

# GRIEGO POR GOTEO



**Alirio Edmundo Mendoza**

# **Riego por Goteo**

## **Marzo 2013**

## **PRESENTACIÓN**

El riego por goteo es una tecnología útil, adaptable y que al ser bien aplicada, es sinónimo de mejores rendimientos para nuestras parcelas. El presente documento, fruto de la experiencia desarrollada a lo largo de más de dos décadas de trabajo en el área y de la dedicación al estudio de esta tecnología, pretende constituirse en una guía metodológica, la cual permitirá a los profesionales del agro, conocer desde la importancia y comportamiento del agua bajo el punto de vista del riego por goteo, hasta la instalación y evaluación adecuada de los sistemas.

Los conocimientos planteados en este libro permitirán al mismo tiempo, ofrecer a la población productora del país, en especial a aquella que cuenta con recursos limitados de suelo y agua, una nueva alternativa para hacer más productivas sus tierras, sin que ésta entre en conflicto con el adecuado uso del recurso hídrico o el cuidado del medio ambiente.

Hablar de riego por goteo es hablar de una tecnología rentable, con la capacidad de hacer producir hortalizas y frutales en casi cualquier superficie cultivable, y que al ser introducida en otros cultivos eleva la productividad de los mismos.

El riego por goteo representa una herramienta sustentable capaz de potenciar la diversificación de las fincas, reducir el consumo de agua y ayudar a garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de nuestro país.

No tengo la menor duda que extender el uso de este método de riego es parte de la solución que permitirá mejorar los niveles de producción y productividad, así como generar mejores oportunidades de empleo en el medio rural, mediante la diversificación de la tierra y el uso adecuado del recurso hídrico.

“Riego por goteo” es por ahora un documento que está al alcance de las familias productoras, de los profesionales del agro, institutos de investigación y población en general, con la fe puesta en que abonará a la adecuada difusión de esta tecnología, que es tan necesaria en nuestro país.

**Ing. Alirio Edmundo Mendoza Martínez**  
**Autor**

# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pag.</b>
<b>I LA IMPORTANCIA DEL RIEGO PARA LA PRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II EL AGUA EN EL SUELO</b>	<b>2</b>
GENERALIDADES	2
COMPOSICIÓN DEL SUELO	2
RELACIÓN ENTRE EL AGUA Y EL SUELO	2
DIFERENTES CLASES DE AGUA EN EL SUELO	2
MEDICIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO	4
LÁMINA DE AGUA	7
INFILTRACIÓN DE AGUA EN EL SUELO	7
<b>III EL AGUA DISPONIBLE PARA EL RIEGO</b>	<b>9</b>
GENERALIDADES	9
CANTIDAD DE AGUA DISPONIBLE PARA RIEGO	9
CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO	9
OBSTRUCCIONES EN RIEGO LOCALIZADO	13
ANÁLISIS DEL AGUA	14
<b>IV NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS</b>	<b>16</b>
GENERALIDADES	16
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETp)	17
EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ETo)	17
EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL, ACTUAL O EFECTIVA (ETc)	17
DEMANDAS DE AGUA	18
CÁLCULO DE LA ETC	19
ETC Y NECESIDADES DE RIEGO	20
CALENDARIO DE RIEGO	21
<b>V RIEGO POR GOTEO</b>	<b>24</b>
DESCRIPCIÓN	24
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RIEGO POR GOTEO	25
COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	25
<b>VI DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO</b>	<b>53</b>
GENERALIDADES	53
DISEÑO AGRONÓMICO	53
DISEÑO GEOMÉTRICO	58
DISEÑO HIDRÁULICO	60
<b>VII MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO</b>	<b>71</b>
GENERALIDADES	71
MEDIDAS GENERALES DE MANTENIMIENTO	71
LAVADO DE LA RED DE TUBERÍAS	71
MANTENIMIENTO DE LOS FILTROS	72
OBTURACIONES	73
BACTERIAS PRODUCIDA POR EL HIERRO Y EL MANGANESO.	76
TRATAMIENTO CON ÁCIDO	77
TRATAMIENTO DE CLORACIÓN	78
<b>VIII INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO</b>	<b>80</b>
GENERALIDADES	80
PLANIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN	80
EQUIPO Y HERRAMIENTAS	80
ENTREGA DE MATERIALES	80
ENSAMBLAJE DE PIEZAS	80
TRAZO Y EXCAVACIÓN DE ZANJAS	80

