
Maíz	5.1	508	6.4	559	7.6	610	8.9	660	10.2	762
Algodón	-	-	6.4	559	7.6	660	-	-	10.2	813
Chicharo	4.6	305	4.8	330	5.1	356	5.6	356	5.1**	356**
Tomate	4.6	457	5.1	508	5.6	559	6.4	610	7.1	660
Papa	4.6	406	5.8	457	6.9	553	8.1	584	6.9**	533**
Vegetales	4.1	305	4.6	356	5.1	406	5.6	457	6.3**	508**
Melón	4.1	381	4.6	406	5.1	457	5.6	508	6.4**	559**
Fresa	4.6	457	5.1	508	5.6	559	6.1	610	6.6	660
Cítricos	4.1	508	4.6	559	5.1	660	-	-	5.6	711
Cítricos con cáscara	5.1	635	5.6	711	6.4	813	-	-	6.9	889
Caducifolios	3.8	483	4.8	533	5.8	584	6.6	635	7.6	762
Caducifolios con cáscara	5.1	635	6.4	711	7.6	813	8.9	914	10.2	1016
Vid	3.6	356	4.1	406	4.8	457	5.6	508	6.4	610

Fuente: Keller y Blietner (1993).

Ejemplo. Calcular el tiempo de operación de un equipo de bombeo para regar 62 ha de tomate en Culiacán, Sin. (clima caliente). El gasto del pozo es de 63 l/s.

Solución. El cultivo requiere 559 mm durante todo el ciclo vegetativo (cuadro 1) por lo que el tiempo de bombeo es:

$$\begin{aligned}
 \text{Tiempo} &= \frac{\text{Lamina} * \text{Superficie}}{\text{Gasto}} \\
 &= 0.559 \text{ m} * \frac{620,000 \text{ m}^2}{0.063 \text{ m}^3 / \text{s}} * \frac{1}{3600} \\
 &= 1,528 \text{ hr}
 \end{aligned}$$

En estos ejemplos se supuso que toda el agua entregada fue utilizada por el cultivo; pero en realidad, siempre hay pérdidas de agua hacia fuera de la zona de raíces que pueden ser por: percolación profunda, escurrimientos o evaporación. Las pérdidas de agua varían de acuerdo con el sistema de riego. Un sistema de riego presurizado tendrá menos pérdidas de agua que un sistema de riego por superficie. El cuadro 2 presenta las características de ahorro de agua respecto al riego por gravedad; los costos de inversión de cada sistema de riego; y el incremento de la utilidad respecto al riego por gravedad.

Cuadro 2 Características económicas de los sistemas de riego presurizado

CARACTERÍSTICAS	COSTO/ha (nuevos pesos)					
	ASPERSION				LOCALIZADO	
	Semi-portátil	Power roll	Fijo	Continuo	Micro-aspersión	Goteo
Costos de inversión	3500	5500	5500	6500	6500	6500
Costos de operación y mantenimiento	150	100	80	100	80	80
Ahorro de agua respecto al riego por gravedad (%)	25	25	25	30	40	40
Ahorro de mano de obra respecto al riego por gravedad	5	50	60	70	80	80
Incremento en utilidad respecto al riego por gravedad	29	46	46	57	69	69

Fuente: Palacios Velez *et al.* 1994.

1.2 Fuentes de suministro de agua

Las principales fuentes de abastecimiento de agua para riego son: los ríos, los lagos, los pozos profundos, así como canales y tuberías que se alimentan de presas.

Canales y tuberías: las tierras regadas con el agua almacenada en una presa están organizadas en Distritos y Unidades de riego. La Comisión Nacional del Agua controla el agua que se extrae de la presa, el canal principal (red mayor) y entrega el agua en bloque en los puntos de control a los usuarios organizados. El punto de control es una estructura donde se afora el agua, normalmente localizada al inicio de un canal terciario.

Para hacer uso del agua se debe tener una concesión o derecho a una dotación volumétrica (es transferible). Los técnicos de las asociaciones de usuarios operan los canales terciarios y entregan el agua en las tomas de los predios. Para un mejor control de los canales se requieren estructuras represadoras como el vertedor pico de pato (lámina 1a), las compuertas abatibles y las compuertas deslizantes movidas electrónicamente o hidráulicamente. Para medir el agua se requieren compuertas de orificio como las Miller, las compuertas dobles (lámina 1b), y las estructuras acuacontrol. Los usuarios que desperdician menos agua al regar con más eficiencia riegan más superficie con la misma dotación de agua.



Lámina 1 Estructuras de medición y control

a) Estructura pico de pato (vertedor cresta larga)

b) Compuerta doble para medir el agua entregada a la toma

Ríos: el volumen de agua que conduce un río varía con la estación del año, por lo que se requerirá revisar los datos históricos de los gastos conducidos y estudiar la factibilidad de almacenar temporalmente el agua en una pileta.

Lagos y represas: para utilizar el agua es necesario conocer su disponibilidad y la superficie que se puede regar.

Pozos profundos: una gran superficie es regada con el agua de pozos profundos; en general, el gasto extraído del acuífero es muy confiable, pues varía poco durante el año. Para hacer uso legal de estas fuentes de abastecimiento de agua es necesaria una concesión o autorización de la Comisión Nacional del Agua (CNA).

1.3 Disponibilidad de agua

Una vez conocida la cantidad de agua que requiere el cultivo; es necesario verificar que la fuente de agua proporcione suficiente cantidad. Para conseguir esto se debe conocer el volumen de agua disponible; el tiempo en que se puede suministrar; y la cantidad de agua que llega a la parcela a través del sistema de conducción.

Si el agua es de una pileta o de un lago, el volumen disponible se obtiene con:

$$\text{Volumen} = \text{Area} \times \text{Profundidad media}$$

El gasto es el volumen de agua que pasa a través de la sección transversal de una corriente por unidad de tiempo; se determina con algún método de medición.

$$\text{Gasto} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

A continuación se describen algunos métodos para determinar la cantidad de agua disponible considerando lo siguiente: medición del volumen de agua (lago o pileta); medición del gasto de una corriente superficial; y medición del gasto en la descarga de una bomba.

1.3.1 Medición del volumen de agua (lago o pileta)

El volumen de agua disponible en un lago o una pileta depende de su área superficial y profundidad medias.

- a) Área superficial media: mida una superficie rectangular aproximada sobre la figura del lago. Si el ancho y largo promedio son respectivamente 190 y 230 m (lámina 2):

$$\text{Area media} = 190 \text{ m} * 230 \text{ m} = 43,700 \text{ m}^2$$

- b) Profundidad media: mida la profundidad máxima desde la superficie del agua al punto más hondo. Para pequeños lagos la profundidad media es aproximadamente 0.4 veces la profundidad máxima. Suponiendo una profundidad máxima de 5 m:

$$\text{Profundidad media} = 0.4 * 5 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

- c) Volumen bruto: multiplique la superficie y la profundidad medias:

$$Volumen = 43,700 \text{ m}^2 * 2 \text{ m} = 87,400 \text{ m}^3$$

d) Volumen disponible: considerando un 20% de pérdidas por evaporación y percolación profunda en el lago:

$$Volumen_{disp} = 87,400 \text{ m}^3 (0.8) = 69,920 \text{ m}^3$$

En caso de requerir mayor precisión en la estimación del volumen almacenado, se deberá obtener un mapa con las curvas de nivel del vaso. Después se deberá elaborar una curva de área-capacidades, que indique la relación entre la elevación del agua y la capacidad de almacenamiento (lámina 3). Si el lago es alimentado con agua de lluvia o escurrimientos, se deberá hacer un estudio donde se registren las entradas.

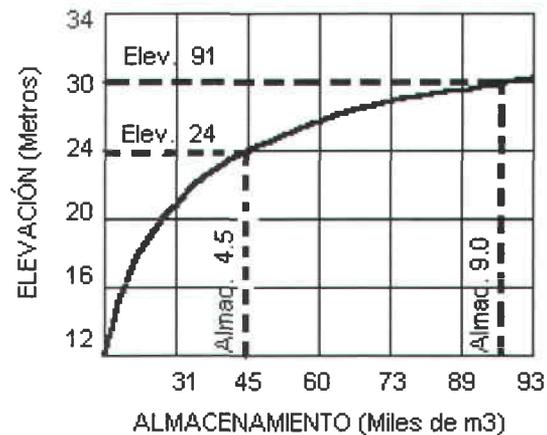


Lámina 2 Área superficial media

Lámina 3 Curva de área-capacidades

En el riego superficial (surcos y melgas) se requieren gastos grandes, para que el agua avance sobre el suelo sin que se infiltre tan rápido y así lograr eficiencias altas. Sin embargo, es frecuente que el gasto disponible no sea lo suficientemente grande, tal como ocurre en algunos pozos y canales con tomas pequeñas. Bajo esta circunstancia es recomendable utilizar un tanque o pila para almacenar el agua y poder aumentar el gasto (lámina 4).

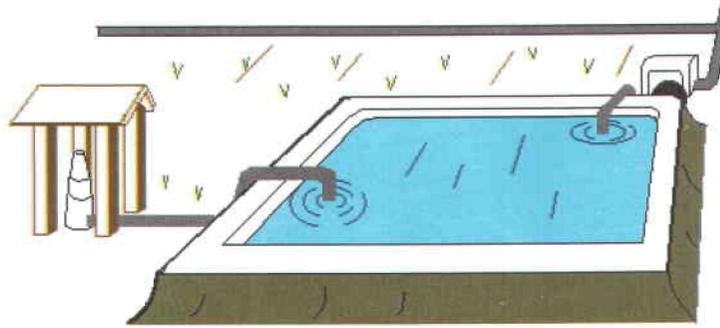


Lámina 4 Tanque para aumentar el gasto.

1.3.2 Medición del gasto de una corriente superficial

El agua se conduce del punto de control a la parcela mediante canales y regaderas (revestidos o de tierra). La medición o aforo del agua se puede realizar con los vertedores o con los métodos de área y velocidad.

1.3.2.1 Método de área y velocidad

Este método consiste, en términos generales, en medir el área de la sección transversal de la corriente y la velocidad media del flujo para obtener el gasto como el producto del área y la velocidad. La velocidad se mide con flotador o con molinete.

a) Área de la sección transversal

El área de la sección transversal de la corriente puede ser regular o irregular (canal revestido o de tierra). En ambos casos, el área total se determina dividiendo la sección en franjas que pueden ser de igual o diferente ancho. El ancho de cada franja depende del ancho del cauce y de la variación de la velocidad en la sección transversal.

Es recomendable que para canales de tierra con ancho menor de cuatro metros, el ancho de la franja no sea mayor de 1.0 m; si el ancho del cauce es menor de diez metros, la franja no debe ser mayor de 2.0 m. En canales revestidos se considera, además, la influencia del talud para definir el ancho de las franjas; es decir, deben resultar franjas completas sobre la plantilla y los taludes del canal.

El área de cada franja se obtiene con:

$$A_i = a \bar{y}$$

Donde: A_i = área de franja;
 a = ancho de franja
 $\frac{a}{y}$ = profundidad
 media.

La profundidad media se calcula con:

$$\frac{a}{y} = \frac{A + 2B + C}{4}$$

Donde A , B y C son respectivamente los tirantes inicial, medio :

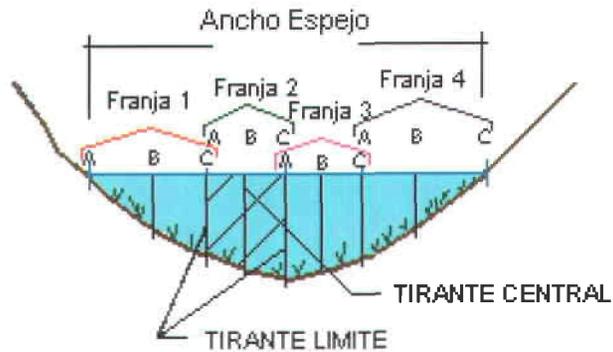


Lámina 5 Área de la sección

b) *Velocidad en la sección transversal*

En la sección transversal de una corriente se presentan curvas que unen puntos con la misma velocidad. Por lo general la velocidad máxima tiende a presentarse en el centro de la sección, mientras que las velocidades mínimas en las orillas y en el fondo del cauce, debido a la fricción de las partículas de agua con las paredes del cauce. A lo ancho de la sección, la velocidad es más variable, mientras más irregular sea el fondo (lámina 6).

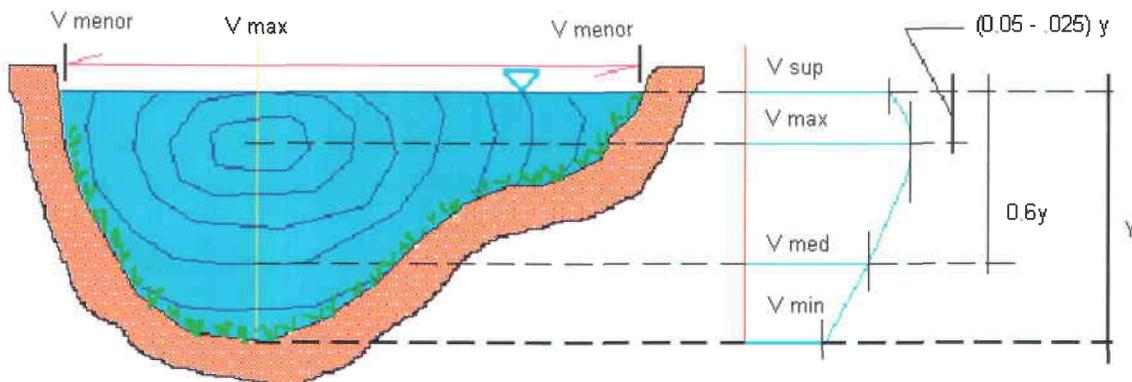


Lámina 6 Velocidad en la sección transversal y vertical de la corriente

Ya que la velocidad varía a lo ancho de la sección transversal y sobre cada vertical, se debe dividir la sección en franjas verticales y medir la velocidad en la vertical central de cada una de ellas, repitiendo la medición al menos tres veces. A continuación se describen tres métodos fáciles y precisos para obtener la velocidad media en una vertical:

i) Si se promedian las velocidades obtenidas a dos y ocho décimos de profundidad se obtiene una estimación muy precisa. Este método se recomienda cuando varíe mucho la velocidad en la vertical o para tirantes mayores de 1.0 metro.

ii) Para tirantes menores de 1.0 m o para poca variación de la velocidad en la vertical, se recomienda medir la velocidad a seis décimos de profundidad.

iii) Para pequeñas regaderas con área transversal menor de 0.8 m², en las que no varíe mucho la velocidad se recomienda multiplicar la velocidad superficial por un coeficiente que varía de 0.85 a 0.95.

c) *Gasto total del cauce*

Como se dijo anteriormente, dividir la sección transversal en franjas tiene como objetivo medir con mayor precisión el área y la velocidad. La precisión del gasto obtenido depende de estas mediciones.

El gasto por franja (q_i) se calcula multiplicando el área y velocidad de cada franja:

$$q = A * v$$

El gasto total (Q_T) es simplemente la suma de los gastos parciales q_i :

$$Q_T = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n$$

d) *Flotador y molinete*

En los métodos de área y velocidad se emplea el flotador o el molinete para medir la velocidad. Con el flotador se estima el gasto en corrientes pequeñas, como regaderas, con gasto de ± 100 lps. El molinete se utiliza en corrientes más grandes², donde la sección transversal se debe dividir en franjas para determinar en cada una su área y velocidad (es más preciso que el flotador). A continuación se describe el método para aforo con flotador.

Flotador: es un objeto más ligero que el agua; puede ser un trozo de madera, una pelota de esponja o un pequeño bote cerrado con un peso en su interior; de color naranja o amarillo, para que sea más visible. La medición con flotador requiere poco tiempo, con respecto al molinete; sin embargo, para que sea lo más confiable posible, el flotador debe adquirir una velocidad muy cercana a la velocidad superficial del agua. Esto no se consigue cuando las condiciones de viento son adversas; es decir, si la dirección del viento es contra el flujo, la velocidad del flotador disminuye, y en caso contrario, aumenta.

Área: si la sección transversal es muy irregular se debe dividir en al menos dos franjas para obtener su área. Pero si el fondo del cauce se aproxima a una parábola, como en el caso de regaderas recién abiertas (lámina 7), el área se puede estimar con:

²

Para mayor referencia consultar el *Instructivo para aforo con molinete*, IMTA (1993).

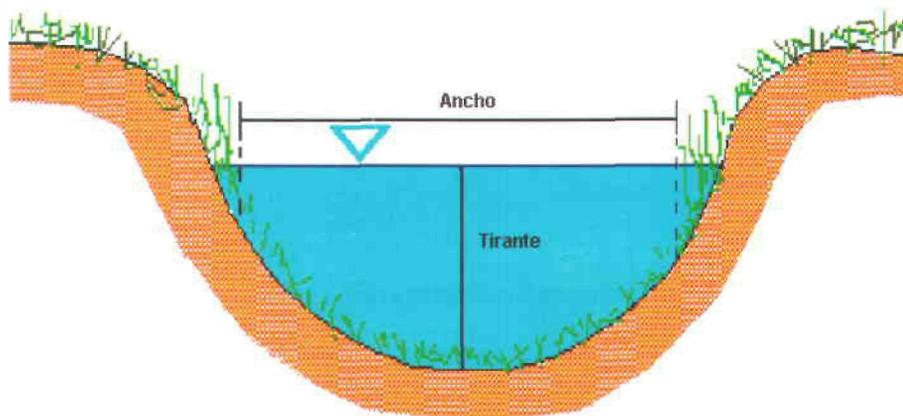


Lámina 7 Área transversal (regaderas)

Donde: A_T = área sección transversal (m^2);
 a = ancho espejo del agua (m);
 y = profundidad máxima (m).

Velocidad: la medición con flotador se basa en obtener la velocidad media de la corriente a partir de la velocidad superficial; por esta razón el flotador se debe emplear para medir en forma gruesa la velocidad de corrientes que conducen gastos pequeños (± 100 lps), para gastos mayores es preferible el molinete o alguna estructura de mayor precisión.

$$V_m = KV_s$$

Donde: V_m = velocidad media de la corriente (m/s);
 V_s = velocidad superficial de la corriente (m/s);
 K = varía de 0.85 a 0.95 (adm).

K depende de las condiciones del viento; $K= 0.80$, cuando no se presenta viento; $K= 0.90$, si el viento frena el movimiento del flotador; y $K= 0.85$, en caso contrario.

Para medir el gasto con flotador se realiza lo siguiente (lámina 8):

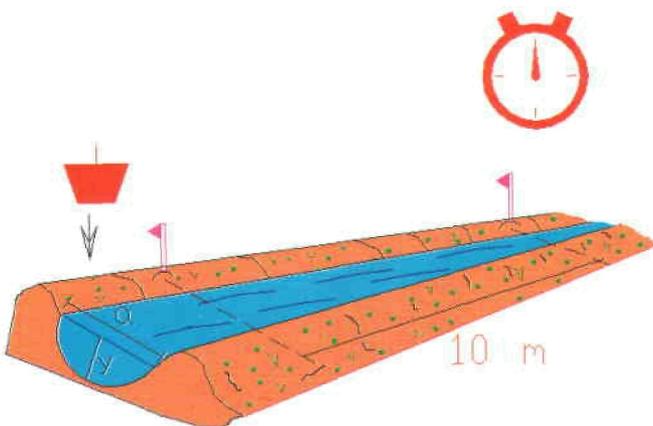
1) En gabinete: verificar que se disponga de flotador, cronómetro, cinta métrica y varilla (1.0m).

- 2) En campo: seleccionar un tramo lo más recto posible, con una longitud (L) de al menos 10 m; con la sección transversal lo más regular; alejado de rápidas o curvas; y en el que el agua corra libremente, es decir que no este remansada.
- 3) Marcar con estacas los puntos inicial, medio y final del tramo.
- 4) Medir el área de la sección transversal en los puntos marcados; si el fondo es regular se puede aproximar a una parábola; pero si es muy irregular se debe dividir en al menos dos franjas.
- 5) Arrojar el flotador a la corriente unos metros antes del punto inicial del tramo para que cuando pase por éste, ya haya alcanzado la velocidad superficial del flujo; el flotador se debe desplazar por el centro del espejo de agua del tramo seleccionado.
- 6) Calcular la velocidad de flotador, a partir del tiempo (t) de recorrido en el tramo L . Repetir al menos tres veces la medición del tiempo.

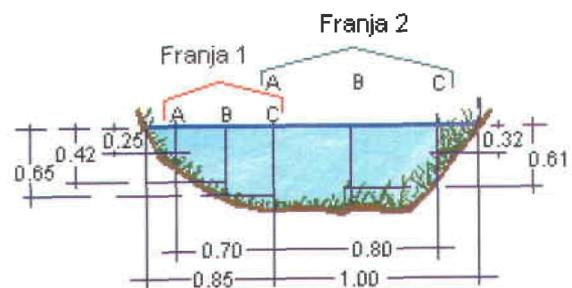
Ejemplo: obtener el gasto de una regadera de tierra con fondo irregular y hierba, si la medición se realizó con un flotador; no se presentó efecto del viento; se consideró un tramo de 10 m y se registró un tiempo promedio de recorrido del flotador de 50 segundos, para las tres lecturas de tiempo (lámina 8a).

Solución: para medir el área de la sección transversal de esta regadera no se consideraron 15 cm de la orilla izquierda, ni 20 cm de la derecha, ni algunos centímetros del fondo, pues el pasto frena el movimiento del agua. Al hacer esto, el área que se considera es aquella en donde el agua se mueve libremente. Los tirantes y anchos de franja de la sección transversal media se observan en la lámina 8b.

Lámina 8 Medición con flotador en regadera de tierra con hierba



a) Velocidad en el tramo



b) Área de la regader

Los tirantes promedio de cada franja:

$$\bar{d}_1 = \frac{0.25 + 2 \times 0.42 + 0.65}{4} = \frac{1.74}{4} = 0.435 \text{ m}$$

$$\bar{d}_2 = \frac{0.65 + 2 \times 0.61 + 0.32}{4} = \frac{2.19}{4} = 0.547 \text{ m}$$

El área de cada franja:

$$A_1 = 0.70 \times 0.435 = 0.304 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0.80 \times 0.547 = 0.438 \text{ m}^2$$

El área de la sección transversal:

$$A_T = 0.304 + 0.438 = 0.743 \text{ m}^2$$

La velocidad superficial:

$$V_s = \frac{10}{50} = 0.20 \text{ m/s}$$

Para la velocidad media se considera un factor K de 0.9 (no se presenta efecto del viento).

$$V_m = 0.9(0.2) = 0.18 \text{ m/s}$$

Finalmente, el gasto se calcula con:

$$Q = A_T \cdot V_m \\ = 0.743 (0.18) = 0.134 \text{ m}^3/\text{s} \quad (134 \text{ lps})$$

1.3.2.2 Vertedores

El vertedor es una escotadura que se practica en una pantalla colocada en forma perpendicular a la dirección de la corriente del agua. El borde o arista sobre el cual vierte la vena líquida se conoce como cresta. Los vertedores pueden ser de cresta ancha o de cresta aguda (afilada).

En los vertedores de cresta ancha, como el aforador de garganta larga, la sección transversal del canal se contrae, mediante una elevación de la plantilla o estrechando los taludes. Este aforador requiere cierto proceso de diseño que no se tratará en este trabajo; a partir de este proceso de diseño se obtiene su ecuación de calibración carga-gasto. Por lo que es suficiente instalar una escala aguas arriba de la garganta para conocer el gasto³.

3

Para mayor referencia consultar el *Manual de aforos*, IMTA (1993).

En los vertedores de cresta aguda la vena líquida salta libremente por encima de la cresta y se presenta la contracción vertical. Se pueden tener vertedores con o sin contracciones laterales de la vena líquida (lámina 9). Para instalar un vertedor de cresta afilada se siguen estos pasos:

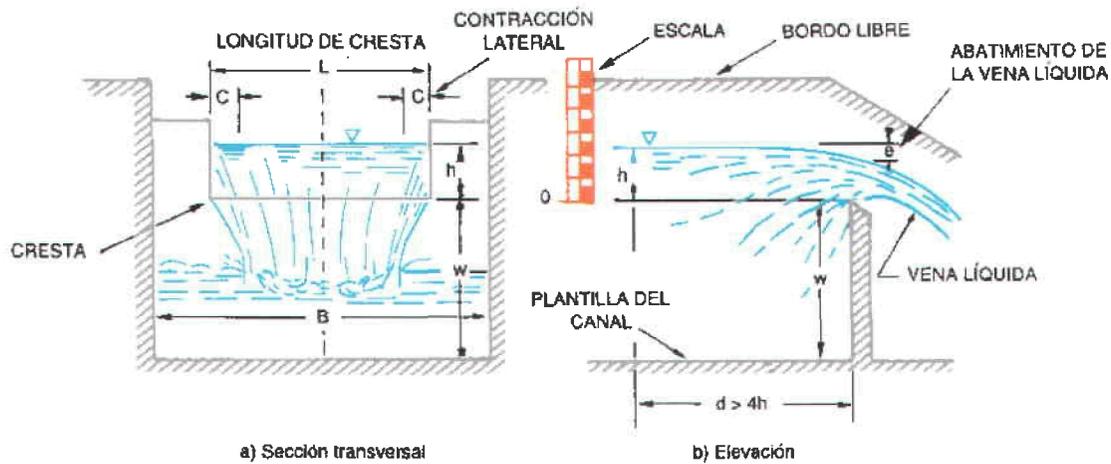


Lámina 9 Instalación de un vertedor de cresta afilada

- a) Ubicar el vertedor en un canal recto, con una longitud aguas arriba de al menos 10 veces L ;
- b) Colocar el vertedor perpendicular a la dirección del flujo;
- c) Asegurar que la pantalla del vertedor sea perpendicular y que la cresta vertedora esté nivelada;
- d) Eliminar obstrucciones aguas arriba del vertedor;
- e) Afilar las aristas del vertedor (cresta y lados);
- f) Si es posible, fijar el vertedor de tal forma que el agua se aproxime sin formar remolinos y con una velocidad menor de 0.3 metros por segundo;
- g) La altura de la cresta vertedora (W), aguas arriba de la pantalla, debe ser de al menos 3 veces h , eliminando los azolves que se acumulen;
- h) En vertedores con contracción lateral, la distancia de la arista lateral a la pared del canal debe ser al menos 2 veces h ;
- i) Verificar que la longitud de la cresta vertedora (L) sea tal que la carga (h) sobre ésta varíe desde 6 cm hasta un tercio de L ;
- j) Verificar que el aire circule libremente por abajo de la vena líquida.