ENSAMBLAJE DE LAS TUBERÍAS	81
RELLENO PARCIAL DE ZANJAS	81
INSTALACIÓN DE LÍNEAS LATERALES	81
INSTALACIÓN DE CINTA DE GOTEO	82
COMPROBAR LA OPERACIÓN DE LOS CONTROLES, LAS VÁLVULAS, FILTROS Y EL SISTEMA DE RIEGO.	83
<b>IX EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO</b>	<b>84</b>
GENERALIDADES	84
OBJETIVOS DEL RIEGO	84
EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO	84
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>90</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PÉRDIDAS DE AGUA EN EL SUELO	3
FIGURA 2. NIVELES DE HUMEDAD EN EL SUELO	3
FIGURA 3. AGUA UTIL Y NO UTIL PARA LAS PLANTAS	4
FIGURA 4. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD	5
FIGURA 5. HUMEDAD VOLUMÉTRICA	5
FIGURA 6. MÉTODO DE REFLECTOMETRÍA	6
FIGURA 7. TENSIÓMETRO	6
FIGURA 8. SONDA DE NEUTRONES	7
FIGURA 9. REDUCCIÓN DE LA INFILTRACIÓN DE ACUERDO A LOS VALORES DE RAS Y CE	13
FIGURA 10. CLASES DE AGUA PARA RIEGO	15
FIGURA 11. FACTORES QUE INCIDEN EN EL CONSUMO DE AGUA POR LAS PLANTAS	16
FIGURA 12. CURVAS REAL Y TEÓRICA DEL COEFICIENTE DE CULTIVO KC	18
FIGURA 13. COMPONENTES DEL BALANCE DE AGUA EN EL SUELO	19
FIGURA 14. RIEGO CUANDO SE HA AGOTADO LA LÁMINA DE REPOSICIÓN	22
FIGURA 15. FORMA DE HUMEDECIMIENTO	24
FIGURA 16. HUMEDECIMIENTO DE LOS GOTEROS EN EL INTERIOR DEL SUELO	24
FIGURA 17. EL BULBO HÚMEDO SEGÚN EL TIPO DE SUELO	24
FIGURA 18. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA Y DE LAS SALES EN EL BULBO HÚMEDO	25
FIGURA 19. BOMBA HORIZONTAL CON MOTOR ELÉCTRICO	27
FIGURA 20. BOMBA HORIZONTAL CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	27
FIGURA 21. BOMBAS VERTICALES	27
FIGURA 22. BOMBAS SUMERGIBLES	28
FIGURA 23. ILUSTRACIÓN DE LA CARGA DINÁMICA TOTAL CDT	30
FIGURA 24. CURVA CARACTERÍSTICA TÍPICA	31
FIGURA 25. CABEZAL DE CONTROL DE RIEGO POR GOTEO	32
FIGURA 26. FILTRO HIDROCICLÓN	33
FIGURA 27. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL HIDROCICLÓN	33
FIGURA 28. PÉRDIDAS DE CARGA EN FILTROS HIDROCICLÓN	34
FIGURA 29. FILTRO DE ARENA VERTICAL	34
FIGURA 30. FUNCIONAMIENTO FILTRO DE ARENA	35
FIGURA 31. PROCESO DE RETROLAVADO USANDO DOS FILTROS	35
FIGURA 32. PROCESO DE RETROLAVADO	36
FIGURA 33. GRÁFICO DE PÉRDIDA DE CARGA EN FILTROS DE ARENA	36
FIGURA 34. FILTROS DE ANILLOS	36
FIGURA 35. CÓDIGO DE COLORES, FILTROS DE ANILLOS	37
FIGURA 36. GRÁFICO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN FILTROS DE ANILLO	37
FIGURA 37. TANQUE DE PRESIÓN	38
FIGURA 38. VARIACIÓN CONCENTRACIÓN - TIEMPO EN TANQUES DE PRESIÓN	39
FIGURA 39. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL TANQUE DE PRESIÓN	39
FIGURA 40. VARIACIÓN CONCENTRACIÓN – TIEMPO EN INYECTORES VENTURI	40
FIGURA No 41: INYECTOR VENTURI	40
FIGURA 42. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO INYECTOR VENTURI	40
FIGURA 43. BOMBAS DOSIFICADORAS	41
FIGURA 44. VARIACIÓN CONCENTRACIÓN – TIEMPO EN BOMBAS DOSIFICADORAS	41
FIGURA 45. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL MÉTODO DE INYECCIÓN DE LA BOMBA	41
FIGURA 46. ILUSTRACION DE SDR PARA SDR = 26	43
FIGURA 47. TIPOS DE UNIONES EN PVC	45
FIGURA 48. TIPOS DE UNIONES EN POLIETILENO	46
FIGURA 49. DIFERENTES CLASES DE GOTEROS	47
FIGURA 50. CURVA PRESIÓN – CAUDAL GOTEROS NO COMPENSADOS	47
FIGURA 51. CURVA PRESIÓN – CAUDAL GOTEROS AUTOCOMPENSADOS	47
FIGURA 52. CINTA DE EXUDACIÓN	48
FIGURA 53. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ECUACIÓN DEL GOTERO	49
FIGURA 54. MÉTODO GRÁFICO PARA CALCULAR K <sub>D</sub> Y X DE LA ECUACIÓN DEL GOTERO	49
FIGURA 55. DISTRIBUCIÓN NORMAL DEL CAUDAL	50
FIGURA 56. MEDIDOR DE TURBINA O CONTADOR	51
FIGURA 57. MEDICIÓN DE LA PRESIÓN	52
FIGURA 58. VÁLVULAS DE AIRE	52
FIGURA 59. CONCEPTO DE ÁREA HUMEDECIDA	53
FIGURA 60. VALORES RECOMENDADOS DE PORCENTAJE DE SUELO MOJADO	54
FIGURA 61. NÚMERO Y DISPOSICIÓN DE LOS EMISORES	54

FIGURA 62. PROFUNDIDAD DE HUMEDECIMIENTO DE LAS RAÍCES	54
FIGURA 63. MANEJO DE LATERAL SIMPLE EN DOBLE SURCO DE CULTIVO	55
FIGURA 64. INSTALACIÓN PATA EFECTUAR LA PRUEBA DE CAMPO	56
FIGURA 65. CALICATA PARA EVALUAR EL BULBO DE HUMEDECIMIENTO	56
FIGURA 66. DISPOSICIÓN DE LAS TUBERÍAS EN TERRENOS INCLINADOS	59
FIGURA 67. MINIVÁLVULA DE CONTROL DE PRESIÓN Y CAUDAL EN LA ENTRADA DE LATERALES DE GOTEO	59
FIGURA 68. REGULADOR DE PRESIÓN	59
FIGURA 69. DISPOSICIÓN TÍPICA DE TUBERÍAS, RIEGO POR GOTEO	59
FIGURA 70. DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA DE PRESIÓN EN UNA SUBUNIDAD	64
FIGURA 71. INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS EN LA LONGITUD DE LOS LATERALES	65
FIGURA 72. DISPOSICIÓN DE TUBERÍAS CON MÚLTIPLE CON ENTRADA AL CENTRO	68
FIGURA 73. VÁLVULA DE LAVADO DE TUBERÍAS	71
FIGURA 74. LAVADO DE LÍNEAS LATERALES	72
FIGURA 75. LAVADO DEL FILTRO DE ANILOS	73
FIGURA 76. OBSTRUCCIÓN DE LABERINTO DE GOTEROS	74
FIGURA 77. ALMACENAJE DE TUBOS DE PVC	80
FIGURA 78. CONEXIÓN DE LATERAL A MÚLTIPLE	82
FIGURA 79. CONEXIÓN DE CINTA A MÚLTIPLE	82
FIGURA 80. FORMA CORRECTA DE INSTALACIÓN	83
FIGURA 81. COLOCACIÓN DE TUBERÍAS MÚLTIPLES CON CONEXIÓN DE LATERALES EN LA ZANJA	83
FIGURA 82. CABEZAL DE CAMPO EN RIEGO POR GOTEO	83
FIGURA 83. DISTRIBUCIÓN DE LATERALES Y EMISORES CUC	86
FIGURA 84. MEDICIÓN DEL CAUDAL EN LOS EMISORES	86
FIGURA 85. TUBO PITOT Y MANÓMETRO	87

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. RELACIÓN LECTURA DEL TENSÍOMETRO – CONDICIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO	6
CUADRO 2. VALORES DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN SEGÚN EL TIPO DE SUELO	8
CUADRO 3. RESUMEN DE LAS PROPIEDAD FÍSICAS DEL SUELO, SEGÚN TEXTURAS	8
CUADRO 4. DIFERENTES IONES PRESENTES EN EL AGUA DE RIEGO	9
CUADRO 5. RIESGO DE SALINIDAD DE ACUERDO CON LOS VALORES DE C Y CE	10
CUADRO 6. REDUCCIÓN DEL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS EN FUNCIÓN DE LA CE DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN	11
CUADRO 7. TOXICIDAD DEL AGUA DE RIEGO EN FUNCIÓN DEL MÉTODO DE RIEGO (FAO)	12
CUADRO 8. RIESGO DE OBSTRUCCIONES EN RIEGO LOCALIZADO	13
CUADRO 9. CLASES DE AGUA SEGÚN SU DUREZA	14
CUADRO 10. VALORES NORMALES DE ANÁLISIS	14
CUADRO 11. DESCRIPCIÓN DE LAS CLASES DE AGUA	16
CUADRO 12. DURACIÓN APROXIMADA DE LAS FASES EN EL PERIODO VEGETATIVO DE VARIOS CULTIVOS	18
CUADRO 13. COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc) PARA VARIOS CULTIVOS	18
CUADRO 14. DATOS CLIMÁTICOS Y CÁLCULO DE LA ETO PROGRAMA CROPWAT	20
CUADRO 15. DATOS DEL CULTIVO PROGRAMA CROPWAT	20
CUADRO 16. VALORES DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA Y PRECIPITACIÓN EFECTIVA, SEGÚN MÉTODO DEL USBR	20
CUADRO 17. Valores de necesidades de riego y módulo de riego, programa CROPWAT	21
CUADRO 18. DATOS DEL SUELO	23
CUADRO 19. CALENDARIO DE RIEGO ETAPA INICIAL	23
CUADRO 20. CALENDARIO DE RIEGO ETAPA FINAL	23
CUADRO 21. DESCARGA DEL TANQUE DE PRESIÓN (Q) SEGÚN LA PÉRDIDA DE CARGA	39
CUADRO 22. CLASIFICACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN (v)	50
CUADRO 23. GUIA PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÁREA MOJADA POR GOTEROS SEGÚN CLASE DE SUELO	57
CUADRO 24. VALORES DE C	62
CUADRO 25. COEFICIENTE DE CHRISTIANSEN	62
CUADRO 26. RIESGO DE OBTURACIÓN DE LOS EMISORES	73
CUADRO 27. PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE ALGAS EN EMBALSES	76
CUADRO 28. PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE ALGAS Y BACTERIAS EN LA RED DE RIEGO	76

## **La importancia del riego para la producción**

El agua es el elemento vital para la vida, sin el agua no se podría vivir, la mayoría de los productos agrícolas y pecuarios están hechos en su mayor parte de agua, como ejemplo se pueden mencionar los siguientes productos; el tomate que contiene el 94% de agua, la lechuga el 95%, el plátano el 76% y la naranja el 87%.

La producción agrícola, por lo tanto, depende del agua. En nuestra región, existen dos épocas o estaciones, la estación lluviosa que se presenta normalmente de mediados de mayo a mediados de octubre y la estación seca que ocurre de mediados de octubre a mediados de mayo. La producción agrícola se concentra en su mayor parte durante la estación lluviosa y existen muy pocas tierras cultivadas en la estación seca, no obstante los países de Centroamérica cuentan con una amplia superficie con características para la producción bajo riego.

Durante la estación lluviosa se dispone de agua en forma natural que es aprovechada para la producción; sin embargo, existen periodos en los cuales el agua de lluvia no es suficiente para el desarrollo de los cultivos, estos períodos, pueden ser cortos o largos, dependiendo de la zona; algunas zonas de la región afectadas por la canícula tienen una duración de este fenómeno de hasta 40 días, provocando la reducción y hasta la pérdida total de las cosechas.

Durante la estación seca, el agua que queda almacenada en el suelo después de la estación lluviosa, se va consumiendo poco a poco hasta que se agota completamente y los cultivos no pueden desarrollarse. Si no se dispone de sistemas de riego la producción durante la estación seca es prácticamente imposible.

Como puede verse, en ambas estaciones, el riego se hace necesario, durante la estación lluviosa para complementar el agua que la lluvia no puede aportar; y durante la estación seca, toda el agua que consumen las plantas debe ser aportada por el riego.

Por otro lado, se ha comprobado que la producción bajo condiciones de riego ofrece mejores cosechas que la producción de invierno, esto es debido a que

mediante un buen riego se tiene mejor control de la humedad del suelo y del medio ambiente cercano a las plantas por lo que se observa un mejor desarrollo de los cultivos y una reducción de la presencia de hongos y bacterias.

Un aspecto que es importante de considerar además, es que la demanda de productos agrícolas es permanente durante todo el año, la producción continua durante las estaciones seca y lluviosa tienen mejores posibilidades de alcanzar las mejores oportunidades de introducción y permanencia y mejores precios en los mercados, y es debido a que si se produce todo el año, el abastecimiento es constante, además se pueden obtener cosechas escalonadas de acuerdo a como lo demanda el mercado.