La carga que actúa sobre el vertedor es el espesor de la vena líquida más la carga de velocidad:

$$H = h + \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

H = carga sobre el vertedor (m);

h = espesor de la vena líquida (m);

v = velocidad del flujo (m/s);

g = aceleración de la gravedad (m/s²).

El espesor de la vena líquida se mide aguas arriba del vertedor a una distancia de al menos 4 veces h, para evitar el efecto de la contracción vertical. Para simplificar la medición se instala una escala a esta distancia, a una altura tal que su origen coincida con la cresta del vertedor.

La carga de velocidad se considera si se presenta una velocidad de llegada mayor de 0.3 m/s. Si la velocidad de llegada es menor de dicho valor se dice que el vertedor no tiene velocidad de llegada y la carga sobre éste es simplemente el espesor de la vena líquida:

$$H = h$$

En general, la escotadura del vertedor de cresta aguda puede ser: rectangular, triangular o trapezoidal. El vertedor rectangular es el más usual para el aforo de canales; pues el gasto se mide con buena precisión (lámina 10). El gasto (Q) en este vertedor depende de la longitud de cresta (L) y de la carga sobre la cresta vertedora (h).

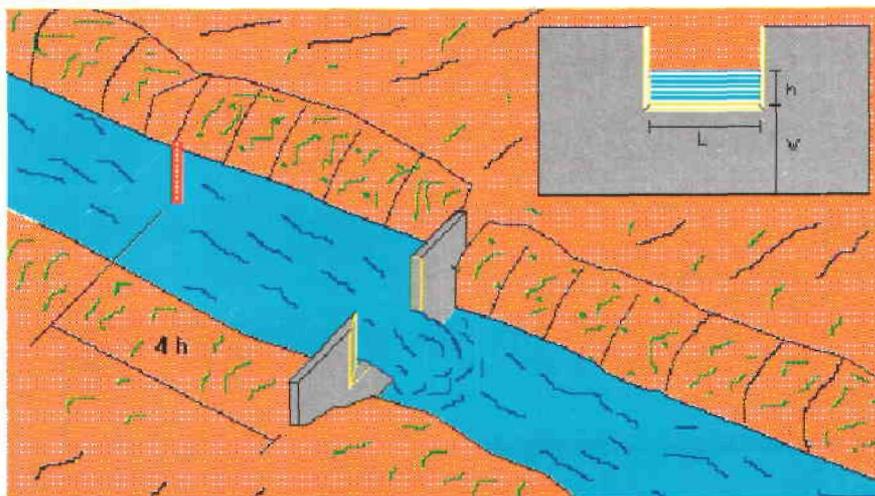


Lámina 10 Vertedor rectangular

El vertedor triangular es apropiado para medir gastos pequeños, por lo que se adapta muy bien en pequeñas regaderas. El gasto depende de la carga y del ángulo de apertura del vertedor, por razones prácticas este ángulo es de 90 grados.

El cuadro 3 muestra las ecuaciones de los vertedores rectangular, trapezoidal y triangular, sin considerar velocidad de llegada. Las unidades de éstas ecuaciones son: el Q en m³/s, h en m y L en m. Además, dichas ecuaciones se han tabulado en los cuadros 4, 5 y 6.

Cuadro 3 Fórmulas para el gasto de los vertedores más comunes

Tipo de vertedor	Fórmula
Rectangular sin contracciones	$Q = 1.84 L h^{1.5}$
Rectangular con contracciones	$Q = 1.84 (L - 0.2 h) h^{1.5}$
Triangular 90°	$Q = 1.4 h^{2.5}$

Ejemplo. Obtener el gasto que pasa por un vertedor rectangular instalado en un canal trapezoidal con plantilla de 60 cm; si la longitud de la cresta del vertedor es de 50 cm y la carga sobre la cresta, medida aguas arriba, de 17 centímetros.

Solución. El vertedor es con contracciones laterales, ya que la longitud de cresta es menor que el ancho del canal. Considerando el cuadro 6 (vertedores con dos contracciones), se ingresa en la primer columna con la carga de 0.17 m, para desplazarse horizontalmente hasta la columna correspondiente a la longitud de cresta de 0.5 m, resultando un gasto de 0.060 m³/s (60 litros por segundo).

Sustituyendo la longitud de cresta y la carga en la ecuación correspondiente:

$$\begin{aligned}
 Q &= 1.84[L - 0.2h]h^{1.5} \\
 &= 1.84[0.5 - 0.2(0.17)]0.17^{1.5} \\
 &= 0.060m^3 / s \text{ (60lps)}
 \end{aligned}$$

Ejemplo. Obtener el gasto que pasa por un vertedor triangular de 90° instalado en un canal trapezoidal si la carga sobre la cresta, medida aguas arriba, es de 17 cm.

Solución. Se ingresa en la primer columna (cuadro 4) con la carga de 0.17 m, para desplazarse horizontalmente hasta la columna del gasto, resultando un gasto de 0.017 m³/s (17 litros por segundo).

Sustituyendo la carga en la ecuación correspondiente:

$$\begin{aligned}
 Q &= 1.4 h^{2.5} \\
 &= 1.4 (0.17)^{2.5} \\
 &= 0.017 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (17 \text{ lps})
 \end{aligned}$$

Cuadro 4 Gasto para vertedor triangular de 90°

CARGA h (m)	GASTO (m ³ /s)
0.05	0,001
0.06	0,001
0.07	0,002
0.08	0,003
0.09	0,003
0.10	0,004
0.11	0,006
0.12	0,007
0.13	0,009
0.14	0,010
0.15	0,012
0.16	0,014
0.17	0,017
0.18	0,019
0.19	0,022
0.20	0,025
0.21	0,028
0.22	0,032
0.23	0,036
0.24	0,040
0.25	0,044

Cuadro 5 Gasto para vertedor rectangular sin contracción (m³/s)

CARGA H (m)	LONGITUD CRESTA (m)									
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80
0.06	0,011	0,014	0,016	0,019	0,022	0,027	0,032	0,038	0,043	0,049
0.07	0,014	0,017	0,020	0,024	0,027	0,034	0,041	0,048	0,055	0,061
0.08	0,017	0,021	0,025	0,029	0,033	0,042	0,050	0,058	0,067	0,075
0.09	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,050	0,060	0,070	0,079	0,089
0.10	0,023	0,029	0,035	0,041	0,047	0,058	0,070	0,081	0,093	0,105
0.11	0,027	0,034	0,040	0,047	0,054	0,067	0,081	0,094	0,107	0,121
0.12	0,031	0,038	0,046	0,054	0,061	0,076	0,092	0,107	0,122	0,138
0.13	0,034	0,043	0,052	0,060	0,069	0,086	0,103	0,121	0,138	0,155
0.14	0,039	0,048	0,058	0,067	0,077	0,096	0,116	0,135	0,154	0,173
0.15		0,053	0,064	0,075	0,086	0,107	0,128	0,150	0,171	0,192
0.16		0,059	0,071	0,082	0,094	0,118	0,141	0,165	0,188	0,212
0.17		0,064	0,077	0,090	0,103	0,129	0,155	0,181	0,206	0,232
0.18			0,084	0,098	0,112	0,141	0,169	0,197	0,225	0,253
0.19			0,091	0,107	0,122	0,152	0,183	0,213	0,244	0,274
0.20			0,099	0,115	0,132	0,165	0,197	0,230	0,263	0,296
0.21				0,124	0,142	0,177	0,212	0,248	0,283	0,319
0.22				0,133	0,152	0,190	0,228	0,266	0,304	0,342
0.23				0,142	0,162	0,203	0,244	0,284	0,325	0,365
0.24					0,173	0,216	0,260	0,303	0,346	0,389
0.25					0,184	0,230	0,276	0,322	0,368	0,414
0.26					0,195	0,244	0,293	0,342	0,390	0,439
0.27					0,207	0,258	0,310	0,361	0,413	0,465
0.28						0,273	0,327	0,382	0,436	0,491
0.29					0,287	0,345	0,402	0,460	0,517	
0.30					0,302	0,363	0,423	0,484	0,544	
0.31						0,318	0,381	0,445	0,508	0,572
0.32						0,333	0,400	0,466	0,533	0,600
0.33						0,349	0,419	0,488	0,558	0,628
0.34						0,365	0,438	0,511	0,584	0,657
0.35							0,457	0,533	0,610	0,686
0.36							0,477	0,556	0,636	0,715
0.37							0,497	0,580	0,663	0,745
0.38							0,517	0,603	0,690	0,776
0.39							0,538	0,627	0,717	0,807
0.40							0,559	0,652	0,745	0,838
0.41								0,676	0,773	0,869
0.42								0,701	0,801	0,901
0.43								0,726	0,830	0,934
0.44								0,752	0,859	0,967
0.45								0,778	0,889	1,000
0.46								0,804	0,918	1,033
0.47									0,949	1,067
0.48									0,979	1,101
0.49									1,010	1,136
0.50									1,041	1,171
0.51									1,072	1,206
0.52									1,104	1,242
0.53									1,136	1,278
0.54										1,314
0.55										1,351
0.56										1,388
0.57										1,425
0.58										1,463
0.59										1,501
0.60									1,539	

Cuadro 6 Gasto para vertedor rectangular con contracciones (m³/s)

CARGA h (m)	LONGITUD CRESTA (m)									
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80
0.06	0.010	0.013	0.016	0.019	0.021	0.027	0.032	0.038	0.043	0.048
0.07	0.013	0.017	0.020	0.023	0.027	0.034	0.040	0.047	0.054	0.061
0.08	0.016	0.020	0.024	0.028	0.033	0.041	0.049	0.058	0.066	0.074
0.09	0.019	0.024	0.029	0.034	0.039	0.049	0.059	0.069	0.079	0.089
0.10	0.022	0.028	0.034	0.040	0.045	0.057	0.069	0.080	0.092	0.104
0.11	0.025	0.032	0.039	0.046	0.052	0.066	0.079	0.093	0.106	0.119
0.12	0.029	0.036	0.044	0.052	0.059	0.075	0.090	0.105	0.121	0.136
0.13	0.032	0.041	0.050	0.058	0.067	0.084	0.101	0.119	0.136	0.153
0.14	0.036	0.045	0.055	0.065	0.074	0.094	0.113	0.132	0.152	0.171
0.15	0.050	0.061	0.072	0.082	0.092	0.104	0.125	0.146	0.168	0.189
0.16	0.055	0.067	0.079	0.086	0.099	0.114	0.138	0.161	0.185	0.208
0.17	0.060	0.073	0.086	0.093	0.107	0.125	0.150	0.176	0.202	0.228
0.18		0.079	0.093	0.101	0.116	0.135	0.164	0.192	0.220	0.248
0.19		0.086	0.101	0.109	0.125	0.147	0.177	0.208	0.238	0.269
0.20		0.092	0.109	0.117	0.134	0.158	0.191	0.224	0.257	0.290
0.21			0.117	0.125	0.144	0.170	0.205	0.240	0.276	0.311
0.22				0.125	0.144	0.182	0.219	0.257	0.295	0.333
0.23				0.133	0.153	0.194	0.234	0.275	0.315	0.356
0.24					0.163	0.206	0.249	0.292	0.336	0.379
0.25					0.173	0.219	0.265	0.311	0.403	
0.26					0.182	0.231	0.280	0.329	0.378	0.426
0.27					0.193	0.244	0.296	0.347	0.399	0.451
0.28						0.257	0.312	0.366	0.421	0.475
0.29						0.271	0.328	0.386	0.443	0.501
0.30						0.284	0.345	0.405	0.466	0.526
0.31						0.298	0.361	0.425	0.488	0.552
0.32						0.312	0.378	0.445	0.512	0.578
0.33						0.326	0.396	0.465	0.535	0.605
0.34						0.340	0.413	0.486	0.559	0.632
0.35						0.431	0.507	0.583	0.659	
0.36						0.448	0.528	0.607	0.687	0.765
0.37						0.466	0.549	0.632	0.715	
0.38						0.484	0.571	0.657	0.743	
0.39						0.503	0.592	0.682	0.772	
0.40						0.521	0.614	0.708	0.801	
0.41						0.540	0.637	0.733	0.830	
0.42							0.659	0.759	0.859	
0.43							0.682	0.786	0.889	
0.44							0.705	0.812	0.919	
0.45							0.728	0.839	0.950	
0.46							0.751	0.866	0.980	
0.47								0.893	1.011	
0.48								0.920	1.043	
0.49								0.948	1.074	
0.50								0.976	1.106	
0.51								1.004	1.138	
0.52								1.032	1.170	
0.53								1.203	1.203	
0.54								1.061	1.235	
0.55									1.268	
0.56									1.302	
0.57									1.335	
0.58									1.369	
0.59									1.403	
0.60									1.437	

1.3.2.3 Módulos para medición y control

Los módulos para medición y control más populares en México son los Aquacontrol. Estos módulos son estructuras diseñadas para suministrar gastos constantes; la más sencilla de estas estructuras tiene tres claros; cada uno cuenta con: una cresta vertedora, uno o dos baffles reductores y una compuerta sujeta a un mecanismo de cierre manual (lámina 11).

Las compuertas están en fila las más pequeñas del lado izquierdo de los distribuidores y las más grandes a la derecha. Cada compuerta permanece totalmente abierta o cerrada. Para proporcionar el gasto se abre una compuerta o combinación de compuertas de diferentes tamaños, de manera que todas quedan fijas en una de las dos posiciones por medio de una simple palanca a la que se pone un candado, una vez que se han abierto las compuertas seleccionadas.

El gasto constante que suministran estos módulos se obtiene gracias a su diseño y sin un mecanismo móvil. La combinación de un cimacio, en forma muy especial, con dos reductores fijos planos a determinada altura sobre él y ligeramente aguas abajo de su cresta, corrige los efectos de un ascenso en el nivel del agua en el canal a niveles bajos de agua.



Lámina 11 Módulo Acuacontrol típico

1.3.3 Medición del gasto en la descarga de una bomba

Los métodos para aforo en tuberías son necesarios en las parcelas, cuando la fuente de abastecimiento es un pozo profundo o la conducción del agua hasta la parcela se realiza mediante un sistema entubado. Los métodos para aforo más comunes son la escuadra y el medidor de hélice.

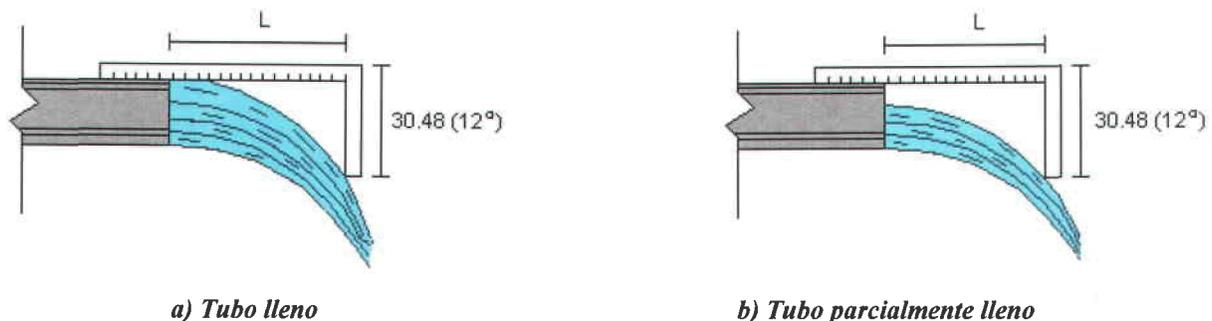
1.3.3.1 Escuadra

Este método se emplea para medir el gasto en tubos completamente horizontales que descargan llenos o parcialmente llenos. El gasto depende del diámetro (D), de la componente vertical (Y) y de la componente horizontal o alcance (L) del chorro de agua. Y se fija para que el gasto quede en función únicamente de L; para conseguir esto se construye una escuadra con el lado menor (Y) de 30.5 cm (12") o una longitud menor. A continuación se calibra la escuadra, para diferentes diámetros de la tubería, midiendo la longitud horizontal del chorro para diferentes gastos.

Para aforar una tubería que descarga llena (lámina 12a) se puede emplear el cuadro 8; en este cuadro el gasto está en función de L y D. El cuadro se ha obtenido mediante una escuadra con un componente Y de 30.5cm (12").

Si la tubería descarga parcialmente llena (lámina 12b), el gasto se obtiene como si fuera un tubo lleno y después se hace una corrección. Para realizar la corrección: se mide el valor del tirante (X) en el interior de la tubería; con este tirante y el diámetro interior del tubo, se obtiene la relación (X/D); y con esta relación se obtiene el porcentaje (%) de área con respecto al tubo lleno (cuadro 8). El gasto se calcula multiplicando el gasto a descarga llena por este último valor (en decimal).

Lámina 12 Aforo en la tubería de descarga de un pozo



Ejemplo. Determinar el gasto de la tubería de descarga de una bomba, si el aforo se realizó con la escuadra de 12"; la tubería descarga parcialmente llena; su diámetro de 15.2 cm (6"); la longitud del chorro de 48 cm; y el tirante de 12 centímetros .

Solución. Ingresando con D y L en el cuadro 7, resulta un gasto de 35 lps, que corresponde al tubo lleno.

- La relación X/D:

$$\frac{X}{D} = \frac{12}{15.2} = 0.79$$

- Con esta relación se obtiene el porcentaje de área con respecto al tubo lleno de 84.78% del cuadro 8.

- El gasto para el tubo parcialmente lleno se obtiene multiplicando el gasto del tubo lleno y este último valor (en decimal):

$$Q = 35 \times \frac{84.78}{100} = 29.7 \text{ lps}$$

1.3.3.2 Medidor de hélice

El medidor de hélice se instala en la tubería de descarga del equipo de bombeo y debe operar completamente ahogado; tiene una hélice que se suspende frente al flujo y se conecta a un sistema de engranes; puede registrar la velocidad, el gasto instantáneo o el volumen total para un intervalo de tiempo (lámina 13).

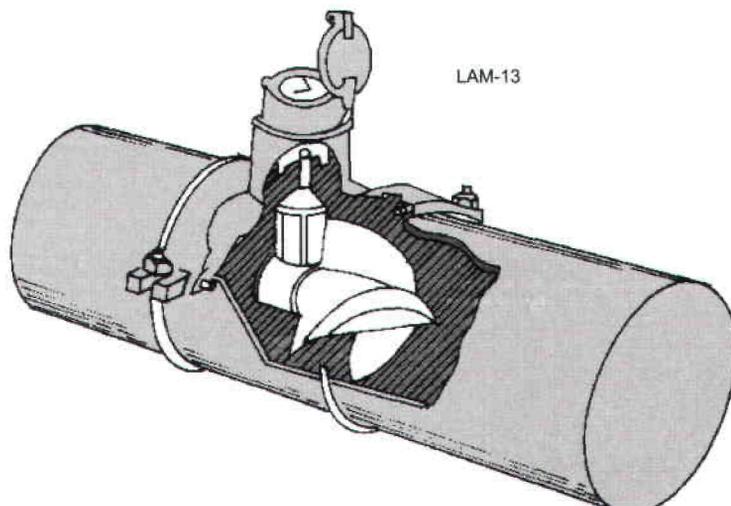


Lámina 13 Medidor de hélice

Cuadro 7 Gasto en tubo lleno (lps)

LONGITUD CHORRO (cm)	DIAMETRO DE LA TUBERIA (cm)						
	5.08 (2")	7.62 (3")	10.16 (4")	15.24 (6")	20.32 (8")	25.4 (10")	30.48 (12")
20	1.7	3.7	6.4	14.6	25.3	39.7	56.9
22	1.9	4.1	7.0	16.0	27.8	43.7	62.6
24	2.0	4.5	7.7	17.5	30.3	47.7	68.3
26	2.2	4.8	8.3	19.0	32.8	51.7	73.9
28	2.4	5.2	9.0	20.4	35.4	55.6	79.6
30	2.6	5.6	9.6	21.9	37.9	59.6	85.3
32	2.7	6.0	10.2	23.3	40.4	63.6	91.0
34	2.9	6.3	10.9	24.8	42.9	67.6	96.7
36	3.1	6.7	11.5	26.2	45.5	71.5	102.4
38	3.2	5.0	12.2	27.7	48.0	75.5	108.1
40	3.4	7.4	12.8	29.2	50.5	79.5	113.8
42	3.6	7.8	13.4	30.6	53.0	83.5	119.4
44	3.7	8.2	14.1	32.1	55.6	87.4	125.1
46	3.9	8.6	14.7	33.5	58.1	91.4	130.8
48	4.1	8.9	15.4	35.0	60.6	95.4	136.5
50	4.3	9.3	16.0	36.5	63.2	99.4	142.2
52	4.4	9.7	16.6	37.9	65.7	103.3	147.9
54	4.6	10.0	17.3	39.4	68.2	107.3	153.6
56	4.8	10.4	17.9	40.8	70.7	111.3	159.3
58	4.9	10.8	18.6	42.3	73.3	115.2	165.0
60	5.1	11.2	19.2	43.7	75.8	119.2	170.6
62	5.3	11.5	19.8	45.2	78.3	123.2	176.3
64	5.4	11.9	20.5	46.7	80.8	127.2	182.0
66	5.6	12.3	21.1	48.1	83.4	131.1	187.7
68	5.8	12.6	21.8	49.6	85.9	135.1	193.4
70	6.0	13.0	22.4	51.0	88.4	139.1	199.1
72	6.1	13.4	23.0	52.5	90.9	143.1	204.8
74	6.3	13.8	23.7	53.9	93.5	147.0	210.5
76	6.5	14.1	24.3	55.4	96.0	151.0	216.1
78	6.6	14.5	25.0	56.9	98.5	155.0	221.8
80	6.8	14.9	25.6	58.3	101.0	159.0	227.5
82	7.0	15.3	26.2	59.8	103.6	162.9	233.2
84	7.1	15.6	26.9	61.2	106.1	166.9	238.9
86	7.3	16.0	27.5	62.7	108.6	170.9	244.6
88	7.5	16.4	28.2	64.2	111.1	174.9	250.3
90	7.7	16.7	28.8	65.6	113.7	178.8	256.0
92	7.8	17.1	29.4	67.1	116.2	182.2	261.6
94	8.0	17.5	30.0	68.5	118.7	186.8	267.3
96	8.2	17.9	30.7	70.0	121.2	190.8	273.6
98	8.3	18.2	31.4	71.4	123.8	194.7	278.7
100	8.5	18.6	32.0	72.9	126.3	198.7	284.4

Cuadro 8 Porcentaje de area con respecto a tubo lleno (lps)

X/D	%	X/D	%
0.01	0.17	0.51	51.27
0.02	0.47	0.52	52.55
0.03	0.88	0.53	53.82
0.04	1.34	0.54	55.09
0.05	1.87	0.55	56.35
0.06	2.44	0.56	57.63
0.07	3.08	0.57	58.89
0.08	3.74	0.58	60.13
0.09	4.46	0.59	61.40
0.10	5.21	0.60	62.64
0.11	5.98	0.61	63.89
0.12	6.80	0.62	65.13
0.13	7.64	0.63	66.36
0.14	8.51	0.64	67.58
0.15	9.41	0.65	68.81
0.16	10.33	0.66	70.02
0.17	11.27	0.67	71.22
0.18	12.24	0.68	72.41
0.19	13.23	0.69	73.59
0.20	14.23	0.70	74.76
0.21	15.27	0.71	75.95
0.22	16.31	0.72	77.08
0.23	17.38	0.73	78.21
0.24	18.45	0.74	79.34
0.25	19.54	0.75	80.44
0.26	20.66	0.76	81.54
0.27	21.79	0.77	82.62
0.28	22.92	0.78	83.68
0.29	24.06	0.79	84.78
0.30	25.24	0.80	85.77
0.31	26.41	0.81	86.77
0.32	27.59	0.82	87.76
0.33	28.78	0.83	88.73
0.34	29.98	0.84	89.67
0.35	31.32	0.85	90.59
0.36	32.42	0.86	91.49
0.37	33.64	0.87	92.36
0.38	34.87	0.88	93.20
0.39	36.11	0.89	94.02
0.40	37.06	0.90	94.79
0.41	38.60	0.91	95.54
0.42	39.85	0.92	96.26
0.43	41.11	0.93	97.30
0.44	42.37	0.94	97.56
0.45	43.65	0.95	98.13
0.46	44.91	0.96	98.66
0.47	46.18	0.97	99.12
0.48	47.45	0.98	99.52
0.49	48.73	0.99	99.88
0.50	50.00		

1.3.3.3 Medición de niveles del agua en acuíferos subterráneos

El acuífero es un almacenamiento natural de agua en el subsuelo. Los acuíferos más comunes son el acuífero confinado y el no confinado (lámina 14); en el primero, el agua se encuentra atrapada entre dos capas impermeables; cuando se perfora la capa superior, el agua sale a presión (pozo artesiano); en el acuífero no confinado el agua se encuentra sobre una base de material impermeable y contenida en materiales altamente permeables como las gravas.