Las cantidades de agua que necesitan las plantas para su óptimo desarrollo pueden ser suplidas por diferentes formas de aplicación del agua (métodos de riego) desde los métodos menos eficientes como el riego por gravedad en sus diferentes formas (riego por inundación no controlada, riego por surcos, melgas, multicompuestas, etc.) hasta los métodos de una mayor eficiencia como el riego por goteo y por microaspersión; el riego por aspersión posee niveles de eficiencia intermedios entre los mencionados anteriormente.

El riego por goteo está despertando cada día mayor interés, debido a las múltiples ventajas que ofrece desde el punto de vista de la economía del agua, como por el efecto benéfico en el desarrollo de los cultivos y en los niveles de producción, entre las principales atribuciones de este método se puede destacar: a) Humedecimiento parcial del suelo lo que se vuelve en un importante ahorro del agua, b) Amplia y exacta distribución uniforme del agua, c) Se puede emplear la fertilización localizada, junto al riego, d) Flexibilidad en los horarios de riego, normalmente los tiempos de aplicación son bajos, e) Los volúmenes de descarga son bajos lo que se traduce en una economía del bombeo.

Adicionalmente se puede mencionar que existe la posibilidad de que los pequeños productores pueden tener acceso a este método a través del uso de tecnologías no convencionales de bajo costo combinando materiales y accesorios convencionales de riego con otros que no han sido diseñados para tal fin como el poliducto.

## **II El agua en el suelo**

### **Generalidades**

El conocimiento de los suelos es fundamental para la planificación de los sistemas de riego. En general, un estudio de suelos puede contener muchos y variados componentes dependiendo del objetivo para el cual se realiza; sin embargo, los componentes mínimos que deben incluirse son las características físicas y químicas de los suelos.

Tanto desde el punto de vista del planeamiento de los sistemas de riego como de su operación y mantenimiento, y del manejo agronómico de los cultivos, es importante conocer las características físicas y químicas de los suelos como la textura, densidad aparente, capacidad de retención de humedad, velocidad de infiltración y otros como salinidad, conductividad hidráulica.

### **Composición del suelo**

El suelo está formado por tres partes: sólida, líquida y gaseosa. La parte sólida está formada por pequeñas partículas que se han separado del material original (rocas) y una pequeña proporción de material orgánico que ha generado la vegetación existente a través del tiempo. Las partículas de suelo dejan espacios libres que están ocupados, ya sea por agua o por aire. La suma de los espacios huecos en un suelo seco, se llama porosidad, los poros vacíos se llenan con agua luego de una lluvia o riego.

La proporción en que se encuentran los componentes del suelo citados anteriormente, define el grado de porosidad, característica que, a su vez, es de gran influencia en la cantidad de agua que los suelos son capaces de almacenar. La porosidad total de los suelos arcillosos es mayor que la de los suelos arenosos, debido a que el material arcilloso es más fino que las arenas, disponen de una mayor cantidad de poros pequeños, en comparación a las arenas que son partículas más grandes y por tanto, dejan huecos de tamaño mayor pero menos numerosos. Por otra parte, el movimiento del agua libre es mayor en los arenosos que en los arcillosos; sin embargo, la retención de agua es mayor en los suelos arcillosos que en los arenosos.

En líneas generales la porosidad varía dentro de los siguientes límites:

- Suelos ligeros: 30 – 45 %
- Suelos medios: 45 – 55 %
- Suelos pesados: 50 – 65 %
- Suelos turbosos: 75 – 90 %

### **Relación entre el agua y el suelo**

El suelo es el almacén de agua para las plantas, el agua que se aplica a los terrenos, ya sea mediante la lluvia o mediante el riego, es almacenado por el suelo en el espacio poroso.

La cantidad de agua que se almacena depende de muchos factores pero principalmente de la distribución de las partículas sólidas de los suelos o textura. Por unidad de volumen de suelo, los suelos arenosos tienen menor capacidad de almacenar agua que los suelos arcillosos, por esa razón cuando un cultivo se siembra en suelos arenosos es necesario regar con mayor frecuencia que cuando está sembrado en suelos arcillosos.

### **Diferentes clases de agua en el suelo**

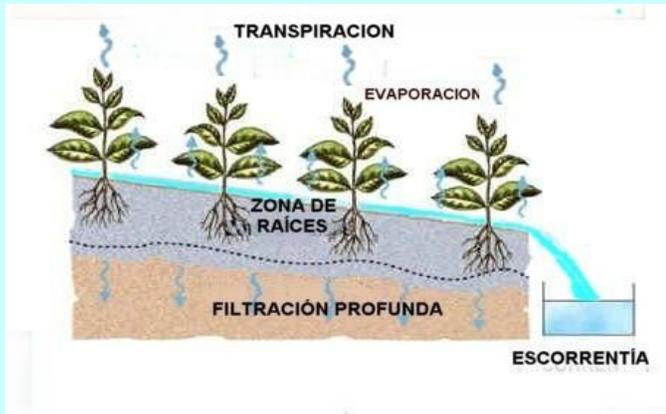
#### **Pérdidas de Agua en el suelo**

Cuando el agua llega al suelo toma diferentes rutas, una parte se infiltra en el suelo y otra se desliza por la superficie, a ésta se le conoce con el nombre de escorrentía superficial y es una porción de agua que no es aprovechada por las plantas.

En terrenos con pendiente, la escorrentía puede representar una seria amenaza pues es la que ocasiona la erosión de los suelos y es capaz de arrastrar las plantas y el fertilizante, la magnitud del daño depende de la cantidad de agua de escorrentía, la pendiente del terreno, la textura de los suelos y la edad del cultivo.

El agua que se infiltra en el suelo, puede tomar tres caminos: una parte queda almacenada en la zona de raíces y es el agua aprovechada por la planta, para realizar sus funciones fisiológicas y su desarrollo; otra se evapora desde la superficie del suelo y otra parte se desplaza hasta una profundidad mayor que la profundidad de raíces; a esta última se le conoce como filtración profunda o percolación, esta agua tampoco es utilizada por las plantas para su desarrollo. La figura 1 ilustra la forma en que se distribuye el agua cuando se aplica a los suelos.