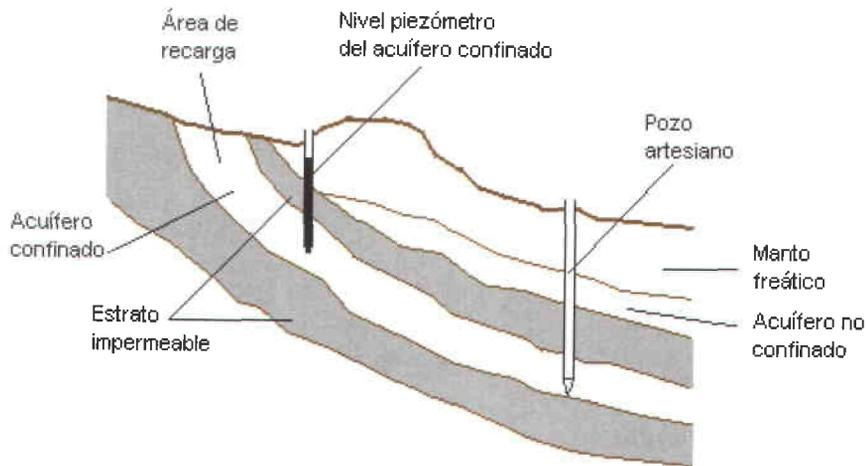


Lámina 14 Acuíferos confinado y no confinado

Cuando el equipo de bombeo extrae el agua de un acuífero subterráneo es necesario medir los niveles estático y dinámico del agua en el pozo. El primero es el nivel del agua antes del bombeo; una vez que se establece el bombeo, el agua alcanza el siguiente nivel. Es importante conocer el abatimiento del acuífero (diferencia entre niveles), para tratar de mantener el balance hidrológico del mismo; es decir, igualar las recargas naturales originadas por las lluvias con las extracciones. Ambos niveles se miden con una sonda eléctrica (lámina 15).

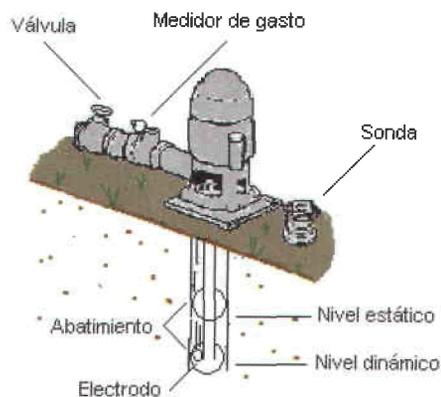


Lámina 15 Medición con sonda de los niveles de un pozo profundo

1.4 Calidad del agua de riego y drenaje

Además de la cantidad de agua disponible es necesario conocer su calidad. Los problemas que más se asocian con la calidad del agua son: salinidad, drenaje, sensibilidad de las plantas y contaminación.

1.4.1 Salinidad

Las sales se concentran en el suelo debido a que el cultivo solamente evapotranspira agua pura. Las sales más comunes son: el cloruro de sodio (sal de mesa), sulfato de magnesio (sal epsom) y el sulfato de calcio (yeso). Las sales están formadas por iones, los más importantes, con fines de riego, son: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , SO_4^- , Cl^- y HCO_3^- .

La salinidad de una muestra de agua o del extracto a saturación del suelo se mide con la conductividad eléctrica (CE); dicha CE se expresa en decisiemens por metro⁴ (dS/m) a 25°C. El agua de riego es una fuente importante de sales, aun cuando sea de buena calidad. Por ejemplo si se aplica una lámina de un metro (para cubrir el requerimiento de riego de un cultivo) y el agua tiene una CE de 0.4 dS/m (256 ppm), proporcionará 2.6 Ton/ha de sal al suelo.

Los suelos afectados por sales se clasifican a partir del análisis de su extracto a saturación (cuadro 9); con base en su conductividad eléctrica (CE) y su relación de adsorción de sodio corregida (RAS^c). La calidad del agua para riego se puede interpretar considerando el efecto que causa su salinidad (cuadro 10) en: la disponibilidad del agua para el cultivo; la reducción de su infiltración en el suelo; y la sensibilidad de los cultivos a ciertos iones.

La RAS^c se emplea para evaluar mejor los problemas de infiltración creados por el potencial del agua de riego, por concentraciones altas de sodio o bajas de calcio. El sodio deflocula al suelo, haciendolo más impermeable. La RAS^c se calcula con:

$$RAS = \frac{NA}{\sqrt{\frac{Ca^c + Mg}{2}}}$$

Donde: RAS^c = relación de adsorción de sodio (me/l)^{1/2};
Na = concentración del ion sodio (me/l);
Ca^c = concentración corregida del ion calcio (me/l);
Mg = concentración del ion magnesio (me/l).

4

Un decisiemens por metro (dS/m) equivale a un milimhos por centímetro.

A partir del cuadro 11 se obtiene el valor del Ca^c , empleando la CE y la relación HCO_3/Ca ; dicho cuadro supone que el calcio se origina de silicatos o calizas; que no se presenta precipitación de Magnesio; y que la presión relativa del CO_2 cerca de la superficie del suelo es de 0.0007 atmósferas.

Ejemplo. Clasificar una muestra de suelo con base en las siguientes concentraciones de su extracto a saturación:

- a) CE = 8.10 mmhos/cm c) $HCO_3 = 4.0$ me/l e) Ca = 20.0 me/l
b) Mg = 25.0 me/l d) Na = 34.0 me/l

Solución. Primero, se calcula la relación HCO_3/Ca :

$$\frac{HCO_3}{Ca} = \frac{4.0}{20} = 0.20$$

A partir del cuadro 11 y con los valores de HCO_3/Ca y CE se obtiene el valor del Calcio corregido (Ca^c) de 7.91

Con la concentración de Ca^c se obtiene la RAS^c:

$$RAS^c = \frac{34.0}{\sqrt{\frac{7.91 + 25.0}{2}}} = 8.37$$

Del cuadro 9, considerando una RAS < 13 y una CE > 4 se concluye que el suelo es salino.

Ejemplo. Clasificar una muestra de agua con base en las siguientes concentraciones:

- a) CE = 0.40 mmhos/cm c) $HCO_3 = 0.50$ me/l e) Ca = 1.50 me/l
b) Mg = 1.0 me/l d) Na = 0.90 me/l

Solución. Primero se calcula la relación HCO_3/Ca :

$$\frac{HCO_3}{Ca} = \frac{0.5}{1.5} = 0.33$$

A partir del cuadro 11 y con los valores de HCO_3/Ca y CE se obtiene el valor del Calcio corregido (Ca^c) de 4.04.

Con la concentración de Ca^c se obtiene la RAS^c:

$$RAS = \frac{0.90}{\sqrt{\frac{4.04 + 1.0}{2}}} = 0.57$$

Del cuadro 10, considerando una RAS de 0 a 3 y una CE de 0.7 a 0.2 se concluye que la restricción en el uso del agua es de ligera a moderada.

Las sales aumentan la presión osmótica del agua del suelo; debido a esto, las plantas realizan un mayor esfuerzo para absorber el agua del suelo y disminuyen su evapotranspiración. En consecuencia el rendimiento del cultivo se reduce. Las sales son benéficas para las plantas, pero cuando se acumulan en exceso en el suelo pueden crear problemas de toxicidad. Los cultivos más resistentes a las sales son los forrajes. El cuadro 12 muestra la tolerancia de relativa de algunos cultivos a la salinidad.

Para evitar reducción en el rendimiento del cultivo se recomienda aplicar una cantidad de agua mayor de la que satisface la evapotranspiración del cultivo, con objeto de remover y lavar las sales fuera de la zona de raíces. Los sistemas de riego superficial permiten realizar un buen lavado de los suelos, siempre y cuando el agua tenga salida (drenaje subterráneo). La lámina de lavado depende de la concentración de sales en el agua de riego y de la tolerancia del cultivo. El requerimiento de lavado (RL) se calcula con⁵:

$$RL = \frac{CE_a}{5 CE_s - CE_a}$$

Donde: RL = requerimiento de lavado (fracción);
 CE_a = CE del agua (mmhos/cm);
 CE_s = CE del suelo (mmhos/cm), salinidad tolerable por el cultivo.

La lámina anual de riego, que debe aplicarse para satisfacer las demandas de agua de los cultivos y los requerimientos de lixiviación es:

$$La = \frac{ET_c}{1 - RL}$$

Donde: La = lámina anual de riego (mm/año);
 ET_c = evapotranspiración de diseño (mm/año);
 RL = requerimiento de lavado (adm).

Ejemplo. Calcular la lámina anual de sobrerriego, dada la siguiente información:

⁵

Para mayor información de la lámina de sobrerriego consultar el *Anexo técnico cuándo y cuánto regar*, IMTA (1993).

Cultivo = alfalfa; $CE_a = 2$ mmhos/cm (salina);
Clima = caliente; $CE_s = 3.4$ mmhos/cm (para que se reduzca el rendimiento más del 10%).

Solución: primero se calcula el requerimiento de lavado:

$$RL = \frac{2}{5(3.4) - 2} = 0.13 \text{ mm}$$

A partir del cuadro 1, considerando el cultivo y clima, se obtiene una $ET_c = 912$ mm.

Sustituyendo RL y ET_c en la ecuación correspondiente, se obtiene la lámina anual:

$$La = \frac{912}{1 - 0.13} = 1048 \text{ mm}$$

1.4.2 Sensibilidad de las plantas a algunos iones

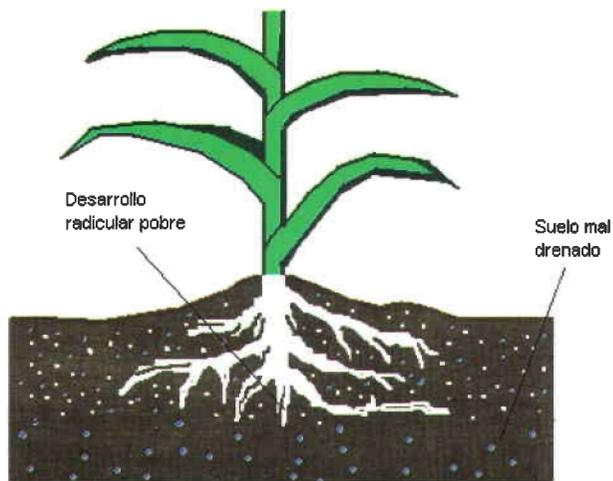
Las plantas necesitan de todos los iones; sin embargo, cuando estos son absorbidos y se concentran en los tejidos vegetales en cantidades más altas a las requeridas pueden dañar y reducir el rendimiento de la planta; los daños pueden ser la clorosis y la quemadura del borde de las hojas. Los iones que causan más toxicidad a las plantas son el cloro, el sodio, y el boro; las plantas tienen diferentes grados de tolerancia a estos elementos. El cuadro 13 muestra la tolerancia de diferentes cultivos al sodio, el 14 al cloro y el 15 al boro.

1.4.3 Drenaje

El agua y el suelo se deben manejar en forma adecuada. El exceso de agua afecta la producción del cultivo, ya que este exceso puede disminuir el abastecimiento de aire y nutrientes a la zona radicular y en el peor de los casos pudrir la planta (lámina 16). Además, el exceso de agua en el suelo provoca: niveles freáticos elevados y diferentes grados de salinidad o sodicidad.

Para disminuir el exceso de agua y sales de la zona de raíces se debe drenar el suelo; sin embargo, aplicando correctamente el agua de riego es posible reducir el drenaje. Actualmente en el país, se tiene una superficie de $\pm 15\%$ de los seis millones de hectáreas bajo riego con problemas de salinidad o sodicidad.

Lámina 16 Efecto del exceso de agua en la zona de raíces



Existen dos tipos de drenaje el superficial y el subsuperficial. El drenaje superficial es el más común en el sureste de México; consiste de zanjas excavadas en el sentido de la pendiente del terreno, para evacuar el agua a la parte baja del terreno y luego descargar a cauces naturales o a colectores (lámina 17).



Lámina 17 Drenaje superficial

En el drenaje subsuperficial el agua es drenada por tubos perforados que se colocan por abajo de la superficie del suelo y desembocan a unos drenes colectores (canales abiertos). La tubería normalmente es de plástico; su espaciamiento y profundidad dependen del tipo de suelo; de los cultivos que se sembrarán; y de la profundidad a la que se quiere mantener el nivel freático. El drenaje subterráneo es útil en suelos poco permeables que tienen altas concentraciones de sales (lámina 18).



Lámina 18 Drenaje subterráneo

1.4.4 Contaminación del agua

Con el riego se favorece el arrastre de agroquímicos (herbicidas y fertilizantes); principalmente nitratos que pueden contaminar cuerpos de agua como acuíferos, lagos o el mar. Es importante que el agricultor tenga una conciencia ecológica y aplique los agroquímicos que han sido aprobados oficialmente. También es importante que el agricultor se informe o que realice estudios de las dosis que debe aplicar para evitar la contaminación del agua.

Cuadro 9 Clasificación de suelos con base en su extracto de saturación

CRITERIO	TIPO DE SUELO			
	Normal	Salino	Sódico	Salino-Sódico
CE _c (dS/m)	< 4	> 4	< 4	> 4
RAS	< 13	< 13	> 13	> 13

James *et al.* 1982

Cuadro 10 Directrices para interpretar la calidad del agua para riego

PROBLEMA POTENCIAL	GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO		
	NINGUNA	LIGERA A MODERADA	SEVERO
SALINIDAD (afecta disponibilidad de agua)			
CE (dS/m)	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
TSS (mg/l)	< 450	450 - 2000	> 2000
INFILTRACIÓN (reduce infiltración) evaluar simultáneamente:			
RAS de 0 a 3 y CE =	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
de 3 a 6	> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
de 6 a 12	> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
de 12 a 20	> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
de 20 a 40	> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
TOXICIDAD DE IONES (efecto en cultivos sensibles)			
Na			
riego superficial (RAS ^c)	< 3.0	3.0 - 9.0	> 9.0
riego por aspersión (me/l)	< 3.0	> 3.0	
Cl			
riego superficial (me/l)	< 4.0	4.0 - 10.0	> 10.0
riego por aspersión (me/l)	< 3.0	> 3.0	
VARIOS			
Nitrogeno (mg/l)	< 5.0	5.0 - 30.0	> 30.0
Bicarbonato (me/l)	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH	amplitud normal de 6.5 a 8.4		

University of California Committee of consultants (1974)

Cuadro 11 Concentración de Cac corregida por HCO₃/Ca y CE

HCO ₃ /Ca	CE (dS/m)											
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
0.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	19.94
0.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.02	10.35	10.89	11.32	12.01	12.56
0.15	6.34	6.54	6.69	6.92	7.11	7.34	7.65	7.90	8.31	8.64	9.17	9.58
0.20	5.24	5.40	5.52	5.71	5.87	6.06	6.31	6.52	6.86	7.13	7.57	7.91
0.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
0.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
0.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
0.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
0.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.40	1.48	1.54	1.63	1.70
2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37	1.42	1.51	1.58
2.50	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47
3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30
3.50	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17
4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.86	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07
4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99
5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.83	0.88	0.93
7.00	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74
10.00	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58
20.00	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37
30.00	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28

Suarez (1981)

Cuadro 12 Tolerancia relativa de algunos cultivos a la salinidad

NIVEL DE TOLERANCIA	TIPO DE CULTIVO	NOMBRE	
		VULGAR	CIENTIFICO
TOLERANTES	Cultivos de fibra, semilla o azúcar	Algodón Cebada Jojoba Remolacha azucarera	Gossypium hirsutum Hordeum vulgare Simmondsia Chinese Beta vulgaris
	Cultivos forrajeros y gramas	Gramas de bermuda Gramas salada Zacatón alcalino	Cynodon dactylon Distichlis stricta Sporobolus airoides
	Hortalizas	Espárrago	Asparagus officinalis
	Cultivos frutales	Palma datilera	Phoenix dactylifera
MODERADAMENTE TOLERANTES	Cultivos de fibra, semilla o azúcar	Avena Cártamo Centeno Sorgo Soya, soja Trigo Triticlae	Avena sativa Carthamus tinctorius Secale cereale Sorghum bicolor Clycine max Triticum aestivum X tricosecale
	Cultivos forrajeros y gramas	Ballico italiano Ballico perenne Cebada forrajera Fetusca Gramas Rhodes Melilotos, trébol Sorgo de Sudán Trébol de cuernos Trigo forrajero	Lolium italicum multiforum Lilium perene Hordeum vulgare Fetusca elatior Chloris gayana Melilotus albus Sorghum sudanese Lotus corniculatus Triticum aestivum
	Hortalizas	Alcachofa Remolacha Calabaza	Hilanthus tuberosus Beta vulgaris Cucurbitaepo melopepo
	Cultivos frutales	Piña Granado Higuera Olivo Papaya	Ananas comosus Punica granatum Ficus carica Olea europea Carica papaya

NIVEL DE TOLERANCIA	TIPO DE CULTIVO	NOMBRE	
		VULGAR	CIENTIFICO
MODERADAMENTE SENSIBLES	Cultivos de fibra, semilla o azúcar	Arroz Caña de azúcar Girasol Haba Lino Maiz Mani, cacahuete Mijo italiano	Oriza sativa Saccharum officinarum Heliantus annuus Vicina fabaç Linum usitatissimun Zea mays Arachis hyupogaea Setaria italica
	Cultivos forrajeros y gramas	Alfalfa Avena forrajera Buffel, pasto salinas Centeno forrajero Cola de zorra Gramas de avena alta Gramas azul Loto de los pantanos Maiz forrajero Trébol blanco Vesa de hoja angosta	Medicago sativa Avena sativa Cenchrus ciliaris Dactylis glomerata Alopecurus pratensis Arrhenatherum, danthonia Bouteloua gracilis Lotus uliginosus Zea mays Trifolium repens Vicia angustifolia
MODERADAMENTE SENSIBLES	Hortalizas	Apio Batatas, Camote Berengena Brócoli Calabaza zapallo Col de bruseelas Col, rollo Coliflor Colinabo Espinaca Lechuga Maiz Melón Nabo Papas, patata Pepino Pimiento, aji, chile Rábano Sandía Tomate	Apium graveolensç Ipomea batatas Solanum melongena Esculentum Brassica olerace botrytis Cucurbita pepo Brassica leracea gemmifera B oleracea capitata B oleracea brotritis B oleracea gongylode Spinacia oleracea Lactuca sativa Zea mays Cucumis melo Brassica rapa Solanum tuberosum Cucumis sativa Capsicum annum Raphanus sativus Sitrullus lanatus Lucoopersicum esculentum
	Cultivos frutales	Vid	Vitis Sp.
SENSIBLES	Cultivos de fibra, semilla o azúcar	Ajonjoli, sésamo Frijol Guayule	Sesamum indicum Phaseolus vulgaris Parthenium argentantum
	Hortalizas	Cebolla Frijol Zanahoria	Allium cepa Phaseolus vulgaris Daucus carota
SENSIBLES	Cultivos frutales	Aguacate, paito Almendra Cerezo Cerezo guinda Chirimoya Ciruelos Frambueso Fresa Lima, lima agria Limonero Mandarina, tangerina Mango Manzano Melocotonero Naranja Nispero del Japón Peral Pomelo, toronja Zarza	Persea americana Prunus dulcis Prunus besseyi Prunus avium Anona Cherimola Prunus doméstica Rubus idaeus Fragaria sp Citrus aurantifolia Citrus limón Citrus reticulata Mangifera indica Malus sylvestris Prunus pérsica Citrus sinensis Eriobotrya japónica Pyrus communis Citrusaradisi Rubus ursinus

Cuadro 13 Tolerancia relativa de algunos cultivos al por ciento de sodio intercambiable

SENSIBLE PSI < 15	SEMITOLERANTE 15 < PSI < 40	TOLERANTE PSI > 40
Aguacate	Zanahoria	Alfalfa
Frutas caducifolias	Trébol ladino	Cebada
Nuez	Pasto miel	Remolacha azucarera
Frijol	Fetusca alta	Gramma de bermuda
Algodón	Lechuga	Algodón
Maíz	Mijo	Gramma Rhodes
Chícharo	Caña de azúcar	Agropiro crestado
Toronja	Trébol de alejandría	Agropiro delgado
Naranja	Trébol dulce	Gramma karnal
Durazno	Mostaza	
Mandarina	Avena	
Frijol chino	Rábano	
Lentejas	Arroz	
Maní	Centeno	
Garbanzo	Gramma de centeno	
	Sorgo	
	Espinaca	
	Tomate	
	Veza	
	Trigo	

Fuente: Ayers y Wescott, Manual FAO No. 29.

Cuadro 14 Tolerancia de algunos cultivos al cloro

CULTIVO	VARIEDAD	MÁXIMO NIVEL PERMISIBLE DE CLORO (meq/L)	
		En el extracto de saturación del suelo	En el agua de riego
	Patrón		
Aguacate	West indian	7.5	5.0
	Guatemalteca	6.0	4.0
	Mexicana	5.0	3.3
Cítricos	Mandarín sunki	25.0	16.6
	Toronja		
	mandarina cleopatra		
	Lima rangpur		
	Limón aspero	15.0	10.0
	Naranja agria		
	Mandarina ponkan		
	Tangelo sampson		
Vid	Salt Creek	40.0	27.0
	Dog Ridge	30.0	20.0
Frutales de hueso	Mariana	25.0	17.0
	Lovell, Shalil	10.0	6.7
	Yunnan	7.5	5.0
	Variedad		
Zarzamoras	Boysenberry	10.0	6.7
	Ollalie blackberry	10.0	6.7
Vid	Thompson sin semilla	20.0	13.3
	Perlette	10.0	13.3
	Cardinal	10.0	6.7
	Black rose	10.0	6.7
Fresa	Lassen	7.5	5.0
	Shasta	5.0	3.3

Fuente: Maas (1984)

Cuadro 15 Tolerancia de algunos cultivos al boro

Muy sensibles (<0.5 mg/L)		Moderadamente sensibles (1.0-2.0 mg/L)	
Limonero	Zarzamora	Pimiento	Papas
Sensibles (0.5-0.75 mg/L)		Chicharo	Pepino
Aguacate	Ciruelo	Zanahoria	Rabanito
Pomelo	Caqui	Moderadamente tolerantes (2.0-4.0 mg/L)	
Naranja	Higuera	Lechuga	Maíz
Durazno	Vid	Repollo	Melón
Melocotonero	Nogal	Apio	Tabaco
Cerezo	Pecana	Nabo	Mostaza
	Cebolla	Pasto azul	Trébol dulce
Sensibles (0.75-1.0 mg/L)		Avena	Calabaza
Ajo	Fresa	Tolerantes (4.0-6.0 mg/L)	
Camote	Alcachofa	Sorgo	Veza
Trigo	Frijol	Tomate	Perejil
Cebada	Judía	Alfalfa	Betabel
Girasol	Cacahuete	Muy tolerantes (6.0-15.0 mg/L)	
Frijol chino	Ajonjolí	Algodón	Espárrago
Moderadamente sensibles (1.0-2.0 mg/L)			
Pimiento	Rabanito		
Aluvia	Papas, patatas		
Zanahoria	Pepino		

2 SELECCIÓN DE MÉTODOS DE RIEGO

Existen zonas en el país en las que la producción de cultivos depende del agua de lluvia; en otras zonas, el desarrollo de los cultivos depende de la aplicación artificial del agua al suelo, a esta acción se le conoce como riego.

Existen tres métodos de riego (presurizados, superficiales, subsuperficiales), cada uno de estos tiene al menos dos sistemas de riego que se adaptan a las diferentes condiciones del proyecto. Una vez seleccionado el método de riego, se debe definir cuál sistema de riego trabajará mejor para las condiciones del proyecto; en general, se puede adaptar más de un sistema a esas condiciones.

Para la selección del sistema de riego intervienen entre otros factores: el cultivo, la pendiente, el relieve del terreno, las características del suelo, la calidad del agua, el clima, el gasto disponible, el valor del agua y el costo de los sistemas.

2.1 Los métodos de riego

Los métodos de riego se diferencian por la forma de aplicar el agua en el suelo, actualmente existen tres métodos básicos: superficial, en el que el agua se aplica sobre la superficie del suelo; presurizado, el agua es conducida a presión por tuberías, hasta un emisor en el punto de aplicación; y subsuperficial, en el que el agua se aplica por abajo de la superficie del suelo. El cuadro 16 muestra la clasificación de los métodos de riego, de acuerdo con la forma de aplicación del agua a los cultivos.

2.1.1 Descripción de los métodos de riego

A continuación se describen en forma general los tres métodos de riego; así como, sus sistemas más importantes.

Cuadro 16 Clasificación de los métodos de riego

MÉTODOS DE RIEGO	SUBSUPERFICIAL	NIVEL FREÁTICO CONTROLADO	
		TUBERÍA REGANTE ENTERRADA	
	SUPERFICIAL	INUNDACIÓN TOTAL	Melgas a nivel
			Melgas con pendiente
			Cajetes
		INUNDACIÓN PARCIAL	Surcos en contorno
			Surcos con pendiente
			Corrugaciones
	PRESURIZADO	GOTEO	Emisión puntual (gotero individual)
			Emisión continua (cinta regante)
		BORBOTE	
		MICROASPERSIÓN	Nebulizador
			Microchorro
			Microaspersor
		ASPERSIÓN	Fijos
Semifijos			
Moviles			

2.1.1.1 Riego superficial

En este método de riego, el agua se aplica sobre la superficie del suelo, en la parte más alta del terreno para que se mueva por efecto de la gravedad; con esto, una parte del agua escurre, mientras que la otra penetra en el suelo, según la velocidad de infiltración del suelo y de la pendiente del terreno. Para que esto ocurra, el gasto proporcionado a la entrada del surco o de la melga debe ser mayor que el gasto que penetra en el suelo.

Este método de riego tiene dos grupos: inundación total, en el que la superficie del suelo es cubierta totalmente por el agua; e inundación parcial, en el que sólo se inunda el fondo de los cauces y los bordos se humedecen por capilaridad.

2.1.1.2 Riego presurizado

En este sistema, el agua es conducida a través de tuberías hasta el emisor, el cual se localiza en el punto de aplicación, minimizándose las pérdidas por conducción.

Por el tipo de emisor empleado se tienen los siguientes sistemas: aspersión, en el que el agua se aplica sobre el cultivo en forma de lluvia (lámina 19); microaspersión, el agua se aplica por abajo de los árboles, también en forma de lluvia (lámina 20); borboteo, el agua se aplica al pie de los árboles en forma de chorros y finalmente, goteo en el que el agua se aplica en pequeñas gotas sobre la zona radical (lámina 21).