**Figura 1. Pérdidas de agua en el suelo**



### **Niveles de agua en el suelo**

Del agua aplicada a los suelos una parte queda almacenada en los poros del suelo, dependiendo de la cantidad de agua aplicada, los poros pueden llenarse total o parcialmente, de acuerdo a esto pueden identificarse cuatro niveles de humedad:

- Saturación,
- Capacidad de Campo,
- Punto Permanente de Marchitez y
- Suelo Seco.

### **Saturación (s):**

El nivel de saturación es cuando todos los poros del suelo están llenos de agua, en esta condición no existe aire en los poros y las plantas pueden morir por asfixia, por eso es importante regar en las cantidades adecuadas. En la estación lluviosa que no se tiene control sobre la cantidad de agua que cae, la saturación puede evitarse mediante canales de drenaje, para sacar el exceso de agua.

### **Capacidad de campo (cc):**

Cuando todos los poros están llenos, el suelo empieza a drenar, en forma natural, el agua se mueve de la zona de raíces hasta las capas más profundas. La capacidad de drenaje de los suelos depende de su textura, los suelos arenosos pueden drenar una cantidad de agua mayor que los suelos arcillosos. El tiempo de drenado puede ser de un día para los suelos arenosos y tres días para los suelos arcillosos. Cuando se ha drenado el agua, en los poros queda una cantidad de agua que no puede drenarse, en esta condición los suelos se encuentran en Capacidad de Campo. Cuando los suelos se encuentran en esta condición, existe un balance adecuado de aire y agua para las plantas.

### **Punto Permanente de Marchitez (ppm):**

Cuando el suelo está en Capacidad de Campo y no se le vuelve a aplicar agua mediante el riego o la lluvia, las plantas hacen uso del agua almacenada, además se evapora agua de la superficie del suelo, esto ocasiona que los suelos se vayan secando poco a poco, en la medida que los suelos se secan, es más difícil para las plantas extraer el agua, hasta llegar un momento en que las plantas ya no pueden extraerla y se marchitan. Aunque el suelo aún contiene cierta cantidad de agua, las plantas no pueden utilizarla, en ese momento el suelo se encuentra en el nivel de humedad conocido como Punto Permanente de Marchitez. Este punto depende fundamentalmente de la planta, pues unas plantas resisten más la falta de agua que otras, aún estando plantadas en el mismo tipo de suelo.

En la práctica del riego, las aplicaciones de agua se realizan mucho antes de llegar a este punto, normalmente el criterio aplicado considera efectuar el riego cuando la planta ha consumido aproximadamente el 30% o 50% del agua que quedó retenida entre la Capacidad de Campo y el punto permanente de marchitez. En riego por goteo este porcentaje es menor y puede ser cercano al 10%.

### **Suelo seco (ss):**

Es el momento en el cual los poros del suelo se encuentran completamente llenos de aire y prácticamente no existe agua en ellos.

**Figura 2. Niveles de humedad en el suelo**



## Cálculo de la Capacidad de Campo y del Punto Permanente de Marchitez

El contenido de humedad a capacidad de campo y punto permanente de marchitez se determina en el laboratorio o en el campo. A falta de contar con la disponibilidad de laboratorios o no contar con datos de campo suficientes y confiables, estas variables se pueden calcular de manera aproximada a partir de otros datos analíticos más fáciles de obtener como la composición de la textura.

La humedad a capacidad de campo viene dada por la siguiente expresión:

$$CC = 0.48 Ac + 0.162L + 0.023 Ar + 2.62$$

Donde:

CC = Humedad gravimétrica a capacidad de campo (%)

Ac = Contenido de arcilla expresado como porcentaje en base a masa de suelo seco

L = Contenido de limo expresado como porcentaje en base a masa de suelo seco

Ar = Contenido de arena expresado como porcentaje en base a masa de suelo seco

La humedad a punto de marchitamiento permanente viene dada por la siguiente ecuación:

$$ppm = 0.302 Ac + 0.102 L + 0.0147 Ar$$

Donde :

Ppm = Humedad gravimétrica a punto permanente de marchitez (%).

Ac, L, Ar tienen el mismo significado que el descrito en el cálculo de la capacidad de campo.

## Agua útil para las plantas

Dependiendo del nivel de humedad que exista en el suelo las plantas pueden hacer uso o no de dicha agua. El contenido de humedad en el cual las plantas pueden hacer uso del agua se encuentra entre los niveles de capacidad de campo y punto permanente de marchitez. Para que una planta se desarrolle en una forma adecuada se debe mantener el nivel de humedad muy cerca de la capacidad de campo, regando poco y en forma frecuente (cada uno o dos días), esto se logra con sistemas de riego localizados como los métodos por goteo y microaspersión.

Desde el punto de vista del aprovechamiento del agua, se distinguen tres clases de agua en el suelo: el agua gravitacional que es la que se encuentra entre el nivel de saturación y la capacidad de campo, esta fracción del agua del suelo no es útil para la planta o puede temporalmente ser utilizada por las plantas mientras se encuentre en el estrato reticular de los suelos.

La otra clase es el agua capilar, que es la que se encuentra entre los niveles de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, esta agua es prácticamente la única que utiliza la planta, es la reserva hídrica del suelo. Su conocimiento es imprescindible para calcular las láminas de riego y los calendarios de riego.

Y finalmente se encuentra el agua higroscópica que es la contenida entre el punto de marchitez permanente y la condición de suelo seco. En esta condición, las moléculas de agua se disponen sobre las partículas de suelo en una capa de 15 a 20 moléculas de espesor y se adhiere a la partícula por adhesión superficial.

El poder de succión de las raíces no tiene la fuerza suficiente para extraer esta película de agua del terreno. En otras palabras esta porción del agua en el suelo no es utilizable por las plantas.

**Figura 3. Agua útil y no útil para las plantas**



## Medición de la humedad del suelo

El contenido de agua en el suelo se puede determinar de forma directa utilizando muestras de suelo o bien de forma indirecta utilizando aparatos calibrados.

Los métodos de medición directa miden el contenido de humedad del suelo; en los métodos indirectos se calcula la humedad a partir de una calibración entre la humedad y una propiedad que es más fácil de medir como por ejemplo la tensión de humedad.

**Métodos directos para medir el contenido de humedad del suelo**

**Método gravimétrico:**

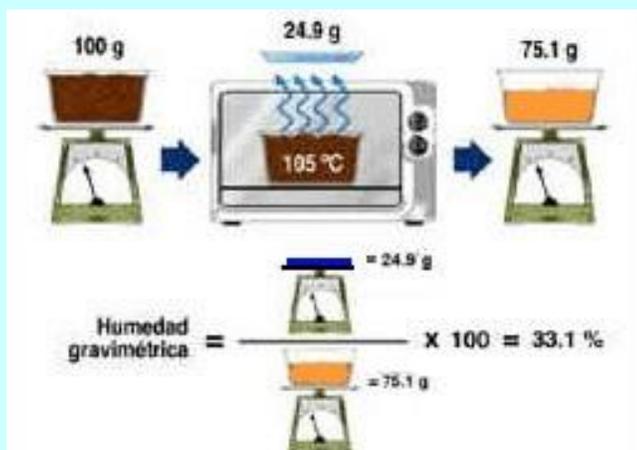
Consiste en determinar la masa de agua contenida en una muestra de suelo dividida entre la masa de suelo seco de la muestra. Por ejemplo, en una muestra de suelo humedecido se determinó que 24.9 g son de agua y 75.1 g son de suelo, la humedad gravimétrica resulta de dividir 24.9 entre 75.1 y multiplicar por 100, es decir, el 33.1%. Es el método más exacto, se utiliza para calibrar los métodos indirectos. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$H_w = \frac{M_a}{M_s} \times 100, \quad M_a = M_t - M_s$$

Donde:

- Hw = Humedad gravimétrica (%)
- Ma = Masa del agua en la muestra (g)
- Ms = Masa del suelo seco (g)
- Mt = Masa total de la muestra (g)

Fig. 4. Determinación de la humedad gravimétrica



**Método Volumétrico**

Es el porcentaje del volumen de suelo ocupado por el volumen de agua. Por ejemplo, si en una

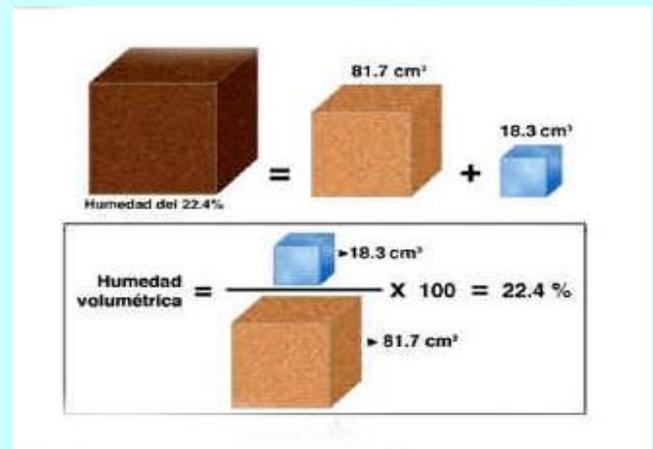
muestra de suelo, 18.3 cm<sup>3</sup> son de agua y 81.7 cm<sup>3</sup> son de suelo, la humedad volumétrica, resulta de dividir 18.3 entre 81.7 y multiplicar por 100, esto da una humedad volumétrica de 22.4 %. Su expresión es la siguiente:

$$H_v = \frac{V_a}{V_s} \times 100$$

Donde:

- Hv = Humedad volumétrica (%)
- Va = Volumen del agua en la muestra (cm<sup>3</sup>)
- Vs = Volumen total del suelo (cm<sup>3</sup>)

Figura 5. Humedad volumétrica



Lo más frecuente es calcular la humedad volumétrica multiplicando la humedad gravimétrica por la densidad aparente (da) del suelo o la Gravedad Específica Aparente (GEA). (Hv = Hw x GEA). La densidad aparente es la relación entre la masa de una muestra de suelo y el volumen que ella ocupa, su valor es diferente para cada tipo de suelo, las unidades en que se expresa son gramos por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>).

**Métodos Indirectos para medir el contenido de humedad del suelo**

**Reflectometría (TDR):**

En este método se utiliza un equipo de reflectometría de dominio temporal (TDR), el cual determina la humedad volumétrica de los suelos. Consta de varillas metálicas que se introducen en el suelo y un emisor receptor de impulsos magnéticos, genera un pulso electromagnético y mide el tiempo que tarda en recorrer las varillas, el que será mayor o menor dependiendo del contenido de humedad del suelo.

**Figura 6. Método de reflectometría**



**Tensiómetro:**

Es un aparato constituido por un tubo plástico que posee en un extremo una cápsula de cerámica porosa y en el otro un manómetro indicador de la succión que ocurre dentro del tubo. Mide la succión o fuerza que ejerce el suelo sobre el agua, a partir de cuyo valor se puede conocer el contenido de humedad del suelo.

A medida que el suelo pierde agua, la succión aumenta, es decir, el suelo ejerce mas fuerza para retener agua. Por lo tanto, observando cómo varía el valor de la succión se puede saber la evolución del contenido agua en el suelo. Normalmente se instalan dos tensiómetros a distintas profundidades, de esta forma se pueden medir gradientes hidráulicos y por tanto conocer la dirección de los flujos de agua en el suelo.

Antes de enterrar el tensiómetro en el suelo es necesario llenarlo de agua eliminando cualquier burbuja de aire. Para ello se introduce en un cubo de agua, y se quita el tapón que obtura herméticamente el extremo opuesto al que va situado la cápsula porosa, se llena de agua mediante succión utilizando una bomba de mano. Una vez el agua rebose por el extremo, se cierra de nuevo el tapón. En estas condiciones, el agua que llena la sonda está a la presión atmosférica y el vacuómetro marca cero.