Lámina 19 Sistema de riego de cañón móvil para regar caña



Lámina 20 Sistema de riego de microaspersión para cítricos

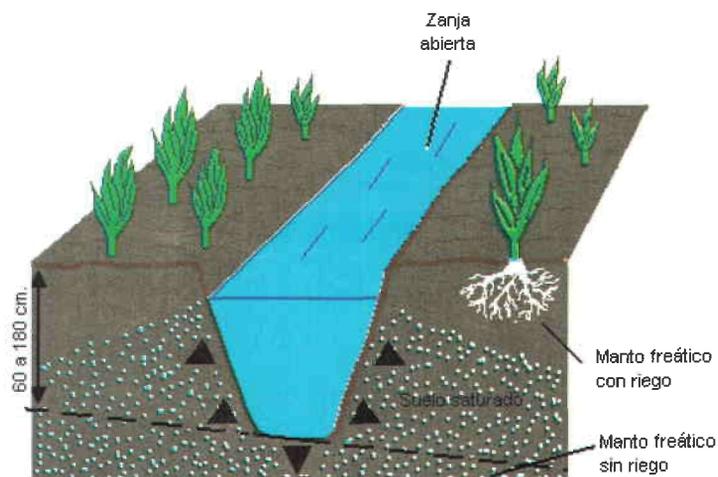


Lámina 21 Sistema de riego por goteo en vid

2.1.1.3 Subsuperficial

Este método consiste en suministrar el agua al suelo, a una profundidad tal que pueda distribuirse en la zona radical por capilaridad (o trasporo). Este método de riego tiene las variantes siguientes: con manto freático y con cinta regante.

La primer variante se emplea en zonas con nivel freático somero. Mediante un canal de tierra se aporta agua al acuífero con objeto de elevar su nivel, hasta que se humedezca la zona de raíces por capilaridad (lámina 22).



La segunda variante de este método, muy empleada en hortalizas, consiste en aplicar el agua mediante una cinta de polietileno o con emisores integrados, que se entierra a una profundidad aproximada de 15 a 20 cm, de tal forma que el agua se aplica directamente en la zona radical (lámina 23).



Lámina 23 Riego con cinta enterrada para hortalizas

2.1.2 Factores que afectan la selección de los métodos de riego

Los principales factores que afectan la selección del método de riego son: las características del cultivo, la pendiente y el relieve del terreno, la velocidad de infiltración del agua en el suelo, la calidad del agua, la velocidad del viento, el gasto disponible, el costo del agua para riego y los objetivos de los productores. A continuación se describe la relación de cada uno de estos factores con los métodos de riego.

2.1.2.1 Características del cultivo

El método de riego seleccionado y diseñado para un predio debe satisfacer la demanda máxima de agua de los cultivos. Los cultivos en hileras se pueden regar con los sistemas de surcos, melgas, aspersión y goteo. Los cultivos de cobertura total se pueden regar por melgas y con sistemas de aspersión. Los frutales se pueden regar con cajetes, microaspersión y borboteo. Se presentan ventajas relativas en condiciones especiales, como en el caso del arroz con riego por gravedad, con la inundación para el control de malas hierbas; el caso de las hortalizas de alto valor económico regadas con sistemas de goteo, por la facilidad de aplicar agroquímicos con alta uniformidad; así como el riego de frutales con sistemas de microaspersión.

2.1.2.2 Pendiente del terreno

La pendiente afecta la selección del método de riego, ya que influye en la velocidad de desplazamiento del agua sobre la superficie del suelo y en los problemas de erosión. Si la pendiente general es ligera (menor de 1.5%), se puede emplear cualquiera de los tres métodos de riego subsuperficial, superficial o presurizado. En terrenos con pendiente pronunciada (mayor de 1.5%), se recomienda usar métodos presurizados, debido al fácil control del agua.

Los sistemas de riego por inundación necesitan microrrelieve plano y liso. El riego por melgas requiere pendientes a lo largo de la tirada menores de 0.5%; pendiente a lo ancho de la melga cercana a cero; y pendiente general menor de 1.5%. Con pendientes mayores en el sentido del riego es común que los productores usen contras (pequeñas represas en los surcos o en las melgas) para distribuir mejor el agua, asegurar la infiltración y evitar la erosión.

En el caso de surcos, la pendiente a lo largo de la tirada no debe exceder 0.5%, con el fin de evitar problemas de erosión y de distribución del agua; y en el sentido transversal no debe ser mayor del 4.0%.

En general, el riego por aspersión se puede emplear en terrenos con pendientes hasta del 15%; en suelos poco arcillosos; y donde se reduzca la intensidad de aplicación del aspersor en función de la pendiente del terreno. En terrenos con esta pendiente, las tuberías regantes se deben colocar a nivel y las distribuidoras en el sentido de máxima pendiente.

2.1.2.3 Relieve del terreno

Para poder emplear el método de riego superficial (gravedad) en terrenos cuyo relieve tiene montículos o depresiones es indispensable nivelarlos. Cuando el costo del movimiento de volúmenes de tierra en los sistemas de riego por gravedad es muy cercano al costo de instalación de un sistema presurizado, se debe analizar el costo anual de cada uno, con objeto de escoger el más económico.

En suelos profundos se pueden realizar cortes fuertes para efectuar la nivelación; sin embargo, en suelos delgados, al realizar cortes ligeros se puede quitar la capa fértil, lo que afecta la productividad de los cultivos. Si esto puede ocurrir, es mejor emplear los sistemas de riego presurizados.

En el riego por aspersión mientras mayor es la presión de operación del aspersor, menor es el efecto del microrelieve del terreno en la uniformidad de descarga de los aspersores. La diferencia de gastos máxima permisible, entre los aspersores críticos de una regante estándar, es del 10%; lo cual corresponde a una diferencia de sus presiones de operación del 21%. La presión de operación de los aspersores estándar es de $\pm 3.0 \text{ kg/cm}^2$ (30 m), lo que permite una diferencia de presión de $\pm 0.6 \text{ kg/cm}^2$ (6m); por lo que desniveles de dos a tres metros no influyen mucho en la descarga de los aspersores.

2.1.2.4 Velocidad de infiltración básica del agua en el suelo

Para seleccionar el método de riego que permita un manejo eficiente del agua se debe conocer la velocidad con que el agua se infiltra en el suelo. Esta velocidad depende de la textura del suelo (cuadro 17).

Cuadro 17 Velocidad de infiltración básica del agua y capacidad de retención en el suelo

TEXTURA DEL SUELO Y TAMAÑO DE PARTÍCULAS	VELOCIDAD DE INFILTRACION BÁSICA (cm/h)	CAPACIDAD DE RETENCION (mm/cm)
Textura muy gruesa: arenas gruesas (1 a 2 mm)	> 10.0	0.3 - 0.6
Textura gruesa: arenas gruesas, arenas finas y arenas arcillosas (0.5 a 1.0 mm)	5.5 - 10.0	0.5 - 0.8
Textura Moderadamente gruesa: arenas arcillosas y franco arenoso (0.25 a 0.50 mm)	4.0 - 5.5	0.6 - 0.8
Textura media: franco, franco arenoso, franco arcilloso (0.10 a 25 mm)	2.0 - 4.0	1.0 - 2.0
Textura moderadamente fina: franco arcilloso, arcilla, arcilla arenosa (0.01 a .05 mm)	1.0 - 2.0	1.3 - 2.1
Textura fina: arcilla, arcilla limosa (menor de .01 mm)	0.5 - 1.0	1.4 - 1.8

En suelos arenosos, la velocidad de infiltración es muy rápida, mientras que en los arcillosos es más lenta. En la mayoría de los suelos, la velocidad de infiltración es más rápida en los primeros 20 a 30 minutos del riego, debido a que el agua ocupa los espacios grandes y conforme se saturan, se reduce el efecto de absorción capilar (lámina 24).

Cuando la velocidad de infiltración básica del agua en el suelo es de media a baja (<3.0 cm/h) con los métodos superficiales, como surcos y melgas, se pueden lograr altas eficiencias, con facilidad y bajo costo. En suelos con velocidad de infiltración básica de media a alta (mayor de 3.0 cm/h), los métodos de riego por aspersión y goteo permiten obtener altas eficiencias con facilidad. En suelos con velocidad de infiltración básica media (de 1 a 3 cm/h) se puede emplear cualquiera de los tres métodos de riego.

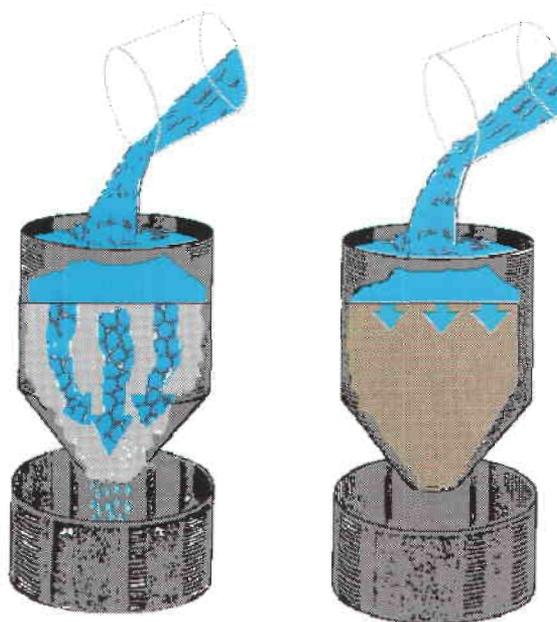


Lámina 24 Velocidad de infiltración en suelos de textura gruesa y fina

En los sistemas de aspersión se presentan dos casos; el primero, cuando se emplean sistemas de aspersión que aplican láminas de riego grandes, mayores de 5 cm, tales como: portátil manual y mecanizado (*side-roll* y *power roll*), en los que la intensidad de aplicación de los aspersores no debe exceder a la velocidad de infiltración básica del agua en el suelo, con el fin de evitar encharcamientos o escurrimientos superficiales; y el segundo caso, cuando se riega con sistemas móviles que aplican láminas pequeñas en intervalos cortos de tiempo, tales como: cañones viajeros y pivotes centrales; en este caso, se pueden emplear intensidades de aplicación mayores que la infiltración básica, pero con láminas de riego pequeñas, menores de 2.0 cm, para que no escurra el agua.

2.1.2.5 Efecto de la capacidad de retención de humedad

La capacidad de retención de humedad es la cantidad de agua que retiene el suelo después de que se ha regado y drenado el agua libre por acción de la gravedad. La capacidad de retención de humedad está asociada con la textura del suelo. El cuadro 17 presenta valores típicos expresados como la lámina de agua (mm) que retiene un suelo por centímetro de espesor. Mientras más arcilloso es el suelo, más agua retiene debido a su mayor porosidad; por el contrario, entre más arenoso es, menor es su capacidad de retención de humedad.

En el riego por gravedad se requieren intervalos grandes de riego, debido a las necesidades de mano de obra para regar; por lo que los suelos de alta capacidad de retención de humedad se adaptan bien a este método de riego. Con el riego presurizado se pueden aplicar láminas de riego pequeñas con intervalos cortos de tiempo; como los suelos de baja capacidad de retención sólo pueden recibir láminas pequeñas de riego, este método se adapta bien a ellos.

El espesor del suelo agrícola es muy importante para determinar la capacidad total de retención de humedad. Los datos del cuadro 17 se deben multiplicar por el espesor del suelo para obtener la lámina total retenida por el suelo. Cuando se nivelan los suelos se debe dejar suficiente capacidad de retención de humedad para el riego por gravedad. Cuando hay baja capacidad de retención de humedad en el suelo deben usarse sistemas de riego presurizado.

2.1.2.6 Salinidad del suelo y del agua

La concentración y el tipo de sales solubles en el agua de riego son factores importantes que se deben considerar en la selección del sistema de riego. En general, se pueden presentar tres condiciones de riego relacionadas con la salinidad de los suelos.

La primera, cuando se requiere lavar suelos ya ensalitrados. En este caso, los sistemas de riego superficiales por inundación total, como melgas y cajetes tienen ventajas sobre los otros métodos de aplicación del agua.

La segunda, cuando se necesita mantener un balance de sales en la zona de raíces. En este caso, se aplica una lámina de sobrerriego, para desplazar las sales hacia abajo y evitar su

acumulación en la zona de raíces. Esto se consigue con cualquier sistema de riego bien manejado.

La tercera condición relaciona la productividad de los cultivos con las sales del suelo. El esfuerzo que realizan las plantas para absorber agua del suelo depende de la presión osmótica de la solución del suelo y de la fuerza con que éste retiene el agua.

Bajo esta última condición, los sistemas de riego se adaptan de la siguiente manera: en primer lugar, los sistemas de riego con intervalos de tiempo cortos entre aplicaciones y que no mojan su follaje, como el goteo y la microaspersión. A continuación, sigue el riego por aspersión con riegos en intervalos cortos, ya que cuando se asperjan cultivos con aguas salinas se pueden dañar las hojas y por último los sistemas de riego por gravedad.

2.1.2.7 Acción del viento

La acción del viento puede afectar la eficiencia de aplicación del agua en riego por aspersión. El patrón de mojado de los aspersores es muy sensible a la acción del viento, ya que éste provoca que se aplique menos agua en el lado donde llega el viento y más agua en el lado contrario (lámina 25).

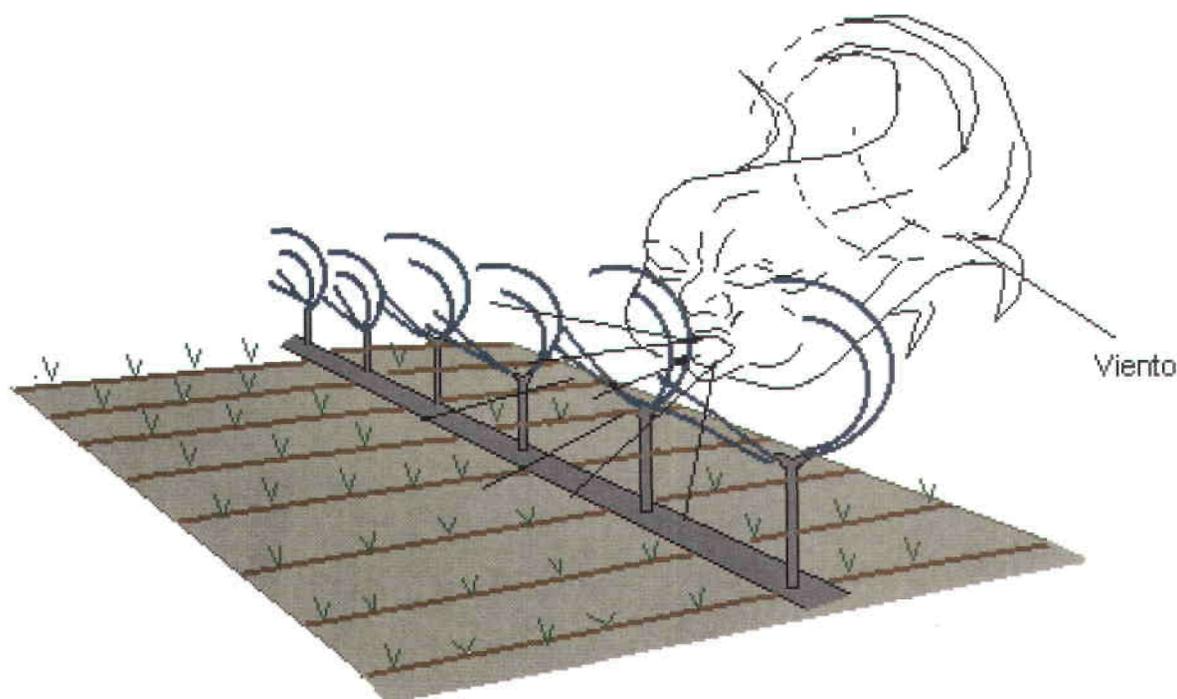


Lámina 25 Influencia de la velocidad del viento en la uniformidad de aplicación del aspersor

2.1.2.8 El gasto disponible

El gasto disponible influye en la selección del sistema de riego. La ventaja de usar sistemas de conducción con alta eficiencia, es mayor mientras menor es el gasto disponible. Cuando los gastos son menores de 60 lps, los sistemas entubados de alta o baja presión tienen grandes ventajas con respecto a los de gravedad, ya que permiten minimizar las pérdidas de agua por conducción y facilitan la aplicación.

2.1.2.9 El costo del agua

Cuando el agua se extrae de un acuífero subterráneo, mediante un equipo de bombeo con motor eléctrico, los costos de producción se incrementan grandemente respecto de los sistemas de riego por gravedad. El aumento de este costo depende de la profundidad de extracción del agua; de la cantidad de agua perdida en la conducción; y del volumen de agua aplicado a los cultivos.

Para reducir el consumo de energía, el equipo de bombeo debe trabajar con su máxima eficiencia. La eficiencia del equipo de bombeo se debe evaluar periódicamente, midiendo el consumo de energía, el gasto y la carga de operación (lámina 26).



Lámina 26 Medición del consumo de energía de un equipo de bombeo

Por esta razón, mientras mayor es el costo del agua, más se justifica el uso de sistemas de conducción entubados o sistemas de riego presurizados. La aplicación eficiente del agua con estos sistemas permite reducir los volúmenes de agua y, en consecuencia, el ahorro de energía con el que se puede pagar la inversión en los sistemas de riego.

La mano de obra requerida por los sistemas de riego varía de acuerdo con los movimientos manuales de sus componentes; El cuadro 18 presenta indicadores típicos de la mano de obra necesaria.

Cuadro 18 Mano de obra requerida (h/ha)

TIPO DE SISTEMA	MANO DE OBRA (h/ha)
Aspersión fijo	0.1 - 0.3
Portátil manual	1.2 - 3.7
Tubería rodante mecanizada	0.2 - 0.7
Tubería regante	0.1 - 0.4
Aspersor móvil (cañón viajero)	0.5 - 1.2
Melgas a nivel	0.2 - 1.3
Melgas con pendiente	0.5 - 2.5
Cajetes	1.0 - 3.0
Surcos a nivel	0.5 - 1.7
Surcos con pendiente	1.0 - 3.0
Corrugaciones	1.0 - 3.0
Goteo	0.1 - 0.3

Cuando el costo del agua es bajo, es difícil justificar el uso de sistemas de riego presurizados en terrenos planos, con texturas de francas a arcillosas.

2.1.2.10 Los objetivos del productor

Para los productores que siembran hortalizas de alto valor comercial, es importante la uniformidad de distribución del agua, fertilizantes y otros agroquímicos. Por esta razón, es mejor el uso de sistemas de riego por goteo.

Los agricultores que producen cultivos de cobertura total como la alfalfa, pueden usar sistemas de riego por melgas o aspersión. Los fruticultores pueden utilizar sistemas de riego superficial como cajetes o sistemas de microaspersión. Cuando el productor necesita regar diferentes lotes con el mismo sistema de riego, lo puede hacer con sistemas portátiles.

Para resumir, el cuadro 19 muestra los factores más importantes que afectan la selección del método de riego.

Cuadro 19 Factores que afectan la selección del método de riego

FACTOR	OPCIÓN	SISTEMA DE RIEGO POR GRAVEDAD
Cultivo	Hileras (alta y baja densidad) Cobertura total Arbol	Gravedad y presurizado Gravedad y presurizado Gravedad y presurizado
Textura	Arenosa Franco Arcilloso	Presurizado Gravedad y presurizado Gravedad
Pendiente General S (%)	$0 < S \leq 1.5$ $1.5 < S \leq 10$	Gravedad y presurizado Presurizado
Relieve	Plano Ondulado	Gravedad y presurizado Gravedad
Velocidad viento V_v (km/h)	$0 < V_v \leq 15$ $15 < V_v \leq 20$	Gravedad y presurizado Gravedad
Gasto disponible Q (lps)	$0 < Q \leq 30$ $30 < Q \leq 100$	Presurizado Gravedad

Nota: Los indicadores recomendados son para realizar la selección en condiciones favorables

2.1.3 Ejemplos de selección de métodos de riego

Ejemplo: Un agricultor desea seleccionar el método de riego que se adapta mejor a un cultivo de alfalfa, en un suelo arenoso, con una pendiente general de 3.2%, relieve plano, velocidad del viento de 16 km/h y un gasto disponible de 20 lps.

Con base en estas condiciones resulta:

Alfalfa (cobertura total)	Gravedad y presurizado
Textura (arenosa)	Presurizado
Pendiente (S=3.20%)	Presurizado
Relieve (plano)	Gravedad y presurizador
Velocidad viento (16 km/h)	Gravedad
Gasto disponible (20 lps)	Presurizado

Como puede observarse el método de riego por gravedad se adapta únicamente a tres factores; mientras el presurizado se adapta a todos excepto a la, velocidad del viento, por lo que se debe poner a atención a éste factor en el diseño.

El mismo agricultor desea regar alfalfa en una parcela cercana con una velocidad de infiltración de 0.2 cm/h y con una pendiente general de 0.2%. Con base en estas nuevas condiciones resulta:

Alfalfa (cobertura total)	Gravedad y presurizado
Textura (arcillosa)	Gravedad
Pendiente (S = 0.2%)	Gravedad y presurizado
Relieve (plano)	Gravedad y presurizado
Velocidad del viento (16 km/h)	gravedad
Gasto disponible (20 lps)	Presurizado

Como puede observarse el método de riego presurizado se adapta únicamente a cuatro factores y está limitado por la textura y velocidad del viento, por lo que se debe poner atención a la velocidad de infiltración durante el diseño.

El método de riego por gravedad se adapta a todos los factores excepto el gasto, por lo que durante el diseño éste será el factor limitante.

2.2 El método de riego superficial (gravedad)

Una vez seleccionado el método de riego superficial (gravedad), se procede a elegir el tipo de sistema de riego; para esto es necesario conocer las diferencias de cada uno, así como los factores que afectan su selección. Antes de tomar la decisión final debe compararse el costo y el retorno de la inversión de los sistemas que se adapten técnicamente.

Para obtener el mayor beneficio del sistema de riego superficial, se debe manejar lo más tecnificado posible. Esta tecnificación consiste en combinar correctamente los trabajos necesarios con las características del sistema de riego y del suelo, que son: la medición del agua de riego; la flexibilidad en la oportunidad de aplicación del agua de riego; el nivelado preciso de la superficie; la longitud de la tirada de riego; la separación de los surcos o el ancho de la melga; el gasto adaptado a la pendiente y al suelo; y usar paquete agrícola técnico.

Manejar los sistemas de riego superficiales en forma tecnificada trae como consecuencia: obtener alta uniformidad de distribución del agua en el suelo; facilitar la mecanización de las actividades agrícolas; aumentar la productividad de regadores y de los cultivos. Cuando el manejo del sistema permite conseguir las ventajas anteriores, el resultado es mayor rentabilidad de los cultivos y en consecuencia más beneficio para el productor.

2.2.1 Elementos básicos del sistema superficial

Los componentes básicos de un sistema de riego por gravedad son: la fuente de abastecimiento, el canal o la tubería de conducción, la estructura aforadora o el medidor de flujo, las regaderas, las estructuras de distribución y entrega y la conformación del terreno (lámina 27).

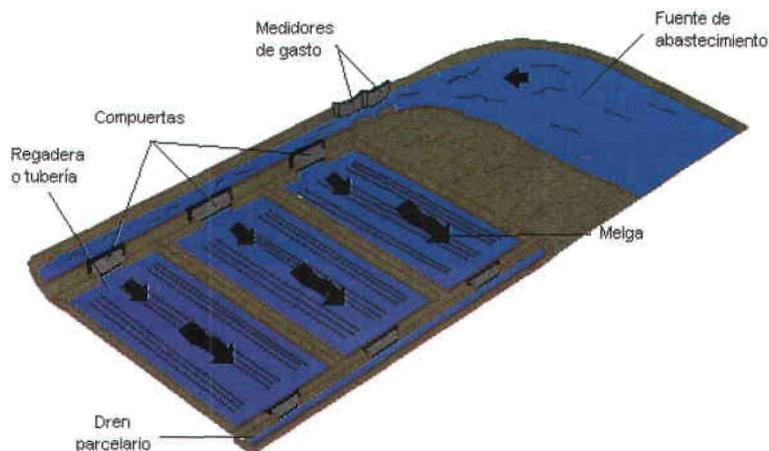


Lámina 27 Elementos de un sistema de riego superficial

Si la fuente de abastecimiento está arriba del nivel del terreno por regar, el agua se puede conducir por gravedad a través de la línea de conducción. Si el agua esta abajo del nivel del terreno, se requerirá una bomba para subirla (lámina 28).



Lámina 28 Pileta y canal de concreto para conducir el agua por gravedad; medición con molinete

La obra de conducción es el medio que sirve para transportar el agua desde la fuente de abastecimiento hasta el terreno por regar; puede ser un canal abierto o una tubería de baja presión. El canal puede ser de tierra o revestido con concreto. La tubería puede ser de fierro, aluminio, asbesto-cemento, concreto, PVC u otros.

La regadera o tubería de conducción se extiende a lo largo de las partes más elevadas de la zona a regar; sirve para entregar el agua en las diferentes áreas del terreno. La estructura de

entrega parcelaria se emplea para liberar el agua que conduce la regadera dentro del terreno, puede ser una compuerta, un sifón o una tubería de compuertas (lámina 29).

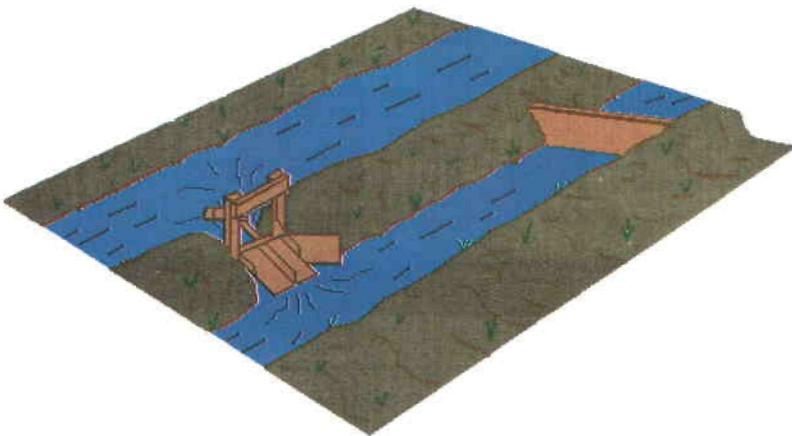


Lámina 29 Represa y estructura (con compuerta) para entregar el agua a la parcela

La conformación del terreno tiene por objeto conducir y aplicar el agua a través del suelo, para lo cual se construyen melgas o surcos que pueden ser rectos o en contorno. La aplicación del agua se controla mejor en terrenos planos, lisos y con la menor pendiente.