Las medidas de presión hidrostáticas están limitadas a potenciales matriciales inferiores a 1 atm. Para tensiones superiores, puede penetrar aire en el interior de la sonda a través de la cápsula porosa y se rompería la continuidad de la columna líquida.

En riego por goteo los tensiómetros se instalan a 30 o 45 cm de los emisores cuando se trata de riego de árboles; cuando se riegan cultivos en hilera se colocan en la línea de plantas.

Para el control de la humedad del suelo es indispensable la colocación de tensiómetros en el bulbo húmedo o zona de raíces y así determinar cuando y cuanto regar. Los tensiómetros se colocan a 30 y 45 centímetros de profundidad.

La lectura del tensiómetro a 30 centímetros indica cuando regar. La segunda profundidad de los tensiómetros ayuda a definir la cantidad de agua a reponer en el perfil del suelo hasta una profundidad de 60 centímetros con base en los valores de capacidad de campo y punto permanente de marchitez de cada suelo.

**Figura 7. Tensiómetro**



**Cuadro 1. Relación lectura del tensiómetro – condición de humedad del suelo**

Lectura del Tensiómetro	Condición de humedad del Suelo
0 a 10 cb	Saturado por riego reciente
10 a 25 cb	Capacidad de Campo
25 a 50 cb	Humedad intermedia, buena disponibilidad de agua.
50 a 80 cb	Debería aplicarse riego

## Sonda de neutrones

Se basa en la emisión de neutrones a partir de una fuente radioactiva la cual se introduce en el suelo a través de tubos de aluminio instalados en forma permanente, la fuente se coloca a la profundidad a la cual se desea conocer el contenido de humedad, al ser activado, la fuente emite neutrones rápidos.

Los neutrones rápidos chocan con los átomos de hidrógeno de la molécula de agua después de lo cual se reflejan en forma lenta. Un receptor cuenta los neutrones reflejados y transforma la señal en contenido de agua, los cuales se presentan en mayor o menor cantidad, dependiendo del contenido de agua del suelo. Es necesario hacer una calibración del aparato previo a su uso.

**Figura 8. Sonda de neutrones**



## Lámina de agua

Otra forma de expresar el contenido de agua en un suelo es como lámina de agua (D). Esta representa la cantidad de agua contenida en una determinada profundidad de suelo. La expresión para el cálculo de la lámina de agua es la siguiente:

$$D = H_v \times P_s$$

Donde:

D = Lámina de agua contenida en la profundidad de suelo (mm)

H<sub>v</sub> = Humedad volumétrica (%)

P<sub>s</sub> = Profundidad del suelo (mm)

Esta ecuación se puede expresar también considerando la humedad gravimétrica, de la siguiente forma:

$$D = H_w \times d_a \times P_s$$

o de la siguiente forma:

$$D = H_w \times GEA \times P_s$$

Donde:

d<sub>a</sub> = Densidad aparente del suelo en g/cm<sup>3</sup>

GEA = Gravedad específica aparente o densidad relativa aparente del suelo (adimensional).

## Infiltración de agua en el suelo

La infiltración es el movimiento del agua desde la superficie del suelo hacia abajo, que tiene lugar después de una lluvia o del riego.

La velocidad de infiltración refleja la capacidad del suelo de absorber agua. Al principio (cuando el suelo está más seco) la velocidad de penetración en el suelo es más rápida, pero al seguir aportando agua, a medida que las arcillas se expanden y los poros se llenan de agua se llega a un momento en que esta velocidad es más o menos constante.

La curva que representa la velocidad de infiltración en función del tiempo desciende bruscamente hasta que se hace sensiblemente horizontal, cuando se alcanza esta condición la tasa de cambio de la velocidad de infiltración es mínima. Esta condición es importante desde el punto de vista del riego ya que no se debe aportar en el riego una pluviometría superior a la velocidad de infiltración que tiene el suelo cuando alcanza las condiciones de estabilización, pues se puede provocar encharcamiento y escorrentía, esto es particularmente cierto en riego por aspersión.

La medida de la velocidad de infiltración se hace mediante pruebas de campo utilizando cilindros infiltrómetros. En el caso del riego por surcos se realiza en un tramo del surco, midiendo el caudal de entrada y el de salida del tramo. La diferencia entre ambos representa el caudal infiltrado en el tramo, el cual al relacionarse con el tiempo en que se infiltró representa el volumen infiltrado, cuyo valor relacionado a la superficie de infiltración proporciona la lámina infiltrada. Otra forma de estimar la velocidad de infiltración es empíricamente en función de la textura del suelo.

Se expresa en altura de agua en milímetros que penetra en el suelo durante una hora (mm/h).

En el cuadro 2 se presentan valores de la velocidad de infiltración de los suelos, y en el cuadro 3 valores de las propiedades físicas de los suelos de acuerdo con su textura. Estos valores pueden utilizarse con fines de estimación en el planeamiento de sistemas de riego.

Cuadro 2. Valores de velocidad de infiltración según el tipo de suelo

Textura	I (mm/h)
Arenoso Franco	15 - 30
Franco Arenoso	12 - 18
Franco	8 - 14
Franco - Limoso	6 - 10
Arcilloso - Limoso	5 - 8
Arcilloso	3 - 6

El cuadro 3 muestra los valores de las propiedades físicas de los suelos de acuerdo con su textura; un dato importante es el mostrado en la última columna el cual es la capacidad de retención de los suelos (Cr), o sea la lámina que es capaz de almacenar un suelo expresado en centímetros, por cada metro de profundidad, este valor está relacionado con los valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente.

A partir de los valores de capacidad de retención se puede calcular la lámina máxima que un suelo puede almacenar en la profundidad de raíces.