2.2.2 Descripción de los sistemas de riego superficiales

Los sistemas de riego superficiales se pueden clasificar de acuerdo con su pendiente en dos tipos: riego a nivel, cuando la pendiente en el sentido del riego es menor de 0.1%; y riego con pendiente, cuando ésta varía de 0.1% a 0.5 %. Otra forma de clasificar los sistemas de riego superficiales es de acuerdo con el tipo de inundación y se clasifican en inundación total e inundación parcial.

Inundación total: este método consiste en cubrir prácticamente toda la superficie del suelo donde se siembra la semilla, con una lámina uniforme de agua. El método de inundación total tiene los siguientes sistemas de riego: melgas a nivel, melgas con pendiente y cajetes.

Las melgas son franjas de terreno rectangulares o en contorno, planas y rodeadas por bordos cuya altura varía de 30 a 60 cm y su ancho de 60 a 120 cm. El ancho de la melga comúnmente varía de 4 a 50 m y la superficie de 0.25 a 0.50 hectárea.

En el sistema de riego por melgas a nivel el agua inunda una superficie de terreno hasta que se infiltra, resultando una capa de suelo casi a saturación; luego la humedad se distribuye en el perfil del suelo. Las melgas a nivel pueden ser rectas o en contorno (láminas 30 y 31).

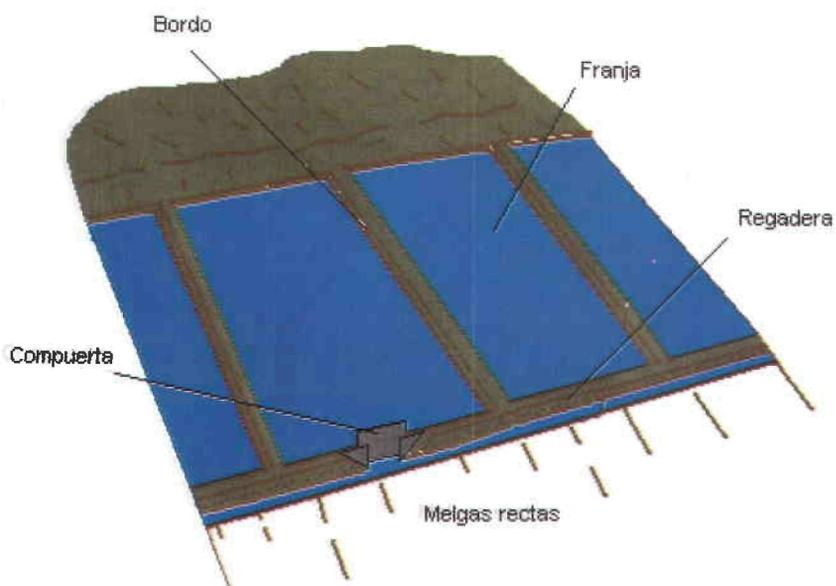
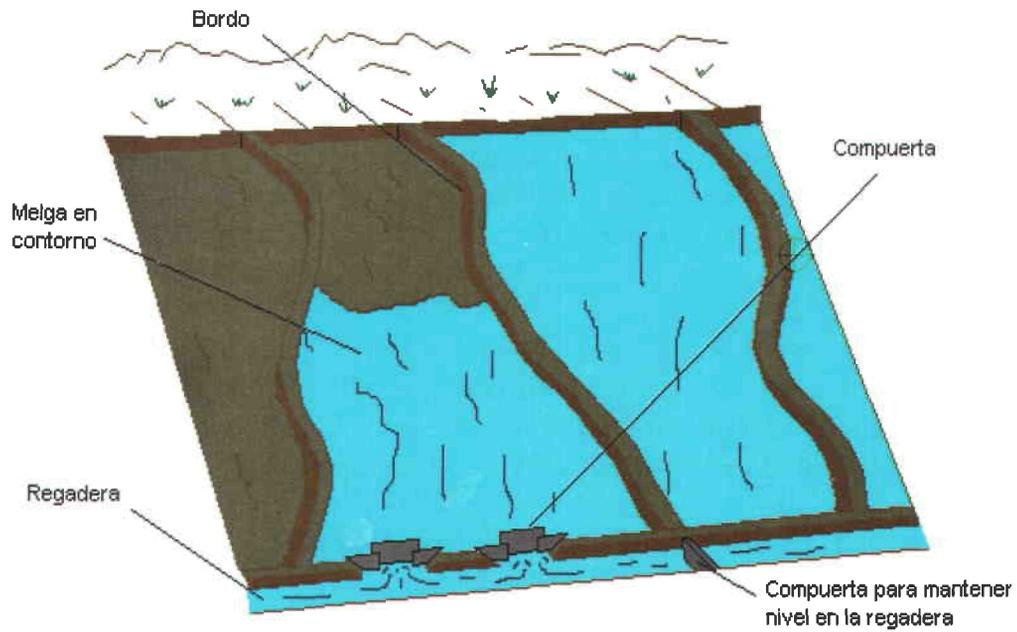


Lámina 30 Elementos de un sistema de riego de melgas a nivel rectas

Lámina 31 Melgas a nivel en contorno



a) Elementos del sistema



b) Melgas en contorno para arroz

En el sistema de melgas con pendiente, el agua se introduce en la parte superior para que avance sobre la superficie del terreno; con un gasto tal, que no erosione el suelo y se infiltre la

lámina necesaria (láminas 32 y 33). Para el mismo tipo de suelo, las melgas con pendiente pueden ser más largas que las melgas a nivel.

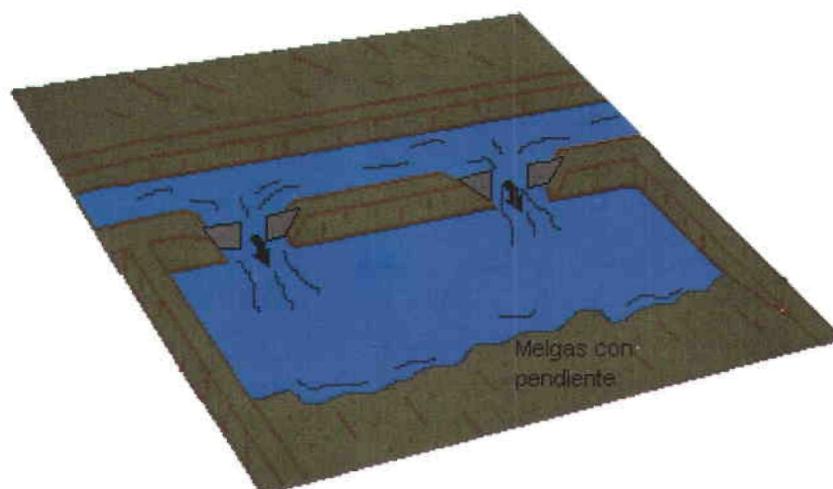


Lámina 32 Sistema de riego de melgas con pendiente



Lámina 33 Melgas con pendiente, regadas con tubería de compuertas

Los cajetes tiene una pequeña superficie de terreno rodeada por bordos, que forman un círculo o rectángulo alrededor de los árboles.

Inundación parcial: en el riego por inundación parcial, el agua cubre parte del terreno, ya que se conduce y aplica mediante pequeños canales o zanjas construidos en el suelo denominados surcos. Una parte del agua corre sobre el fondo del surco y la otra se infiltra en el suelo,

mientras que los bordos se humedecen por capilaridad (lámina 34). El agua que se aplica se controla mediante sifones o tuberías de compuertas (láminas 35).

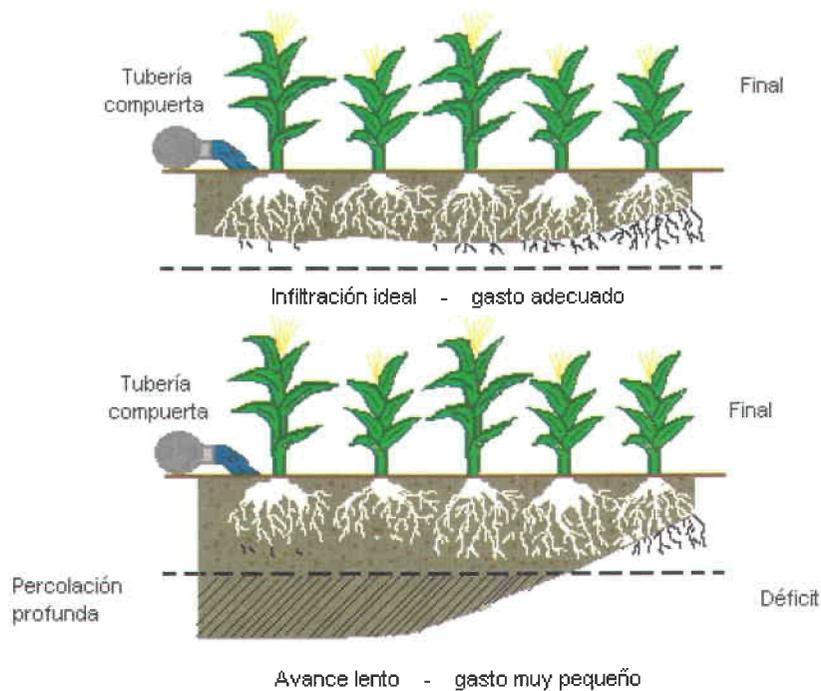


Lámina 34 Patrón de mojado en surcos



Lámina 35 Tuberías de compuertas para aplicar el agua a los surcos

Los sistemas de riego por inundación parcial pueden ser: surcos a nivel rectos (lámina 36) y en contorno; surcos con pendiente; y corrugaciones, pequeños surcos (lámina 37).



Lámina 36 Sistema de riego de surcos a nivel rectos regados con sifones

La separación de los surcos varía de 0.60 a 1.80 m y su profundidad de 0.15 a 0.40 m. La longitud de los surcos a nivel varía desde 50 hasta 200 m, dependiendo de la textura del suelo; los surcos con pendiente pueden tener longitudes mayores, hasta de 400 m.

Las corrugaciones son pequeños surcos preparados para la siembra de cultivos de cobertura total, de semillas muy pequeñas que no germinan cuando el suelo hace costra. Los bordos o camitas que se forman se humedecen gracias a la capilaridad del suelo. La separación varía de 0.15 a 0.60 m y su profundidad de 0.07 a 0.15 metros.



Lámina 37 Sistema de riego por corrugaciones

2.2.3 Factores que afectan la selección del sistema de riego superficial

Los factores más importantes que se deben considerar para la selección y el diseño de los sistemas de riego superficiales son: el cultivo, el suelo, la topografía, el control de sales, el gasto disponible, el clima y los costos.

2.2.3.1 Melgas a nivel (rectas y en contorno)

Cultivos: de cobertura total que soporten inundación parcial y por periodos de dos a tres días como la alfalfa, el maíz, los pastos, el trigo, la avena, la cebada, el nogal, el algodón, etcétera. El arroz es un caso especial ya que se adapta a la inundación por más tiempo.

Suelo: liso o con la menor cantidad de terrones. Textura de franca a arcillosa. Velocidad de infiltración básica de media a baja, menor de 3.0 cm/h. A mayor velocidad de infiltración básica corresponde una menor longitud de la melga.

Control de sales: excelente para este fin, con la aplicación de una lámina de lavado o sobrierigo, las sales se envían a capas inferiores o al sistema de drenaje interno. Debe tenerse cuidado de aplicar mejorador en los suelos con problemas de sodio.

Topografía: terrenos planos y uniformes con pendiente general ligera, menor de 0.5%, se puede emplear en terrenos ondulados o con pendiente ligeramente mayor de 0.5 %, condicionados a que sean suelos profundos que permitan su nivelación y que además, ésta sea viable desde el punto de vista económico.

La pendiente a lo ancho debe ser muy cercana a cero; mientras que a lo largo debe ser menor de 0.10 %, dependiendo del cultivo y el método de siembra, para ayudar al avance del agua. Para el caso del arroz con control de malezas por inundación, la melga debe ser sin pendiente, y el agua debe moverse por efecto del gradiente hidráulico.

Forma: se adapta bien a terrenos de forma geométrica regular y se puede ajustar a terrenos de forma irregular.

Gasto: debe ser lo suficientemente grande, de manera que el agua cubra la superficie de la melga en un cuarto del tiempo requerido para que se infiltre la lámina de riego. El gasto depende del tamaño de la franja a regar y de la textura. Para melgas de 500 m² se usan gastos de 10 a 30 lps, para melgas de 2,000 m² se usan de 20 a 60 lps y para 2,500 m² se usan de 30 a 90 lps. El gasto también se relaciona con el ancho de la melga; a mayor ancho, mayor gasto. En zonas húmedas y subhúmedas se debe preparar drenaje superficial y garantizar la inundación de la melga.

Clima: zonas áridas, semiáridas, húmedas (en el caso del arroz) y subhúmedas.

2.2.3.2 Melgas con pendiente

Cultivo: de cobertura total como alfalfa, pastos, granos pequeños, leguminosas y algunos cultivos en hilera como algodón y maíz.

Suelo: liso o con la menor cantidad de terrones. Textura de franca a arcillosa. Velocidad de infiltración básica de media a baja, menor de 3.0 cm/h. A mayor velocidad de infiltración le corresponde menor longitud de melga.

Control de sales: puede usarse para prevenir ensalitramiento, con aplicaciones de láminas de sobrerriego.

Topografía: terrenos planos y uniformes con pendiente general hasta del 1.5%. A lo ancho de la melga, la pendiente debe ser muy cercana a cero; y a lo largo de la melga con cultivos poco densos puede variar de 0.1 a 0.5 %. En casos especiales, como los suelos con velocidad de infiltración media y cultivos densos, seleccionando el gasto adecuado la pendiente puede ser de 0.5 a 1.0% en el sentido del riego.

Forma: Adaptable a terrenos de geometría regular.

Gasto: debe ser lo suficientemente grande, de tal forma que, el agua cubra totalmente la melga y permanezca en la entrada de ésta ± 1.33 veces el tiempo requerido para que se infiltre la lámina necesaria. El gasto depende del tamaño de la franja a regar: para 500 m² se deben usar gastos de 5 a 15 lps; para 2,000 m² de 10 a 40 lps; para 2,500 m² de 15 a 60 lps. El gasto debe ser directamente proporcional al ancho de la melga y garantizar la inundación uniforme; sin embargo, a mayor pendiente, menor gasto para evitar la erosión.

Clima: zonas áridas, semiáridas o subhúmedas, en estas últimas debe dejarse drenaje superficial para captar los escurrimientos causados por la lluvia.

2.2.3.3 Cuadros y cajetes

Cultivo: se adapta muy bien en frutales.

Suelo: suelo de textura franca a arcillosa, velocidad de infiltración básica menor de 3.0 cm/h.

Control de sales: excelente para este fin, con la aplicación de una lámina de sobrerriego, las sales se envían a capas inferiores o al sistema de drenaje interno.

Topografía: terrenos planos y ligeramente ondulados con pendientes uniformes.

Forma: se adapta a terrenos de geometría irregular.

Gasto: el gasto se conduce con regaderas para un grupo de cuadros o cajetes; depende del tamaño de los cajetes y de la velocidad de infiltración del agua en el suelo. Se manejan gastos de 30 a 150 litros por segundo.

Clima: cualquier tipo.

2.2.3.4 Surcos a nivel (rectos y en contorno)

Cultivo: se adapta muy bien para regar todos aquellos cultivos que se manejan en hilera o en cama como el maíz, el melón, la sandía y las hortalizas. Este método se usa también en suelos que forman costra y con semillas que tienen problemas de germinación.

Suelo: textura de franca a arcillosa. Velocidad de infiltración básica de mediana a baja, menor de 3.0 cm/h. El suelo debe permitir el movimiento capilar del agua o de trasporo. Si la textura tiende a arcillosa, la longitud no debe ser mayor de 200 m; si tiende a ligera, no debe ser mayor de 100 metros.

Control de sales: se puede emplear para prevenir problemas de sales, con la desventaja de que una parte de las sales solubles se acumula en el lomo del surco; sin embargo, sembrando en el fondo del surco o en el talud, se obtienen resultados aceptables.

Topografía: los surcos rectos se adaptan a terrenos planos; mientras que los surcos en contorno a terrenos ondulados y con pendiente uniforme. La pendiente máxima a lo largo del surco debe ser menor de 0.05 por ciento.

Gasto: debe ser lo suficientemente grande como para cubrir la longitud en un cuarto del tiempo requerido para que se infiltre la lámina de riego. El gasto puede variar de 0.5 a 4.0 lps; los surcos grandes (como los de cama melonera) soportan gastos hasta de 6.0 lps. El tiempo de aplicación debe ser al menos el tiempo de avance y menor que el tiempo necesario para que se infiltre la lámina de riego.

Forma: terrenos que permiten surcos de igual longitud.

Clima: áridos y semiáridos.

2.2.3.5 Surcos con pendiente

Cultivo: aquellos que se siembran en hilera

Suelo: textura de media a arcillosa. Velocidad de infiltración básica del agua en el suelo de mediana a baja, menor de 3.0 cm/h. Cuando la velocidad de infiltración es media, la longitud debe ser menor de 200 m; pero cuando es baja, la longitud debe ser menor de 400 metros.

Control de sales: se puede emplear para prevenir acumulación de sales, con la desventaja que una parte de las sales solubles se acumula en el lomo del surco; sin embargo, sembrando en el fondo o en talud, se obtienen resultados aceptables.

Topografía: se adapta a terrenos planos con pendiente, ondulados y uniformes. La pendiente máxima a lo largo del surco no debe ser mayor de 0.5%. Puede usarse en terrenos con pendiente mayores, usando el gasto adecuado para evitar la erosión del suelo.

Gasto: debe garantizar que el agua permanezca en la entrada del surco 1.33 veces el tiempo necesario para que se infiltre la lámina de riego. El gasto debe variar de 0.5 a 3.0 lps, dependiendo de la velocidad de infiltración y de la pendiente para evitar que erosione.

Forma: Cualquier forma.

Clima: zonas áridas, semiáridas, húmedas y semihúmedas, en éstas últimas construyendo desagües para los excedentes de lluvia.

2.2.3.6 Corrugaciones

Cultivo: aquellos que requieren siembra densa como el trigo, las leguminosas y los pastos. Es excelente para los cultivos con semillas de bajo poder de emergencia en suelo que forman costra.

Suelo: textura de franca a arcillosa. Infiltración básica del agua en el suelo, de media a baja, menor de 3.0 cm/h; se adapta muy bien en suelos que forman costra, porque al humedecer el lomo de la corrugación por capilaridad, no la forman permitiendo la germinación.

Control de sales: no se debe emplear para controlar sales.

Topografía: terrenos ondulados y uniformes con pendiente general hasta del 4 %, siempre que las corrugaciones sean trazadas en contorno, la pendiente a lo largo de la tirada puede ser hasta del 2.0 por ciento.

Gasto: debe ser suficiente para regar varias corrugaciones y además el gasto en cada una de éstas debe ser tal, que el tiempo de aplicación sea 1.33 veces el tiempo necesario para que se infiltre la lámina de riego. En general, el gasto por corrugación es menor de 1.0 litros por segundo.

Forma: cualquier forma.

Clima: zonas áridas y semiáridas.

El cuadro 20 resume los factores que afectan la selección de un sistema de riego superficial.

Cuadro 20 Factores que afectan la selección del sistema de riego superficial

FACTOR	OPCION	SISTEMA DE RIEGO POR GRAVEDAD
Cultivo	Hileras (alta y baja densidad) Cobertura total Arbol	Melgas y surcos Melgas Cajetes
Textura	Arenosa Franco Arcilloso	Ninguno Melgas y surcos Melgas
Pendiente tirada S_t (%)	$0.0 < S_t \leq 0.01$ $0.01 < S_t \leq 0.10$	Melgas y surcos Melgas
Pendiente transversal S_a (%)	$0.0 < S_a \leq 0.01$ $0.01 < S_a \leq 0.10$	Melgas y surcos Surcos
Relieve	Plano Ondulado	Melgas Surcos

Ejemplo: Se ha seleccionado el método de riego por gravedad para alfalfa en un suelo de textura franca, la pendiente sobre la tirada de riego es de 0.005%, la pendiente transversal de 0.002% el relieve es plano.

Con base a estos datos:

Alfalfa (cobertura total)	Melgas
Textura (franco)	Melgas y surcos
Pendiente tirada ($0 < S \leq 0.01\%$)	Melgas y surcos
Pendiente transversal ($S < 0 \leq 0.01$)	Melgas y surcos
Relieve (plano)	Melgas y surcos

Como puede observarse el sistema de melgas se adapta a cinco factores y no tiene ningún factor limitante.

2.3 Sistemas de riego presurizado

En los sistemas de riego presurizado el agua es conducida desde la fuente de abastecimiento hasta los puntos de aplicación del agua mediante tuberías, con una presión mayor que la atmosférica. El agua se suministra mediante emisores que la dispersan en el suelo, humedeciendo la zona de las raíces. Estos emisores permiten aplicar la cantidad de agua requerida por el cultivo en intervalos cortos de tiempo. La diferencia de gasto de los emisores críticos de un sistema de riego presurizado, bien diseñado y operado, no debe exceder el 10 por ciento.

2.3.1 Elementos básicos del método de riego presurizado

Las partes básicas de cualquier sistema presurizado son: la fuente de abastecimiento, la unidad de bombeo, la unidad de control general, la tubería de conducción, las tuberías de distribución, las tuberías regantes, los emisores y el equipo de medición y control (láminas 38).

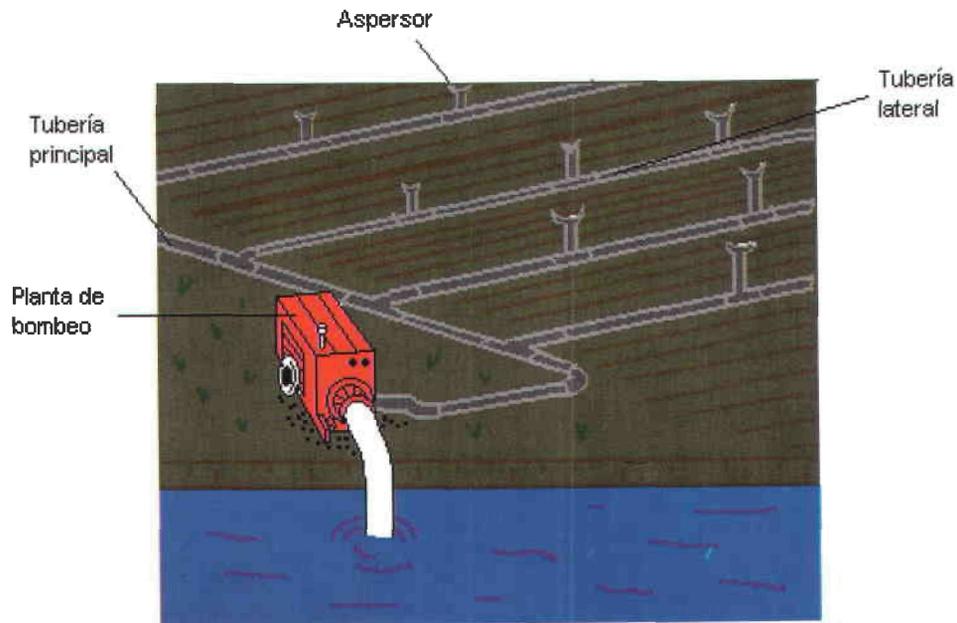


Lámina 38 Elementos básicos de un sistema de riego presurizado

Existen equipos como el de filtración y de fertilización que se emplean generalmente en goteo y microaspersión (lámina 39).

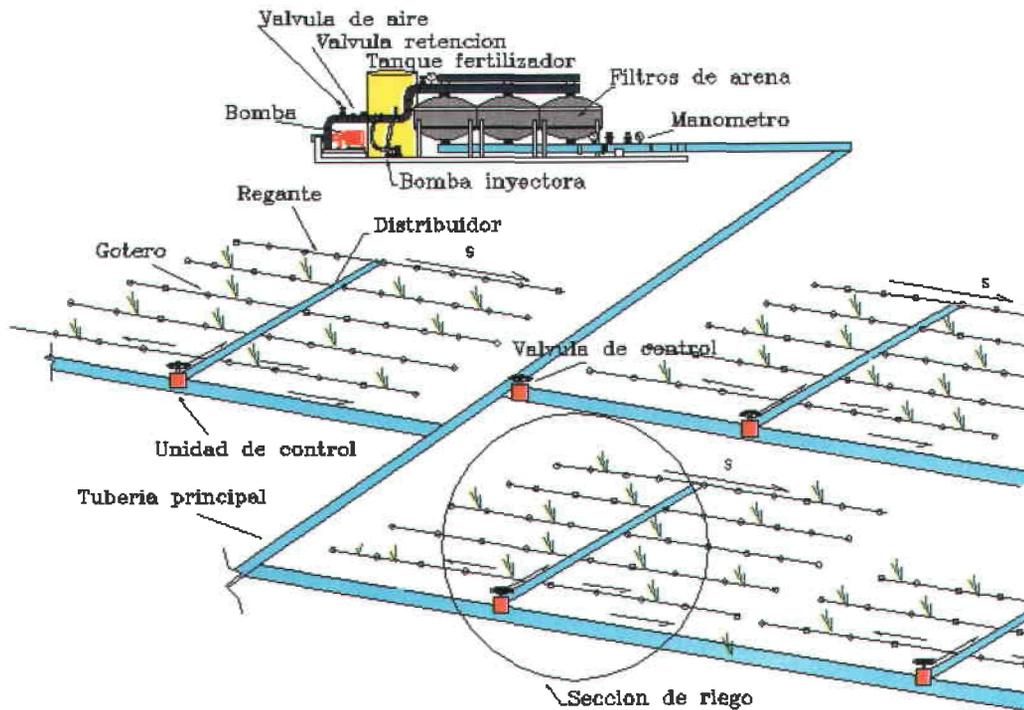


Lámina 39 Elementos de un sistema de riego por goteo

La unidad de bombeo consiste de una bomba y su motor, que proporcionan la energía necesaria para extraer el agua de la fuente de abastecimiento que puede ser un estanque, un canal o un acuífero subterráneo. La unidad de bombeo genera la presión necesaria para que el agua sea conducida a lo largo del sistema de tuberías hasta los emisores. El motor de la bomba puede ser eléctrico (lámina 40) o de combustión interna (lámina 41). El ahorro de energía de un equipo de bombeo, con motor eléctrico, depende de que haya sido seleccionado para la condición de mínima presión de operación del sistema presurizado.



Lámina 40 Bomba propulsada por un motor eléctrico

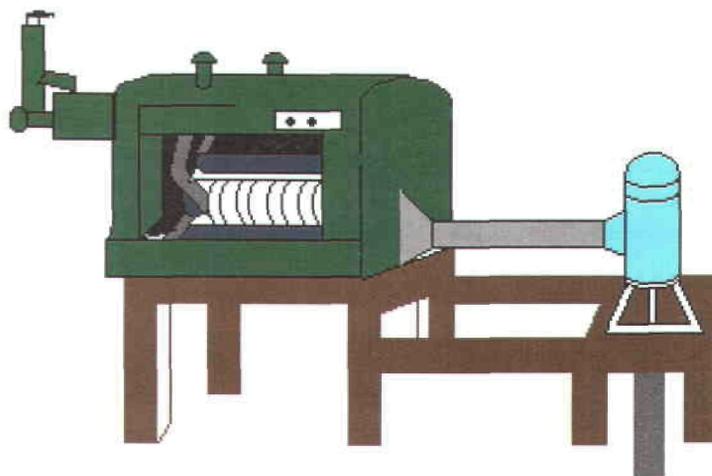


Lámina 41 Bomba propulsada por un motor diesel

La unidad de control general se compone de válvulas, manómetros, medidores de gasto y accesorios, que permiten conocer y controlar el funcionamiento del sistema (láminas 42 y 43).

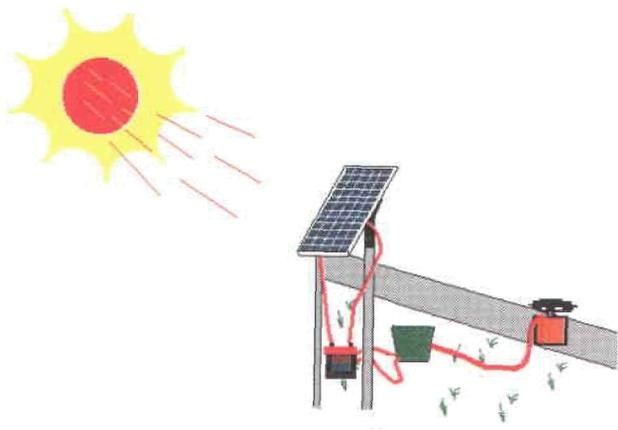


Lámina 42 Energía solar como sustituto de la energía eléctrica para el control de válvulas

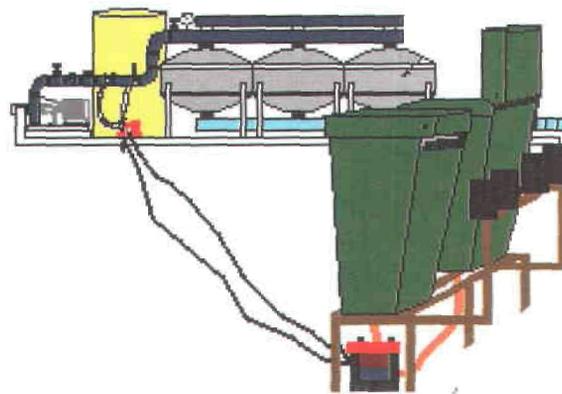


Lámina 43 Unidad de control autónomo para programar y registrar los volúmenes de agua y fertilizante

El sistema de tuberías conduce el agua desde la fuente abastecimiento hasta los emisores. Las tuberías de conducción de los sistemas presurizados en general pueden ser de PVC y de aluminio. El sistema de conducción se divide en tuberías de tres niveles que son: la red principal o de conducción, las tuberías distribuidoras y las regantes.

La red principal tiene la función de conducir el agua desde la unidad de bombeo hasta la parcela, donde se encuentran las unidades y secciones de riego. Esta tubería principal se conecta a cada unidad de riego mediante un dispositivo conocido como unidad de control autónomo. Dicha unidad tiene una válvula, regulador de presión, manómetro, codos, niples y otros accesorios (Lámina 44 y 45).

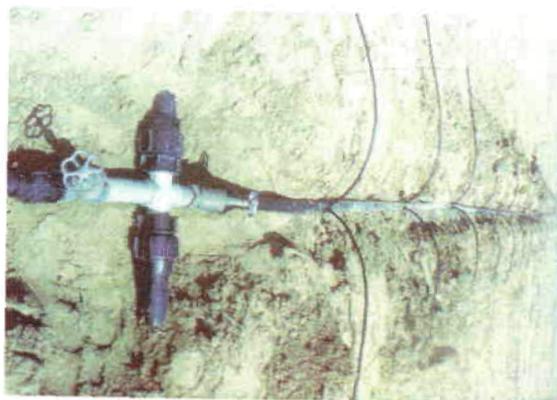


Lámina 44 Válvulas para controlar los distribuidores de la sección de riego



Lámina 45 Unidad de control de una sección de riego

La tubería distribuidora se localiza dentro de la unidad de riego. Es de salidas múltiples y conduce el agua por la parcela, desde la unidad de control autónomo hasta cada una de las tuberías regantes. Las salidas de esta tubería pueden ser de dos tipos: simple, cuando tiene tuberías regantes de un solo lado; o doble, si tiene regantes conectadas a ambos lados. El tipo de tubería distribuidora depende de la pendiente del terreno. La tubería regante conduce el agua desde el distribuidor hasta cada uno de los emisores.

En los sistemas de goteo y microaspersión se diferencian los tres niveles de tuberías. Mientras que los sistemas de aspersión, como el de tuberías rodantes, se identifican dos niveles; pues las regantes se conectan directamente en la red principal.

El equipo de medición tiene dos tipos de medidores: el caudalímetro o medidor de flujo, que en general es de hélice; y los manómetros, que se localizan en puntos estratégicos y mediante los cuales se detectan las variaciones de presión a lo largo del sistema de tuberías. Si la presión es adecuada indica que el gasto de operación es correcto.

El emisor entrega el agua en un área del terreno determinada. El emisor es una parte muy importante del sistema presurizado, ya que de éste depende el diseño. El tipo del sistema presurizado depende del emisor empleado. A continuación se indican los rangos de presión y gasto de operación de los emisores:

El sistema de goteo maneja emisores con la más baja carga hidráulica de operación, de 4.0 a 12.0 m y gastos que varían de 0.25 a 8.0 lph; el sistema de borboteo, con emisores cuyas cargas son un poco mayores que las de los goteros y gastos que varían de 10 a 500 lph; el sistema de microaspersión, con emisores de cargas de 8 a 25 m y gastos de 15 a 200 lph; y el de aspersión, con los emisores de cargas (más altas), de 20 a 70 m y gastos desde 0.25 lps hasta 30.0 litros por segundo.

El sistema de filtrado es indispensable en el riego por goteo y por microaspersión. Como los emisores de estos sistemas son de bajo gasto, requieren áreas de paso muy pequeñas, por lo que son susceptibles a la obstrucción total o parcial, causada por material orgánico o inorgánico, y precipitación de sustancias químicas.

Este equipo se localiza después de la bomba y del fertilizador. El número de piezas depende del gasto y de la pureza del agua empleada para el riego. Las filtros más comunes son de malla, de discos, de arena y el decantador ciclónico (láminas 46 y 47).

La función del equipo de fertilización es inyectar la solución fertilizadora al sistema de riego; se tienen los siguientes tipos: la bomba fertilizadora, el inyector hidráulico y la bomba adicional. El equipo de fertilización se puede emplear en casi todos los sistemas de riego presurizado y se instala antes del filtro.



Lámina 46 Sistema de filtrado con hidrociclones y filtros de mallas



Lámina 47 Filtros de grava y de mallas para agua de un canal o de un río

2.3.2 Descripción de los sistemas de riego presurizado

Una clasificación de los sistemas presurizados, basada en la forma de aplicar el agua al cultivo, por medio de sus emisores, es la siguiente: goteo, borboteo, microaspersión y aspersión.

En general, los sistemas de riego presurizado permiten la mecanización y automatización de las operaciones agrícolas como la aplicación de fertilizantes, de herbicidas, de químicos y de trabajos de cosecha.

2.3.2.1 Sistemas de goteo

Los goteros se puede agrupar en dos grandes grupos según su tipo de emisión: gotero de emisión puntual o individual (láminas 48 y 49) y tubería de emisión continua (cinta regante). Existen en el mercado gran cantidad de goteros puntuales o de molde, pero los que mejores resultados proporcionan son los de flujo turbulento, debido a que no los afectan los cambios de temperatura del agua.

En los goteros de emisión puntual, el patrón de mojado consiste de una franja sobre el suelo. El espaciamiento entre emisores varía de 0.5 a 1.0 m, dependiendo del alcance capilar del agua en el suelo; espaciamientos menores entre goteros aumentan mucho su costo de adquisición. Estos emisores deben durar más de siete años, ya que la calidad de su material y fabricación es alta, y en consecuencia también su costo de adquisición. Se fabrican con molde, por lo que el coeficiente de variación de emisión es bajo, lo que permite obtener alta uniformidad de emisión, en condiciones de campo.

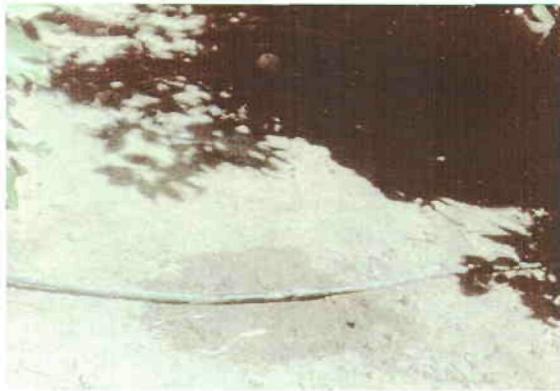


Lámina 48 Gotero de emisión puntual insertado en la tubería



Lámina 49 Goteros en línea para regar vid

En los goteros de emisión continua o cintas regantes, el patrón de mojado tiende a ser una franja continua, ya que el espaciamiento entre emisores es muy pequeño, menor de 0.50 m (láminas 50, 51 y 52). Los emisores duran desde un ciclo de cultivo hasta uno o dos años, ya que se fabrican con materiales de menor calidad y en consecuencia su costo de adquisición es menor. No se fabrican con molde, por lo que su uniformidad de emisión es baja. La tendencia actual es fabricar con molde los goteros integrados a las cintas, con objeto de abaratar costos y aumentar la uniformidad de distribución.

Los sistemas de riego por goteo deben estar diseñados para evitar encharcamientos, en caso de que éstos se presenten, no deben exceder el 10% del área sembrada.



Lámina 50 Cinta regante



Lámina 51 Cinta regante de polietileno con regulador de presión



Lámina 52 Acolchado que cubre a la línea regante para evitar el crecimiento de malas hierbas

2.3.2.2 Sistemas de borboteo

El desarrollo de los sistemas de borboteo también ha dependido de la industria de los plásticos; su uso comercial es más reciente. Tuvieron su origen en la necesidad de regar frutales en suelos pesados, para evitar el escurrimiento fuera de la zona del árbol.

Los sistemas de borboteo son similares a los de microaspersión. La diferencia radica en el emisor, ya que en vez de microaspersores se usan borboteadores.

2.3.2.3 Sistemas de microaspersión

En general, los microaspersores tienen dos elementos importantes: la boquilla y el difusor; del primero, depende el gasto entregado por el emisor; del difusor, depende el diámetro o alcance de mojado. Estos dos elementos se pueden intercambiar y la combinación de las diferentes medidas de boquilla y tipos de difusor, permite proporcionar el gasto necesario al árbol durante toda su vida. Los difusores tienen varios tipos de funcionamiento y formas de asperjar el agua, como la nebulización, la lluvia y los chorros. El microaspersor toma el agua de un "tubín", que está conectado a la línea regante (lámina 53). Los microaspersores se deben seleccionar para evitar encharcamientos y escurrimientos (láminas 54).



Lámina 53 Microaspersor de estrella



Lámina 54 Microaspersor rotatorio

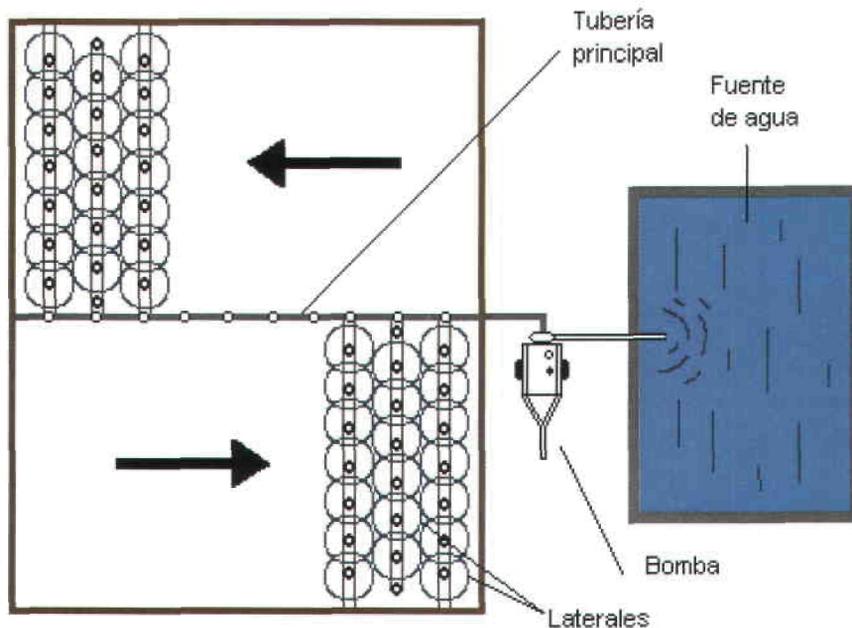
2.3.2.4 Sistemas de aspersión

Por su tipo de funcionamiento los aspersores se pueden clasificar en los siguientes tipos: estándar de impacto con una o dos boquillas; cañón de impacto; cañón de turbina; emisor de superficie y emisor emergente. Los cuatro primeros se emplean en actividades agrícolas, mientras que los dos últimos en actividades de jardinería.

En los sistemas de riego por aspersión, generalmente se emplean aspersores de impacto, de círculo completo y pueden ser de una o dos boquillas. La intensidad de aplicación y el asperjado dependen del tipo y tamaño del aspersor; así como, del espaciado entre éstos y las tuberías. Las tuberías normalmente son de aluminio o de PVC resistente a la intemperie.

Existe gran variedad de sistemas de aspersión que se adaptan a las diferentes condiciones de campo. Estos sistemas se pueden clasificar por la forma en que se desplazan sobre el terreno en: fijos, semifijos, portátiles manuales, de tubería rodante mecanizada (*side roll*) y de movimiento continuo (láminas 55).

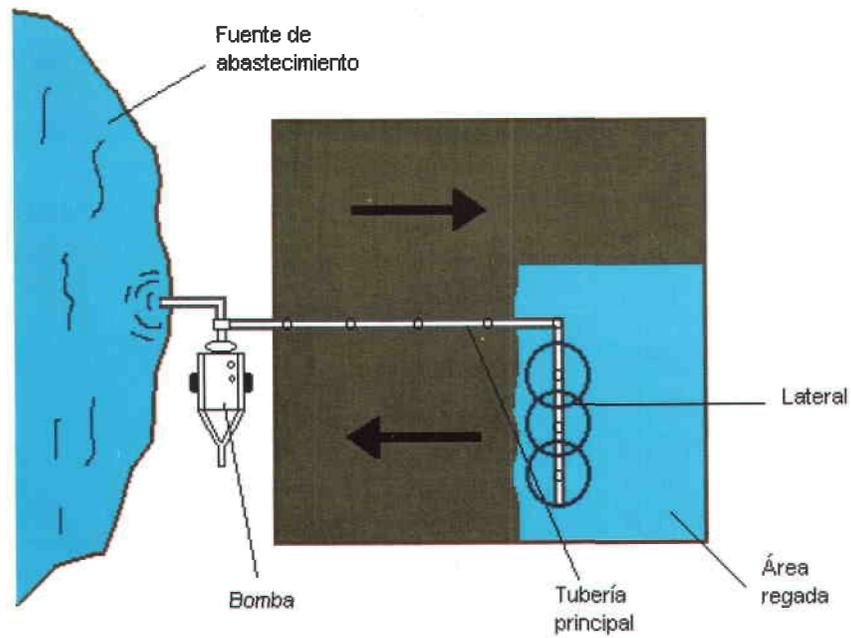
Lámina 55 Sistemas de riego por aspersión



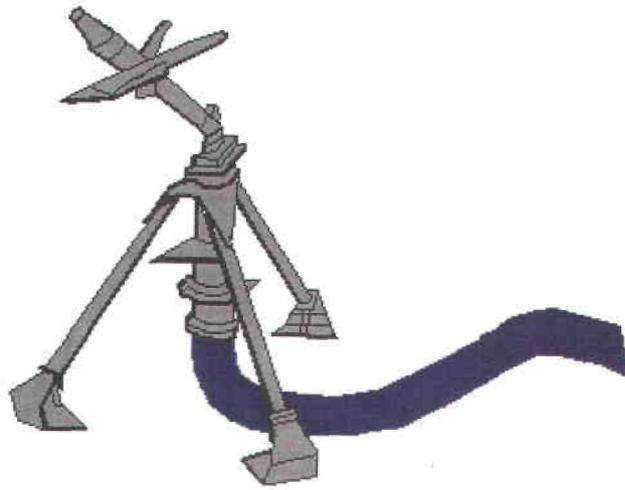
a) Aspersión portátil con seis líneas simultáneas



b) Sistema de aspersión fijo de bajo ángulo para regar plátano



c) Aspersión portátil con un solo lateral



d) Cañón movido manualmente

En los sistemas de aspersión semifijos las tuberías principales son enterradas, mientras que las secundarias y las regantes son portátiles, con el fin de mantenerlas instaladas durante el ciclo del cultivo y levantarlas para preparar el terreno o para cambiarlas a otro sitio. Los cambios de posición se facilitan por el uso de las válvulas de hidrante (lámina 56) y los dispositivos para el acoplamiento de las tuberías (láminas 57) .

En los sistemas de tuberías rodantes mecanizados (*side roll* y *power roll*), la línea principal está enterrada y dispone de hidrantes en puntos estratégicos para conectar las tuberías rodantes. Con objeto de aplicar el agua por tandas, una tubería regante permanece en el mismo lugar durante el intervalo de tiempo necesario para aplicar la lámina de riego, y luego transportarla mecánicamente a la siguiente posición o hidrante. Esta operación se repite hasta cubrir todo el terreno.

Los sistemas de tubería rodante mecanizada tienen un pequeño tractor que genera un esfuerzo de torsión, el cual hace que la tubería gire. El giro se transmite a las ruedas en que

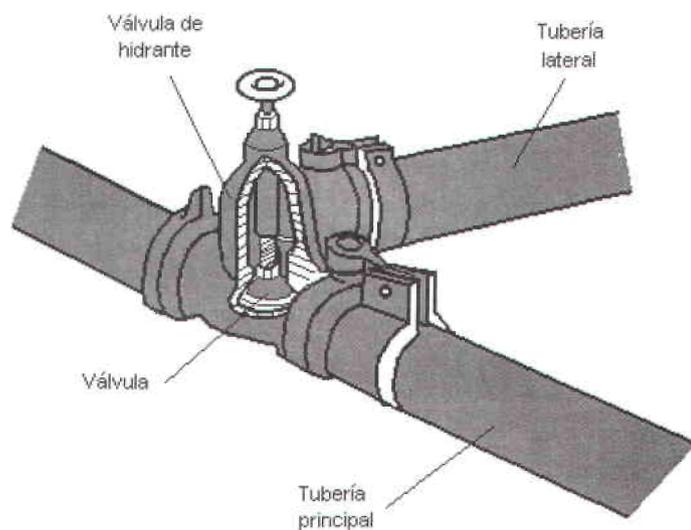


Lámina 56 Válvula de hidrante

está montada la tubería y de esta forma se desplaza el sistema. En general, los diámetros de las tuberías son de 100 milímetros.

- a) Válvula de hidrante de acoplamiento rápido para conectar el lateral con la tubería principal
- b) Válvula de hidrante para que un lateral funcione mientras el otro se cambia

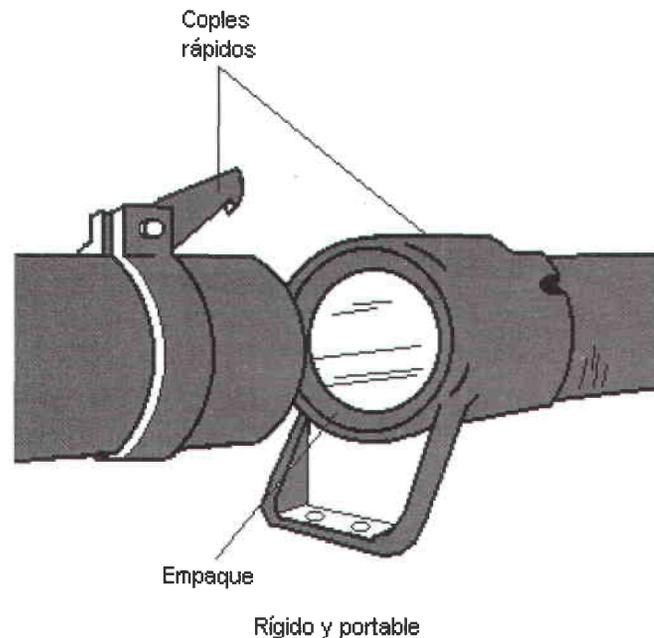


Lámina 57 Acoplamiento rápido de tuberías de aluminio

En los sistemas de movimiento continuo los aspersores se desplazan durante la aplicación del agua y pueden ser de tres tipos: el cañón viajero, la tubería regante de pivote central y la tubería regante de desplazamiento frontal.

El cañón viajero consiste de un aspersor de gran capacidad (de 5 a 30 lps) que está montado en un tractor o soporte móvil que se desplaza durante la aplicación del agua; existen los siguientes tipos: cañón-motobomba y cañón con manguera. El cañón con manguera se abastece de agua de un hidrante, mediante una manguera flexible que se enrolla durante el traslado del cañón (láminas 58).

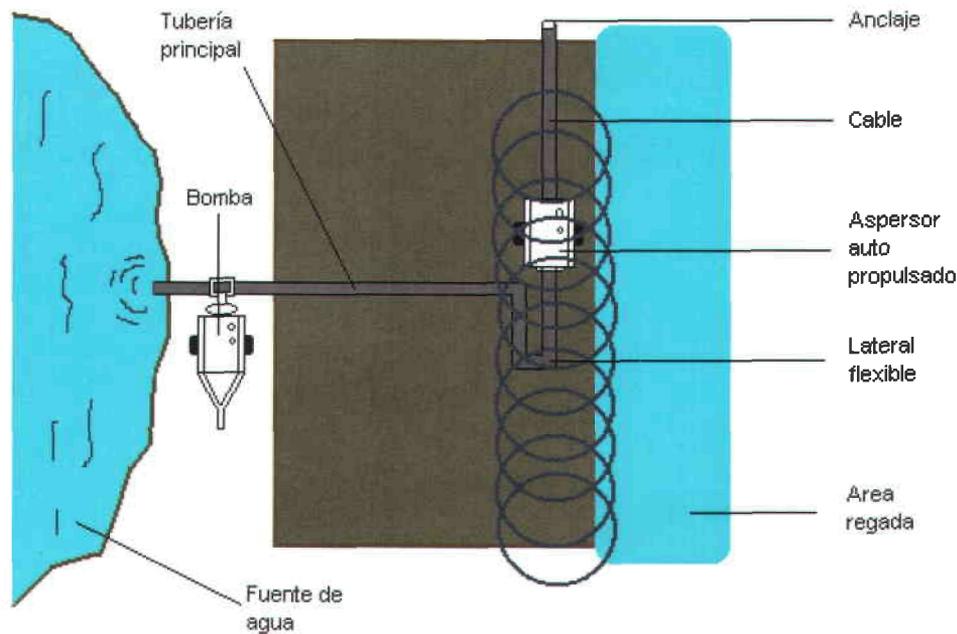


Lámina 58 Sistema de riego por cañón autopropulsado

El cañón-motobomba extrae el agua de un canal largo, mediante una motobomba. La bomba y el cañón están montados en un tractor que se traslada junto a un canal. Se requieren tantos canales, como trayectorias del cañón para cubrir el área de riego.

Las tuberías regantes de movimiento continuo están montadas sobre torres con ruedas. Las torres tienen movimiento independiente. Son movidas por medio de energía eléctrica o mecánica y son controladas por un sistema de alineamiento. Estos sistemas pueden ser de dos tipos: de alta presión, con aspersores estándar por arriba de la tubería regante; y de baja presión, con difusores instalados por abajo de la tubería y montados sobre bastones. La tendencia actual es utilizar tuberías regantes de baja presión con objeto de abatir los costos de operación, por consumo de energía eléctrica.

Ambas tuberías, de alta y baja presión, por su tipo de movimiento pueden ser: pivote central o avance frontal.

En el sistema de pivote central, el agua entra por el extremo de la tubería anclada a un pivote, mientras que el otro extremo se desplaza en movimiento circular hacia uno u otro sentido. Gracias a esto, la tubería comienza el riego en una posición y lo termina en la misma, cuando completa el desplazamiento de 360° . En general, estos sistemas de riego aplican láminas de riego menores de 25 mm a intervalos de tiempo de un día (lámina 59).

En el sistema de avance frontal, la tubería regante no está anclada a un pivote fijo. Por el contrario, está conectada a un tractor con motobomba que se desplaza en forma perpendicular

a la dirección de la tubería. El abastecimiento de agua puede hacerse de dos maneras: a través de un hidrante al que se conecta una tubería flexible que permite al sistema desplazarse cierta distancia, y de un canal recto en medio del terreno; a ambos lados de éste se conectan las tuberías de avance frontal con longitudes del orden de 400 metros.

Lámina 59 Sistema de riego de pivote central



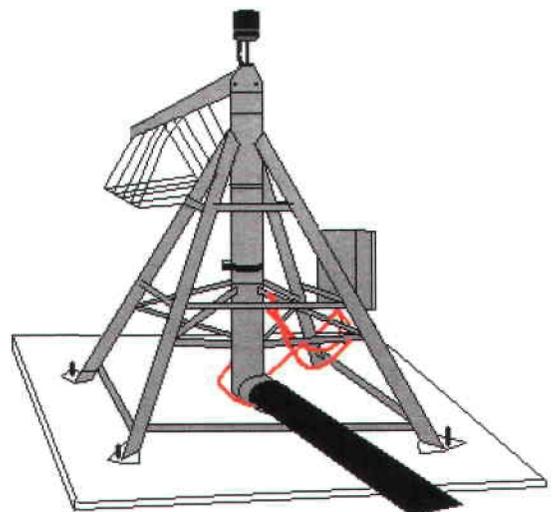
a) Tablero de control de un pivote central que controla lámina aplicada en cada revolución



b) Punto de anclaje del pivote central (donde recibe el agua)



c) Pivote central con aspersores de baja presión



d) Acercamiento del aspersor de un pivote de baja presión

2.3.3 Factores que afectan la selección del sistema de riego presurizado

Los factores más importantes que se deben considerar para la selección y el diseño de los sistemas de riego presurizado son: el cultivo, el suelo, la topografía, la forma y tamaño del terreno, la calidad del agua, la velocidad del viento, el clima, el gasto disponible y el costo del sistema.

2.3.3.1 Sistemas de goteo de emisor puntual (individual)

Cultivo: aquellos que se pueden sembrar en hileras y con espaciamiento entre goteros mayor de 0.5 m. como el cultivo de vid. Debido al fácil control de las láminas de riego y a la alta uniformidad de aplicación, se adapta para regar hortalizas. El estudio económico se debe hacer para conocer el grado de redituabilidad del sistema en comparación con otros.

Calidad del agua: se presentan serios problemas cuando se riega con agua que tiene altos contenidos de: carbonatos, porque forman una costra en la salida del emisor que puede obstruir la descarga del agua o generan precipitados en tuberías y accesorios; sales de fierro que pueden precipitarse y tapan las tuberías; las algas, bacterias y los sólidos en suspensión (arenas limos y arcillas) pueden causar serios problemas de taponamiento de las tuberías. Por todo esto el agua de riego se debe decantar, filtrar y tratar químicamente, cuando económicamente resulte viable.

Suelo: por el patrón de mojado de los goteros, se adapta muy bien a suelos franco y franco arenosos con capilaridad alta; no se debe emplear en suelos arcillosos porque produce encharcamientos y escurrimientos; ni en los muy arenosos con poca capilaridad, porque el agua se infiltra muy rápido y no permite que se humedezca a lo ancho. Se usa en suelos con velocidad de infiltración básica de media a alta, mayor de 3.0 cm/h para evitar que el agua se encharque y escurra.

Topografía: terrenos planos u ondulados y con pendiente general hasta del 5%. Mientras mayor es la pendiente, las secciones de riego tienden a hacerse más pequeñas y en consecuencia a incrementar su costo. Cuando los goteros trabajan con cargas hidráulicas de 10 m, aceptan desniveles de terreno hasta de un metro, sin afectar mucho su uniformidad de distribución. Si trabajan con 6.0 m de carga, aceptan desniveles de hasta 0.60 m, por lo que requieren terrenos más planos.

Forma y tamaño: se diseña más fácil en terrenos regulares, el tamaño depende del gasto disponible. Para que la instalación de un sistema de goteo sea lo más redituable, su superficie debe ser de preferencia mayor de 10 hectáreas.

Clima: áridos, semiáridos. En climas húmedos y semihúmedos es difícil que paguen la inversión, ya que se emplean para complementar el riego; es factible que la paguen si se usan para fertilizar hortalizas.

Viento: no afecta la eficiencia de distribución.

2.3.3.2 Sistemas de goteo de emisión continua (cinta)

Cultivo: aquellos que se pueden sembrar en hileras, tal es el caso de las hortalizas como la cebolla, la calabaza, el chile, el jitomate, el pepino, el melón y la sandía. Este sistema de riego se puede emplear en cualquier cultivo que pague la inversión, con el incremento de las utilidades.

Calidad del agua: se presentan los mismos problemas que se mencionaron en los sistemas de goteo de emisor puntual.

Suelo: este sistema de riego se adapta muy bien a suelos de textura arenosa a franca, con velocidad de infiltración básica en el suelo de media a alta, mayor de 3.0 cm/h. En suelos arcillosos, puede originar encharcamientos o escurrimientos.

Topografía: se puede usar en terrenos planos y ondulados, con pendiente general hasta del 5%, colocando las cintas regantes a nivel. Mientras mayor es la pendiente, las unidades de riego tienden a hacerse más pequeñas y en consecuencia a incrementar su costo relativo. Como las cintas trabajan con cargas hidráulicas del orden de los seis metros, soportan pequeños desniveles topográficos sin que se originen grandes diferencias de descargas. Por esta razón se adaptan bien a terrenos planos y de pendiente uniforme menor de 2 por ciento.

Forma y tamaño: para que la instalación de este sistema de goteo sea lo más redituable, la superficie debe ser de preferencia mayor de 10 ha; sin embargo, es necesario un análisis de viabilidad económica.

Clima: áridos, semiáridos y subhúmedos. En climas subhúmedos este sistema se emplea para aplicar agroquímicos y complementar el riego.

Viento: no afecta la uniformidad de distribución.

2.3.3.3 Sistemas de microaspersión

Cultivo: se utiliza en los frutales que se plantan en hileras. Por el gasto que proporciona cada emisor, se adapta muy bien a árboles de talla media como los cítricos, la manzana, el plátano, el durazno, etcétera.

Calidad del agua: se presentan los mismos problemas que se mencionaron para los goteros.

Suelo: se adapta bien en texturas de media a arenosa (ligera) con velocidad de infiltración básica de media a alta, mayor de 3.0 cm/h. Por el patrón de mojado, el microaspersor tiene ventajas grandes en suelos muy arenosos y con poca capilaridad, ya que permite que el agua se distribuya a lo ancho del suelo. El sistema trabaja muy bien en suelos con buena capilaridad. En suelos arcillosos, puede generar encharcamientos o escurrimientos.

Topografía: terrenos planos y ondulados y con pendiente general hasta del 10%. Cuando trabaja con cargas hidráulicas de 10 m, soporta desniveles entre emisores de hasta un metro; si trabaja con carga de 20 m, soporta desniveles de hasta dos metros.

Forma y tamaño: para que la instalación de un sistema de microaspersión sea lo más redituable su superficie debe ser de preferencia mayor de las 20 ha y en terrenos rectangulares.

Clima: áridos, semiáridos.

Viento: afecta la uniformidad de distribución del agua en suelo, sobre todo cuando el árbol se encuentra en los primeros años de su desarrollo.

2.3.3.4 Sistemas de aspersión semifijo

Cultivo: se usa para cultivos de cobertura total y talla corta como la alfalfa, el trébol, las leguminosas, y en hilera como: la papa y el cacahuate, y también en los granos pequeños. Se pueden regar cultivos más altos montando los aspersores en elevadores.

Calidad del agua: se presentan algunos problemas cuando se riega con agua que tiene altos contenidos de carbonatos y sales, porque forman una costra en la boquilla de los aspersores; o bien con agua que tiene sales o sustancias tóxicas que pueden quemar hojas o frutos. Los sólidos disueltos y en suspensión en el agua presentan pocos problemas con el riego por aspersión.

Suelo: se adapta en texturas de franca a arenosa; funciona muy bien en suelos arenosos. con velocidad de infiltración básica mayor de 3.0 cm/h. En suelo arcillosos produce encharcamientos y escurrimientos, perdiendo así sus ventajas respecto al riego superficial; además es difícil aplicar láminas precipitadas horarias menores de 1.0 centímetro por hora.

Topografía: se adapta a terrenos planos y ondulados, en zonas de lomerío, con pendiente general o hasta del 20 por ciento.

Forma y tamaño: todo tipo de formas, adaptándose muy bien en superficies de forma rectangular e irregular y en superficies hasta de 20 hectáreas.

Clima: áridos y semiáridos.

Viento: se recomienda en zonas donde la velocidad del viento es menor de 10 km/h para que la uniformidad de diseño se mantenga. Se puede recomendar en zonas con velocidad del viento de 10 a 20 km/h, con la condición de que la uniformidad de distribución sea menor que la de diseño. No se recomienda en regiones donde la velocidad del viento rebase los 20 kilómetros por hora.

2.3.3.5 Tubería rodante mecanizada (*Side roll* y *Power roll*)

Cultivo: la altura máxima de cultivo depende del radio de las ruedas del sistema, que en general es menor de 1.20 m; es por esto que se adapta a cultivos de cobertura total que no rebasen esta altura, como son: la alfalfa, el trébol y en hileras como la papa, (los granos pequeños, la cebada), el chícharo, el frijol, etc. Es común su aplicación durante las primeras etapas del desarrollo de algunos cultivos, como en la siembra de hortalizas para riegos de germinación y emergencia de las plantas.

Calidad del agua: se presentan problemas similares a los mencionados para los aspersores semifijos.

Suelo: se emplea en suelos de textura de franca a arenosa, adaptándose mejor en texturas arenosas. Velocidad de infiltración básica mayor de 3.0 cm/h. En suelos arcillosos produce encharcamientos y escurrimientos, perdiendo así sus ventajas respecto al riego superficial; es difícil aplicar láminas precipitadas horarias menores de 1.0 centímetro por hora.

Topografía: terrenos planos y ondulados ligeramente con pendientes hasta del 5%; mayor pendiente dificulta la operación.

Forma y tamaño: formas rectangulares de preferencia franjas rectangulares, en las que la tubería rodante se mueve a lo largo de un lote con un tamaño de 30 a 40 hectáreas.

Clima: áridos y semiáridos.

Viento: no se recomienda en regiones donde la velocidad del viento rebase los 15 km/h, debido a que afecta mucho al patrón de distribución del agua, lo que reduce su uniformidad de distribución.

Cuando se instala en zonas donde se presentan ocasionalmente fuertes vientos, se utilizan anclas para evitar rodamientos del equipo.

2.3.3.6 Tubería regante (pivote central y avance frontal)

Cultivo: de cobertura total incluyendo los de talle alta, pero que no rebasen el cuerpo del equipo; se puede regar alfalfa, sorgo, maíz, cebada o leguminosas como frijol, haba u otras.

En el caso del pivote de baja presión, la altura del cultivo esta más restringida que en el de alta presión; en el primero es importante tomar en cuenta la altura máxima del cultivo para determinar la longitud de los bastones sobre los que se montan los aspersores.

Calidad del agua: se presentan problemas similares a los anteriormente descritos para aspersores.

Suelo: se adapta a texturas de media a ligera. La infiltración básica del agua debe ser mayor de 3.0 cm/h. En suelos extremadamente arcillosos se pueden producir encharcamientos y escurrimientos superficiales, así como el atascamiento de las torres.

Topografía: el pivote central se adapta a terrenos irregulares y ondulados, en zonas de lomerío y con pendiente general hasta del 15%. Sin embargo, para la tubería de avance frontal, el terreno debe ser lo más plano posible.

Forma y tamaño: para que el proyecto de una tubería regante tipo pivote sea lo más rentable, la superficie debe ser de 80 a 150 ha, y el avance frontal mayor de 150 hectáreas.

El pivote central se puede adaptar a superficies irregulares, en las que se inserte el círculo que describe el sistema. Para regar las esquinas que no cubre la circunferencia, se emplea un cañón, en el extremo de la tubería. El avance frontal se adapta muy bien a superficies rectangulares, en las que el avance del equipo se realiza en forma perpendicular a la tubería regante.

Clima: áridos y semiáridos.

Viento: no se recomienda en regiones donde la velocidad del viento rebase los 15 km/h, debido a que afecta mucho al patrón de distribución del agua, lo que reduce su uniformidad de distribución; además, existe el peligro de volcadura del sistema.

Los mejores resultados se obtienen cuando el sistema de baja presión, bien diseñado, se instala en zonas con vientos dominantes menores de 10 km/h, pues bajo estas condiciones permite obtener uniformidades de distribución mayores del 80 por ciento.

2.3.3.7 Sistema de aspersor móvil (cañón viajero)

Cultivo: de cobertura total y gran talla como la caña de azúcar o gramíneas como el maíz y el sorgo; sin embargo, se puede usar para pastos, alfalfa, cacahuate y frijol.

Calidad del agua: se presentan algunos problemas cuando se riega con agua que tiene altos contenidos de sales o sustancias tóxicas que pueden quemar hojas o frutos.

Suelo: se adapta a texturas de francas a arenosas con velocidad de infiltración básica mayor de 3.0 cm/h. En suelos arcillosos produce encharcamientos y escurrimientos, perdiendo así sus

ventajas respecto al riego superficial; además, es difícil aplicar láminas precipitadas horarias menores de 1.0 centímetro por hora.

Topografía: terrenos ondulados y de pendiente irregular en zonas de lomerío, con pendiente general hasta del 10%. En suelos arcillosos con poca pendiente se provocan encharcamientos y con mucha pendiente origina escurrimientos.

Forma y tamaño: terrenos de forma irregular en los que el cañón se desplaza a lo largo hasta cubrir toda el área, la cual debe ser de 15 a 40 hectáreas.

Clima: áridos y semiáridos.

Viento: lo más recomendable es instalar el cañón en zonas donde la velocidad no rebase los 10 km/h, ya que abajo de esta velocidad la uniformidad de diseño no se altera mucho y por arriba de esta velocidad baja demasiado.

En zonas con vientos mayores de 15 km/h es mejor no recomendarlo, ya que se limitaría al sistema a regar de noche o durante temporadas sin viento.

El cuadro 21 muestra los factores que afectan la selección de un sistema de riego presurizado.

Cuadro 21 Factores que afectan la selección del sistema de riego presurizado

FACTOR	OPCION	SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO
Cultivo	Hileras Cobertura total Arbol	Localizado y aspersión Aspersión Localizado
Textura	Arenosa Franco Arcilloso	Localizado y aspersión Localizado y aspersión Localizado
Pendiente general S (%)	0.0 < S ≤ 2.0 2.0 < S ≤ 4.0 4.0 < S ≤ 6	Localizado y aspersión Localizado (microaspersión) Aspersión
Velocidad del viento V _v (km/h)	0.0 < V _v ≤ 5.0 5.0 < V _v ≤ 10.0 10.0 < V _v ≤ 15.0	Localizado y aspersión Localizado Localizado (goteo)

Ejemplo. Se ha seleccionado el sistema de riego presurizado para alfalfa en un suelo de textura arenosa, la pendiente general es del 3% y la velocidad del viento es de 5 km/h.

Con base a estos datos:

Alfalfa (cobertura total)	Aspersión
Textura (arenosa)	Localizado y aspersión
Pendiente (2.0 < S ≤ 4.0)	Aspersión
Velocidad del viento (V _v ≤ 5.0)	Localizado y aspersión

Como puede observarse el sistema de aspersión se adapta a cuatro factores y no tiene ningún factor limitante.

Cuadro 22 Factores que afectan la selección del sistema de riego localizado

FACTOR	OPCIÓN	SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO
Cultivo	Hileras (alta y baja densidad de siembra)	Goteo puntual y cinta regante
	Árbol de baja demanda evapotranspirativa	Goteo puntual y microaspersión
	Árbol de alta demanda evapotranspirativa	Microaspersión y borboteo
Textura	Arenosa	Cinta regante y microaspersión
	Franco	Cinta regante, goteo puntual, microaspersión y borboteo
	Arcilloso	Cinta regante, goteo puntual, microaspersión y borboteo
Pendiente general S (%)	$0 < S \leq 1$	Cinta regante, goteo puntual, microaspersión y borboteo
	$1 < S \leq 2$	Goteo puntual, microaspersión y borboteo
	$2 < S \leq 3$	Microaspersión y borboteo
Relieve	Plano	Cinta regante, goteo puntual, microaspersión y borboteo
	Ondulado	Microaspersión y borboteo

Ejemplo. Se ha seleccionado el sistema de riego localizado para limón en un suelo de textura arenosa, la pendiente general es del 3% y el relieve ondulado.

Con base a estos datos:

Limón (árbol de alta demanda evapotranspirativa)
 Textura (arenosa)
 Pendiente ($2.0 < S \leq 3.0$)
 Relieve (ondulado)

Microaspersión y borboteo
 Cinta regante y microaspersión
 Microaspersión y borboteo
 Microaspersión y borboteo

Como puede observarse el sistema de microaspersión se adapta a cuatro factores y no tiene ningún factor limitante.

Cuadro 23 Factores que afectan la selección del sistema de riego por aspersión

FACTOR	OPCIÓN	SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION
Cultivo	Cobertura total (altura < 1.2 m)	Side-roll, Pivote central, Avance frontal Portatil, fijo y cañon
	Cobertura total (Altura > 1.2 m)	Pivote central, Avance frontal y cañon
	Árboles	Aspersión fijo (bajo ángulo)
Textura	Arenosa	Side-roll, Pivote central, Avance frontal, Portatil, fijo y cañon
	Franco	Side-roll, Pivote central, Avance frontal Portatil, fijo y cañon
	Arcilloso	Side-roll, Avance frontal, y central
Pendiente general S (%)	$0 < S \leq 2$	Side-roll, Pivote central, Avance frontal Portatil, fijo y cañon
	$2 < S \leq 4$	Pivote central, Avance frontal y cañon
Velocidad viento (km/h)	$0 < V_v \leq 10$	Side-roll, Pivote central, Avance frontal Portatil, fijo y cañon

	$10 < V_v \leq 20$	Pivote central, Avance frontal y cañon
Superficie Sup (ha)	$0 < \text{Sup} \leq 30$	Aspersión portátil, side-roll y cañon
	$30 < \text{Sup} \leq 50$	Side-roll, aspersión y portátil
	$50 < \text{Sup} \leq 100$	Pivote central, side-roll, aspersión fijo y portátil

*Debe analizarse el agua de riego para determinar el tipo y la cantidad de sales, con la finalidad de definir si conviene el método de riego o el tratamiento necesario para la prevención de problemas.

Ejemplo. Seleccionar un sistema de riego presurizado con la información siguiente:

Cultivo: alfalfa;
 Pendiente: 0.05%;
 Relieve: plano;
 Textura: franco arenosa;
 Velocidad de infiltración básica: 3.5 cm/h;
 Velocidad del viento: 10 km/h;
 Superficie: 30 ha.

Se pueden usar prácticamente todos los sistemas de riego sin embargo, por la superficie se pueden adaptar fácilmente semifijo, tubería rodante y cañon viajero. Se debe hacer el estudio de costos y retorno de la inversión, para seleccionar el sistema que implique la mejor rentabilidad.

2.4 Nivelación de tierras

La nivelación del terreno se usa para formar uno o varios planos con pendientes uniformes, con objeto de regar y drenar fácilmente el suelo. Esta nivelación es indispensable en el riego superficial, ya que el suelo se utiliza como medio de conducción y suministro del agua.

La nivelación de un terreno ofrece los siguientes beneficios:

- Buena uniformidad de aplicación de agua y de fertilizante, con el riego superficial (gravedad).
- Riego con alta eficiencia parcelaria, evitando zonas con excesos y déficits de humedad.
- Se evita la erosión del suelo usando gastos adecuados.

Los principales factores que influyen en la decisión de nivelar las tierras son: relieve del terreno; pendientes de terreno; maquinaria e implementos agrícolas disponibles; espesor del suelo; y la comparación entre costos anuales de la nivelación con los costos anuales de diferentes sistemas de riego y sus correspondientes retornos de la inversión. Se selecciona la opción que permita obtener mejores beneficios.

Según lo irregular del relieve, se requieren cortes y rellenos en mayor o menor grado. Mientras mayores son los volúmenes de tierra que deben moverse, mayor es el costo de la nivelación; en consecuencia, es necesario que los volúmenes a mover no sean excesivos, de tal forma que el proyecto sea viable económicamente y que sea más barato que un sistema de riego presurizado.

La nivelación de tierras no se recomienda en suelos poco profundos, pues al quitar el suelo superficial, se pierde la capa arable o de suelo aprovechable por el cultivo y se modifica el medio de desarrollo de las raíces. En suelos profundos, se puede mejorar el suelo que queda en la superficie, agregando materia orgánica y fertilizando adecuadamente.

Para conservar la nivelación, el terreno se puede preparar desplazando el suelo hacia un solo lado, como lo hace el arado reversible. La superficie plana se puede perder cuando el barbecho se efectúa moviendo la tierra hacia los dos lados.

La maquinaria de nivelación utilizada para movimientos de tierra menores de $400 \text{ m}^3/\text{ha}$ son las escrapas de carga o afine con una capacidad de hasta 3 m^3 . Éstas pueden ser jaladas por un tractor de 80 a 100 caballos de potencia (lámina 60).

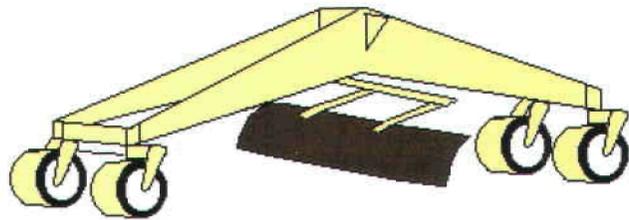


Lámina 60 Land plane utilizado para emparejar suelos ligeramente desnivelados

Para mover volúmenes de 400 a 600 m^3 , se recomienda utilizar escrapas con una capacidad de 4 a 6 m^3 , mismas que pueden ser jaladas por tractores que tengan una potencia entre 140 y 180 caballos de potencia.

Cuando los volúmenes de tierra movidos rebasen los $600 \text{ m}^3/\text{ha}$, se recomienda utilizar dos o más escrapas en hilera, (lámina 61) mismas que pueden ser jaladas por un tractor de mayor potencia, o bien utilizar motoescrapas.

El uso de equipos *laser* para la nivelación de tierras, aumenta día con día debido a su alta precisión y eficiencia en la ejecución de los trabajos. Un sistema de rayo *laser* tiene tres partes: el emisor del rayo *laser*, que se acopla a un tripie o torre colocada sobre el terreno (lámina 62); el receptor o detector del rayo, que está unido a un mástil cerca de una cuchilla; y la caja de control, que se coloca en un tablero, frente al operador del tractor. El rayo *laser* se coloca primero en posición horizontal para obtener las lecturas altimétricas, después se ajusta para darle la pendiente deseada al terreno.

El emisor giratorio puede emitir una señal ya sea en un plano horizontal (sin pendiente), con pendientes en un eje o con pendiente compuesta en dos ejes. El operador sólo oprime las teclas del emisor para seleccionar la pendiente deseada. El detector registra el rayo *laser* y lo envía a la caja de control, desde donde se controlan diferentes acciones.



Lámina 61 Máquina con cuchilla para mover grandes volúmenes de tierra



Lamina 62 Equipo para nivelación con rayo laser colocado en el centro del terreno

La caja de control puede ser manual o automática. En la manual, el operador puede bajar o subir la cuchilla, independientemente de la señal recibida en el detector, lo cual es conveniente en lugares donde los cortes son muy grandes y se requiere de un tractor de gran potencia para realizarlos. Las cajas automáticas, en respuesta a la señal *laser*, controlan válvulas electrohidráulicas, cables eléctricos, mangueras y conectores mecánicos para activar el equipo de movimiento de tierras.

3 ANÁLISIS ECONÓMICO DE ALTERNATIVAS DE TECNIFICACIÓN

En los capítulos anteriores se describieron diferentes alternativas de tecnificación para hacer un mejor uso del agua en la parcela y mejorar los ingresos por unidad de agua aplicada. Con el fin de facilitar la toma de decisión al aceptar o rechazar una alternativa de tecnificación, en este capítulo se proporciona una metodología de análisis económico en el que se proponen varios parámetros económicos de selección, tales como: determinación de la tasa de retorno neto de una inversión, relación beneficio costo, tasa interna de rendimiento, y valor presente neto de la inversión.

La metodología para encontrar el retorno neto de una inversión comprende: recopilación de la información necesaria; determinación del costo inicial; determinación del costo anual de depreciación; determinación del costo de operación anual; y determinación del retorno de la inversión.

3.1 Recopilación de información

- a) Seleccionar los cultivos a regar.
- b) Estimar el incremento de la producción en condiciones de riego; se recomienda investigar los incrementos de la producción de los cultivos con diferentes métodos de riego en diferentes partes del país. Una buena fuente de información pueden ser las estaciones de experimentación de la localidad o los ranchos cercanos que tiene cultivos similares.
- c) Determinar el valor de mercado del cultivo.
- d) Encontrar el requerimiento de riego total del cultivo, cuadro 1.
- e) Encontrar la evapotranspiración de diseño (pico) del cultivo, cuadro 1.
- f) Seleccionar el método de riego y la alternativa de tecnificación.
- g) Determinar las dimensiones de la superficie a regar.
- h) Determinar la superficie beneficiada con el sistema del riego.
- i) Determinar la fuente de suministro de agua.
- j) Determinar el gasto disponible.
- k) Determinar la carga de bombeo para extraer el agua, H_b .
- l) Determinar la carga que requiere el sistema de riego para vencer las pérdidas de fricción y proporcionarle presión a los emisores, H_s .
- m) Determinar la carga total, $H = H_b + H_s$
- n) Determinar la potencia requerida por la bomba.

$$P = \frac{Q * H}{76 E_b}$$

Donde: P = Potencia de la bomba (HP);
Q = Gasto que entrega la bomba (l/s);

H = Carga total de la bomba (m);

E_b = eficiencia electromecánica, para bomba nueva 0.75.

- o). Seleccionar el tipo de energía (gasolina, diesel o electricidad).
- p). Determinar la tasa de interés actual.
- q). Determinar la cantidad de mano de obra usada por unidad de superficie del sistema de riego seleccionado.

Ejemplo. Determinar la potencia de la bomba de un sistema de riego de pivote central con los siguientes datos: H= 40 m, Q= 63.09 l/s, E_b = 70%.

Solución:

$$P = \frac{63.09 \text{ l/s} * 40 \text{ m}}{76 * 0.7} = 47 \text{ HP}$$

En el cuadro 22 se recopila información general para analizar la factibilidad económica de invertir en: un sistema de pivote central y de un sistema de riego por surcos con nivelación de tierras.

Cuadro 24 Forma de costo y retorno (información general)

CONCEPTO	PIVOTE CENTRAL	NIVELACIÓN
a). Cultivo a regar	Maíz	Maíz
b). Incremento esperado por ha en ton	3.5	3.0
c). Valor del cultivo (N\$/ton)	650	650
d). Requerimiento de riego del cultivo (cm)	61	61
e). Demanda máxima (pico) de agua del cultivo (mm/día)	7.6	7.6
f). Tipo de sistema de riego	Pivote central	Surcos
g). Dimensiones del campo irrigado (mxm)	800 x 800	800 x 800
h). Superficie regada (ha)	64	64
i). Fuente de agua	Pozo profundo	Pozo profundo
j). Gasto disponible, Q (l/s)	63.09	63.09
k). Carga de bombeo, H _b (m)	10.0	10.0
l). Carga del sistema de riego, H _s (m)	30.0	0
m). Carga total, H=H _b +H _s (m)	40.0	10.0
n). Potencia requerida (HP)	47	12
o). Tipo de energía	Diesel	Diesel
p). Tasa de interés (%)	15	15
q). Horas de M.O. por ha irrigada	0.4	3

3.2 Determinación del costo inicial

Un sistema de riego puede tener una vida útil de 15 a 20 años, mientras que las instituciones de crédito prestan el dinero con plazos de 6 a 10 años. Bajo estas circunstancias, es común que el pago anual sea mayor que el ingreso generado por el incremento anual de la producción. Un ejemplo de este caso es cuando un productor pide prestado N\$25,000 para comprar un sistema, y sus pagos están en el rango de N\$ 4,000 a N\$ 6,000 por año, mientras que su beneficio extra por la utilización del sistema es de N\$ 3,000 a N\$ 3,500. En este caso, el productor debe estar consciente de su falta de capacidad de pago durante los primeros años.

El costo inicial o inversión inicial (I_i) es importante para determinar el costo anual de depreciación (CAD). El costo inicial incluye, además de los precios del bien, los impuestos pagados y los fletes. El cuadro 24 muestra la inversión inicial (I_i) para un pivote central y para la nivelación de tierras.

3.3 Determinación del costo anual de depreciación

El costo anual de depreciación (CAD) está determinado por el costo inicial del sistema de riego o inversión inicial, los intereses y la vida esperada del sistema; se calcula de la siguiente manera:

- 1) Calcular el factor de costo anual de depreciación (FCAD) con la siguiente fórmula (tabulada en el cuadro 23):

$$FCAD = \frac{i}{(1+i)^n - 1}$$

Donde: FCAD = factor de costo anual de depreciación (adm);
 i = tasa de interés (decimal);
 n = vida útil del sistema de riego (años).

- 2) Calcular el costo anual de depreciación (CAD)

$$CAD = FCAD * I_i$$

Donde: CAD = costo anual de depreciación (N\$);
FCAD = factor de costo anual de depreciación (adm);
 I_i = Inversión inicial (N\$).

- 3) Sumar al CAD, el costo por seguros; en caso de desconocerse, se puede estimar como el 5% del costo inicial.

El cuadro 24 muestra el cálculo del CAD para un sistema de riego de pivote central y para la nivelación de tierras, con una tasa de interés anual del 15 por ciento.

Cuadro 25 Factor de costo anual de depreciación, FCAD

ANO	4%	5%	6%	8%	10%	12%	15%	20%
1	1.000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	0.4902	0.4878	0.4854	0.4808	0.4762	0.4717	0.4651	0.4546
3	0.3204	0.3172	0.3141	0.3080	0.3021	0.2964	0.2880	0.2747
4	0.2355	0.2320	0.2286	0.2219	0.2155	0.2092	0.2003	0.1863
5	0.1846	0.1810	0.1774	0.1705	0.1638	0.1574	0.1483	0.1344
6	0.1508	0.1470	0.1434	0.1363	0.1296	0.1232	0.1142	0.1007
7	0.1266	0.1228	0.1191	0.1121	0.1054	0.0991	0.0904	0.0774
8	0.1085	0.1047	0.1010	0.0940	0.0875	0.0813	0.0729	0.0606
9	0.0945	0.0907	0.0870	0.0801	0.0737	0.0677	0.0596	0.0481
10	0.0833	0.0795	0.0759	0.0690	0.0628	0.0570	0.0493	0.0385
11	0.0742	0.0704	0.0668	0.0601	0.0540	0.0484	0.0411	0.0311
12	0.0666	0.0628	0.0593	0.0527	0.0468	0.0414	0.0345	0.0253
13	0.0602	0.0565	0.0530	0.0465	0.0408	0.0357	0.0291	0.0206
14	0.0547	0.0510	0.0476	0.0413	0.0358	0.0309	0.0247	0.0169
15	0.0500	0.0464	0.0430	0.0368	0.0315	0.0268	0.0210	0.0139
16	0.0458	0.0423	0.0390	0.0330	0.0278	0.0234	0.0180	0.0114
17	0.0422	0.0387	0.0355	0.0296	0.0247	0.0205	0.0154	0.0095
18	0.0390	0.0356	0.0324	0.0267	0.0219	0.0179	0.0132	0.0078
19	0.0361	0.0328	0.0296	0.0241	0.0196	0.0158	0.0113	0.0065
20	0.0336	0.0303	0.0272	0.0219	0.0175	0.0139	0.0098	0.0054
21	0.0313	0.0280	0.0250	0.0198	0.0156	0.0123	0.0084	0.0045
22	0.0292	0.0260	0.0231	0.0180	0.0140	0.0108	0.0073	0.0037
23	0.0273	0.0241	0.0213	0.0164	0.0126	0.0096	0.0063	0.0031
24	0.0256	0.0225	0.0197	0.0150	0.0113	0.0085	0.0054	0.0026
25	0.0240	0.0210	0.0182	0.0137	0.0102	0.0075	0.0047	0.0021

Cuadro 26 Cálculo del costo anual de depreciación

CONCEPTO	VIDA (años)	Ii (N\$)	FCAD (N\$)	CAD (N\$)	
				Pivote central	Nivelación
Pozo					
8 – 10 "Diam.	25				
12 "Diam.	15+	6,000	0.0210	126.00	126.00
3/16 pulg.	25+				
Concreto	20+				
Tanque de descarga	20+				
Bomba					
Hélice	10				
Turbina	15	8,100	0.0210	170.10	170.10
Centrífuga	12				
Motor					
Eléctrico	25				—
Gasolina	10				
Diesel	10	16,500	0.0493	813.45	813.45
Diversos					
Inst. eléctrica	20				
Tanque de Comb.					
Diesel o gasolina	18				
Maquinaria de niv.	15				
Tubería de agua					
Tubería subterránea					
Concreto	25+				
Acero	20+				
Asbesto-Cemento	25+	10,500	0.0047	49.35	49.35
Plástico	25+				
Tubería superficial					
Aluminio	15				
Acero galvanizado	15				
Remolque de tubería	10				
Sistemas por aspersión					
Manuales	15				
Movidos c/tractor	10				
Movidos p/sí mismo	12	220,000 (Pivote central)	0.0345	7,590	
Movidos p/hélice	15				
Permanente	20				
Sistemas superficiales					
Nivelacio.	20	64,000 (Nivelación)	0.0098		627.20
Sistemas subsuperficiales					
Zanjeo	20				
Línea de tubería	25				
Drenaje	20				
Subtotal:				8,748.9	1,786.05
Seguros				437.4	89.30
Total		261,100 (Pivote central) 105,100 (Nivelación)		9,186.3	1,875.4

3.4 Determinación del costo anual de operación

Este costo está determinado por los costos de operación anual del sistema: energía, aceite, mantenimiento de equipo, insumos para incrementar la producción (semillas, fertilizante u otros), y mano de obra. El costo de operación anual se calcula de la siguiente manera:

- 1) Obtener el costo anual del tipo de energía y aceite, según conversiones del cuadro 25.

Cuadro 27 Conversiones de consumo de energía y aceite

TIPO ENERGÍA	COMBUSTIBLE (HP-h/l)	ACEITE (HP-h/l)
Eléctrica	1.03-1.18 ⁶	2,380
Gasolina	3.0	238
Diesel	4.0	238
Gas	2.5	264

- 2) Encontrar el costo anual de mantenimiento del motor, del sistema de riego y del terreno.
- 3) Determinar el costo anual por insumos para incrementar la producción. (esto es en caso de que se requiera incrementar la cantidad de semillas, fertilizantes, pesticidas u otros insumos para el sistema de riego).
- 4) Encontrar el costo anual por mano de obra.

Ejemplo. Encontrar la cantidad de diesel y aceite que consumirá una bomba de 47 HP conectada a un sistema de pivote central; si el equipo trabajara durante 1,665 horas. También calcular la energía y aceite consumido por un motor eléctrico. Comparar los costos, si el precio del diesel es de N\$1.0/l y de la electricidad N\$0.1/ kW- h.

Solución:

$$\text{Potencia-tiempo} = (47)(1,665.2) = \mathbf{78,264 \text{ HP-h}}$$

Motor diesel:

$$\text{Volumen diesel} = 78,264 / 4 = \mathbf{19,566 \text{ l}}$$

$$\text{Costo del diesel} = (19,566 \text{ l})(\text{N}\$1.0/\text{l}) = \mathbf{\text{N}\$19,566}$$

$$\text{Volumen aceite} = 78,264 / 238 = \mathbf{328.8 \text{ l}}$$

⁶ En este caso corresponde a HP-h/kW-h

Motor eléctrico:

$$\text{Energía} = 78,264/1.18 = \mathbf{66,325 \text{ kW-h}}$$

$$\text{Costo electricidad} = (66,325 \text{ kw-h})(\text{N}\$0.1/\text{kw-h}) = \mathbf{\text{N}\$6,632}$$

$$\text{Volumen aceite} = 78,264/2,384 = \mathbf{32.8 \text{ l}}$$

Operar el sistema con diesel costará 3 veces más que operarlo con electricidad.

Ejemplo. Calcular el costo de operación del pivote central y del riego por superficie (con nivelación), con base en los resultados de los ejemplos anteriores y considerando un motor de 12 HP para el riego superficial.

1) Costo de operación (Co):

Pivote central:

$$\text{Costo del diesel} = \mathbf{\text{N}\$19,566}$$

Riego por superficie:

$$\text{Potencia bomba} = 12 \text{ HP}$$

$$\text{Potencia-tiempo} = (12)(1665.2) = 19,982 \text{ HP-h}$$

$$\text{Volumen diesel} = 19,982 \text{ HP-h}/4 = 4,996 \text{ l}$$

$$\text{Costo del diesel} = (4,996)(\text{N}\$1.0/\text{l}) = \mathbf{\text{N}\$4,996}$$

2) Costo de mantenimiento (Cm):

Pivote central:

Factor de costo de mantenimiento = 5% del costo inicial

$$\text{Motor} = (\text{N}\$16,500)(0.05) = \text{N}\$825$$

$$\text{Sistema de riego} = (\text{N}\$220,000)(0.05) = \text{N}\$11,000$$

$$\text{Costo de mantenimiento} = \text{N}\$825 + \text{N}\$11,000 = \mathbf{\text{N}\$11,825}$$

Riego por superficie

$$\text{Motor} = (\text{N}\$16,500)(0.05) = \text{N}\$825$$

$$\text{Mantenimiento de la nivelación} = (64,000)(0.05) = \text{N}\$3,200$$

$$\text{Costo de mantenimiento} = \text{N}\$825 + \text{N}\$3,200 = \mathbf{\text{N}\$4,025}$$

3) Costo anual de mano de obra (Cmo)

Pivote central

$$\text{Tiempo} = (0.4 \text{ h/ha})(64 \text{ ha}) = 25.6 \text{ h}$$

$$\text{Costo} = (25.6 \text{ h})(\text{N}\$6/\text{h}) = \text{N}\$153.6$$

Riego por superficie

$$\text{Tiempo} = (3 \text{ h/ha-riego})(64 \text{ ha})(5 \text{ riegos}) = 960 \text{ h}$$

$$\text{Costo} = (960 \text{ h})(\text{N}\$6/\text{hr}) = \text{N}\$5,760$$

El costo anual de operación (CAO)

$$\text{CAO} = \text{Co} + \text{Cm} + \text{Cmo}$$

Pivote central

$$\text{CAO} = \text{N}\$19,566 + \text{N}\$11,825 + \text{N}\$153.6 = \text{N}\$31,545$$

Riego por superficie

$$\text{CAO} = \text{N}\$4,996 + \text{N}\$4,025 + \text{N}\$5,760 = \text{N}\$14,781$$

3.5 Determinación del retorno de la inversión

Consiste en comparar el costo anual total (CAT) del sistema de riego con el valor del beneficio esperado por el incremento de la producción; y se calcula de la siguiente manera:

1) Estimar el beneficio por incremento de la producción (BIP)

Pivote central

$$\text{BIP} = (3.5 \text{ ton/ha})(\text{N}\$650/\text{ton}) = \text{N}\$ 2,275 /\text{ha}$$

Riego por superficie

$$\text{BIP} = (3.0 \text{ ton/ha})(\text{N}\$650/\text{ton}) = \text{N}\$1,950 /\text{ha}$$

2) Calcular el costo anual total (CAT)

El CAD del pivote central y de la nivelación se calcularon en el cuadro 24.

Pivote central

$$\begin{aligned} \text{CAT} &= \text{CAD} + \text{CAO} \\ &= \text{N}\$9,186/64\text{ha} + \text{N}\$31,545/64 \text{ ha} = \text{N}\$40,731/64 \text{ ha} \\ &= \text{N}\$636 /\text{ha} \end{aligned}$$

Riego por superficie

$$\begin{aligned} \text{CAT} &= \text{CAD} + \text{CAO} \\ &= \text{N}\$1,875/64 \text{ ha} + \text{N}\$14,781/64 \text{ ha} = \text{N}\$16,656/64 \text{ ha} \\ &= \text{N}\$260 /\text{ha} \end{aligned}$$

3) El beneficio adicional (BA) por ha con el riego, se calcula con:

Pivote central

$$\begin{aligned} \text{BA} &= \text{BIP} - \text{CAT} \\ &= \text{N}\$2,275 - \text{N}\$636 \\ &= \text{N}\$1,639 \end{aligned}$$

Riego por superficie

$$\begin{aligned} \text{BA} &= \text{BIP} - \text{CAT} \\ &= \text{N}\$1,950 - \text{N}\$260 \\ &= \text{N}\$1,690 \end{aligned}$$

5a. Parámetros de decisión.

Para decidir si realmente nuestra inversión es redituable y comprobar que el valor del dinero en el tiempo no está perdiendo su valor, se puede calcular la tasa de rendimiento de la inversión inicial total durante el ciclo agrícola con la siguiente fórmula:

$$i = \left[\frac{Bn}{Ii} \right] * 100$$

Donde: Bn = Beneficio neto
 Ii = Inversión inicial total

Esta tasa se debe comparar con la tasa de inflación pronosticada para el mismo período; si la tasa obtenida es mayor que la inflación, el proyecto es redituable; en caso contrario es conveniente rechazarlo.

Ejemplo. Determinar si el proyecto de pivote central y el de nivelación son redituables. Para el proyecto de pivote se debe hacer una inversión inicial (Ii) de N\$261,100 y para el riego superficial con nivelación una inversión de N\$105,100. El beneficio adicional (Ba) por el pivote central es de N\$1,639/ha y el del riego superficial de N\$1,690/ha.

Pivote central

$$\text{Beneficio} = (\text{N}\$1,639/\text{ha})(64 \text{ ha}) = \text{N}\$104,896$$

$$i = \frac{104,896}{261,100} * 100 = 40.2\%$$

Riego por superficie

$$\text{Beneficio} = (\text{N}\$1,690/\text{ha})(64 \text{ ha}) = \text{N}\$108,160$$

$$i = \frac{108,160}{105,100} * 100 = 103\%$$

La tasa de interés es **menor** que la inflación pronosticada, por lo que se **aceptan ambos proyectos**; sin embargo, el riego superficial tiene mejor tasa de rendimiento de la inversión inicial.

3.6 En caso de financiamiento

En caso de financiamiento se deberá pagar la cantidad prestada más los intereses generados. El costo anual de financiamiento (CAF) se obtiene con:

$$\text{CAF} = \text{FCF} * \text{Ii}$$

Donde: CAF = costo anual de financiamiento (N\$);

FCF = factor de costo de financiamiento (adm);

Ii = Inversión inicial (N\$).

El factor de costo de financiamiento (FCF) se calcula con la siguiente fórmula (cuadro 26):

$$\text{FCF} = \frac{1 (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Donde: i = tasa de interés (%);

n = plazo del crédito (años).

Ejemplo. Determinar si las alternativas de riego con pivote central y con surcos (con nivelación) de los ejemplos anteriores son redituables. Considerando que los proyectos son financiados; el préstamo es por 5 años; y la tasa de interés es de 18%.

Solución. Para el pivote central la Li es de N\$261,100 y el Ba de 1,639. Para el riego por surcos la Li es de N\$105,100 y el Ba de N\$1,690.

1) Calcular el valor por ha del incremento de la producción (BIP) con el riego:

Pivote central

$$\text{BIP} = (3.5 \text{ ton/ha})(\text{N}\$650/\text{ton}) = \text{N}\$2,275$$

Riego por superficie

$$\text{BIP} = (3.0 \text{ ton/ha})(\text{N}\$650/\text{ton}) = \text{N}\$1,950$$

2) Calcular el costo anual de financiamiento (CAF):

Pivote central

$$\text{FCF} = 0.3198 \text{ (cuadro 26, con interés y años)}$$

$$\text{CAF} = (0.3198)(\text{N}\$ 261,100) = \text{N}\$83,450$$

Riego por superficie

$$\text{FCF} = 0.3198 \text{ (cuadro 26, con interés y años)}$$

$$\text{CAF} = (0.3198)(\text{N}\$105,100) = \text{N}\$33,611$$

3) Calcular el costo anual total (CAT)

Pivote central

$$\begin{aligned} \text{CAT} &= \text{CAO} + \text{CAD} + \text{CAF} \\ &= \text{N}\$9,186/64 \text{ ha} + \text{N}\$31,545/64 \text{ ha} + \text{N}\$83,450/64 \text{ ha} \\ &= \text{N}\$124,181/64 \text{ ha} \\ &= \text{N}\$1,940/\text{ha} \end{aligned}$$

Riego por superficie

$$\begin{aligned} \text{CAT} &= \text{CAO} + \text{CAD} + \text{CAF} \\ &= \text{N}\$1875/64 \text{ ha} + \text{N}\$14,781/64 \text{ ha} + \text{N}\$33,611/64 \text{ ha} \\ &= \text{N}\$50,267/64 \text{ ha} \\ &= \text{N}\$785/\text{ha} \end{aligned}$$

4) Calcular el beneficio adicional por ha con el riego

Pivote central

$$BA = BIP - CAT = N\$2,275 - N\$1,938 = N\$337$$

Riego por superficie

$$BA = BIP - CAT = N\$1,950 - N\$785 = N\$1,165$$

Cuadro 28 Factor de costo de financiamiento

n	8%	10%	12%	15%	18%	20%	25%	30%	35%
1	1.0800	1.1000	1.1200	1.1500	1.1800	1.2000	1.2500	1.3000	1.3500
2	0.5608	0.5762	0.5917	0.6151	0.6387	0.6545	0.6944	0.7348	0.7755
3	0.3880	0.4021	0.4163	0.4380	0.4599	0.4747	0.5123	0.5506	0.5897
4	0.3019	0.3155	0.3292	0.3503	0.3717	0.3863	0.4234	0.4616	0.5007
5	0.2505	0.2638	0.2774	0.2983	0.3198	0.3344	0.3712	0.4106	0.4505
6	0.2163	0.2296	0.2432	0.2642	0.2859	0.3007	0.3388	0.3784	0.4193
7	0.1921	0.2054	0.2191	0.2404	0.2624	0.2774	0.3163	0.3569	0.3988
8	0.1740	0.1874	0.2013	0.2229	0.2452	0.2606	0.3004	0.3419	0.3849
9	0.1601	0.1736	0.1877	0.2096	0.2324	0.2481	0.2668	0.3312	0.3752
10	0.1490	0.1627	0.1770	0.1993	0.2225	0.2385	0.2801	0.3235	0.3683
11	0.1401	0.1540	0.1684	0.1911	0.2148	0.2311	0.2735	0.3177	0.3634
12	0.1327	0.1468	0.1614	0.1845	0.2086	0.2353	0.2684	0.3135	0.3598
13	0.1265	0.1408	0.1557	0.1791	0.2037	0.2206	0.2645	0.3102	0.3572
14	0.1213	0.1357	0.1509	0.1747	0.1997	0.2169	0.2615	0.3078	0.3553
15	0.1163	0.1315	0.1468	0.1710	0.1964	0.2139	0.2591	0.3060	0.3539
16	0.1130	0.1278	0.1434	0.1679	0.1937	0.2114	0.2572	0.3046	0.3529
17	0.1096	0.1247	0.1405	0.1654	0.1915	0.2094	0.2558	0.3035	0.3521
18	0.1067	0.1219	0.1379	0.1632	0.1896	0.2078	0.2546	0.3027	0.3516
19	0.1041	0.1195	0.1358	0.1613	0.1881	0.2065	0.2537	0.3021	0.3512
20	0.1019	0.1175	0.1339	0.1598	0.1868	0.2054	0.2529	0.3016	0.3509

3.6.1 *Parámetro de decisión*

Se realiza de la misma forma que en el punto 5a, pero, el porcentaje obtenido tiene que ser mayor que la tasa de interés del préstamo, más un porcentaje de ganancia por la inversión realizada.

Ejemplo. Determinar si el proyecto de pivote central y el de surcos con nivelación son redituables. El préstamo es por 5 años y la tasa de interés es del 15%. Para el pivote central la I_i es de N\$261,100 y el B_a de N\$337/ha. Para el riego por gravedad la I_i es de N\$105,100 y el B_a de N\$1,166/ha.

Solución.

Pivote central

Beneficio del proyecto = (N\$337/ha)(64 ha) = N\$21,568

$$i = \left[\frac{21,568}{261,100} \right] * 100 = 8\%$$

La tasa de interés cobrada es del 18% y la tasa de interés del proyecto es del 8%; por lo que el proyecto no es redituable. En este caso se debe considerar que para poder pagar los intereses y el capital de los primeros años es necesario obtener un rendimiento mayor.

Riego por superficie

Beneficio del proyecto = (N\$1,165/ha)(64 ha) = N\$74,560

$$i = \left[\frac{74,560}{105,100} \right] * 100 = 71\%$$

La tasa de interés cobrada es del 18%, mientras que la de el proyecto es del 71%, por lo tanto se acepta el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

American Society of Agricultural Engineers, *Design and operation of farm irrigation systems* (1983), Ed. M.E. Jensen.

Armoni S., *Micro-splinker irrigation*, First edition (1986). Ed. Dan Sprinkler.

CENMAR (SARH), *Métodos de riego*, (1980).

FAO *Calidad del agua de riego en agricultura. Riego y Drenaje Num. 29*, (1987).

IMTA *Anexo técnico cuándo y cuánto regar*, (1993).

IMTA *Instructivo para aforo con molinete*, (1993).

IMTA *Manual de aforos*, (1993).

IMTA *Manual de drenaje parcelario de los distritos de riego*, (1994).

International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), "State of the art selection criteria for irrigation systems", Bulletin Vol. 35 No. 1, (1986).

International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), *Ninth congress irrigation and drainage, Moscow Volume V*, (1975) Ed. S.P.Dhawan.

Karmeli D. et al , *Irrigation system: design and operation*, (1985), Ed. oxford University Press.

Keller y Bliestner. *Desing of sprinkler irrigation systems*, (1993).

Palacios Velez E., E. Mejía, R. Martínez y A. Exebio. *Rentabilidad del riego presurizado*. Diplomado de riego. Colegio de Posgraduados, (1994).

Peña Peña Efren, *Operación, conservación y evaluación de sistemas de riego por goteo en el Salvador*, Ed. Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES), (1908).

Primer diplomado de ingeniería de riego, *Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar*. Ed. C.P., (1993).

Soil Conservation Service, *National engineering handbook, chapter 5, furrow irrigation 2nd. Ed.*

Soil Conservation Service, *Planning for an irrigation system*, Ed. AAVIM, (1971).



**BIBLIOTECA DEL PROGRAMA DE MAESTRÍAS Y DOCTORADOS EN
INGENIERÍA DE LA UNAM CAMPUS MORELOS**

PAPELETA DE DEVOLUCIÓN

El lector se obliga a devolver este libro a la fecha del vencimiento del préstamo señalado en el último sello.

--	--	--

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA
CENTRO DE CONSULTA DEL AGUA



23698