Ejemplo:

Textura: Franco

Profundidad de raíces (Pr): 60 cm

Lámina máxima (D) = Cr x Pr

D = 17 cm/m x 0.60 m

D = 10.2 cm

Cuadro 3. Resumen de las propiedades físicas del suelo, según texturas (Israelsen y Hansen 1979)

Textura	Porosidad Total (%)	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	CC (%)	ppm (%)	Agua disponible		
					Humedad gravimétrica (%)	Humedad volumétrica (%)	Capacidad de Retención (cm/m)
Arenoso	38	1.65	9	4	5	8	8
	(32 - 42)	(1.55) - 1.80)	(6 - 12)	(2 - 6)	(4 - 6)	(6 - 10)	(7 - 10)
Franco - Arenoso	43	1.50	14	6	8	12	12
	(40 - 47)	(1.40 - 1.60)	(10 - 18)	(4 - 8)	(6 - 10)	(9 - 15)	(9 - 15)
Franco	47	1.40	22	10	12	17	17
	(43 - 49)	(1.35 - 1.50)	(18 - 26)	(6 - 12)	(10 - 14)	(14 - 20)	(14 - 19)
Franco - arcilloso	49	1.33	27	13	14	19	19
	(47 - 51)	(1.30 - 1.40)	(23 - 31)	(12 - 15)	(12 - 16)	(16 - 22)	(17 - 22)
Arcillo - arenoso	51	1.30	31	15	16	21	21
	(49 - 53)	(1.25 - 1.35)	(27 - 35)	(14 - 18)	(14 - 18)	(18 - 23)	(18 - 23)
Arcilloso	53	1.25	36	17	18	23	23
	(51 - 55)	(1.20 - 1.30)	(31 - 39)	(16 - 20)	(16 - 20)	(20 - 25)	(20 - 25)

### III El agua disponible para el riego

#### Generalidades

El conocimiento de la cantidad de agua disponible para el riego es fundamental tanto en la planificación como en la operación de los sistemas de riego.

El agua disponible se debe ver desde dos puntos de vista: la cantidad de agua en la fuente y la calidad de la misma. Una alta cantidad de agua en la fuente no significa necesariamente que toda se pueda utilizar para el riego. Aguas con mala calidad, o sea llenas de elementos químicos que afectan los suelos o las plantas o que contengan contaminantes no deben utilizarse para el riego.

El agua para riego se obtiene de corrientes superficiales como ríos o quebradas o aguas estacionarias como lagos y de aguas subterráneas como pozos, por lo general, en nuestro medio, las fuentes de agua son superficiales.

#### Cantidad de agua disponible para riego

La cantidad de agua disponible se determina realizando “aforos” o sea medición de los caudales de las fuentes. Existen diferentes métodos para conocer la cantidad de agua que se tiene disponible en una fuente, entre ellos se mencionan el método volumétrico, el método del flotador, molinete hidráulico y el uso de estructuras de medición como los vertederos, aforadores Parshall, RBC, sin cuello, métodos químicos, etc.

La cantidad de agua se mide en unidades de caudal, estas pueden ser metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ), galones por minuto (gpm), litros por segundo (l/s), las unidades de caudal indican el volumen de agua que pasa por la corriente por cada unidad de tiempo.

La superficie factible de regar a partir de un caudal disponible se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Superficie regable (ha)} = \frac{\text{oferta } \left(\frac{l}{s}\right)}{\text{demanda } \left(\frac{l}{ha}\right)}$$

La demanda está expresada como módulo de riego, que representa el caudal necesario por ha.

### Calidad del agua para riego

El conocimiento de la calidad del agua de riego es fundamental para la elección del método de riego, el manejo de los sistemas y la selección del cultivo a implantar.

La calidad está determinada fundamentalmente por las sales que se encuentra en ella, y dependerá de la naturaleza de éstas y de sus concentraciones.

Desde el punto de vista del riego la calidad de agua se determina a partir de los siguientes criterios:

- a) Salinización
- b) Sodificación
- c) Toxicidad
- d) Obstrucciones en riego localizado

#### Salinización

El agua de riego contiene determinadas sales solubles que se añaden a las ya existentes en el suelo. El proceso de salinización implica una acumulación de sales solubles en el suelo. Cuanto mayor es el contenido de sales en la solución del suelo, tanto más se incrementa su presión osmótica. En esta condición la planta tiene que desarrollar un mayor esfuerzo de succión para absorber el agua por las raíces, reduciéndose la cantidad de agua absorbida, lo que se traduce en una disminución efectiva de la cantidad de agua disponible para la planta.

Las sales que interesan desde el punto de vista del riego, son aquellas que, además de ser solubles, se descomponen en iones:

Cuadro 4. Diferentes iones presentes en el agua de riego

Cationes	Aniones
Calcio ( $Ca^{2+}$ )	Cloruro ( $Cl^-$ )
Sodio ( $Na^+$ )	Sulfato ( $SO_4^{2-}$ )
Magnesio ( $Mg^{2+}$ )	Biocarbonato ( $CO_3H^-$ )
Potasio ( $K^+$ )	Carbonato ( $CO_3^{2-}$ )

Las “salitreras” o zonas que presentan un alto contenido de sales impiden el crecimiento de los cultivos, las sales presentes en el suelo impiden que los cultivos puedan extraer el agua aunque el contenido de agua en el suelo sea alto, es decir, puede existir suficiente agua en el suelo pero la planta no la puede extraer por la presencia de las sales y llega al marchitamiento permanente.

La salinidad del agua de riego se puede determinar por dos procedimientos:

a) Medida del contenido de sales.

Se realiza en laboratorio, evaporando en una estufa una muestra de agua y pesando el residuo sólido. Se suele expresar en miligramos por litro (mg/litro) o en miliequivalentes por litro (meq/litro).

b) Medida de la conductividad eléctrica.

La concentración o el contenido total de sales se puede determinar midiendo la conductividad eléctrica. Esta se expresa en milimho por centímetro (mmho/cm) o en deciSiemens por metro (dS/m); ambos tienen el mismo valor.

El contenido de sales y la conductividad eléctrica están relacionadas mediante la fórmula:

$$C = 0.64 \times CE$$

Donde:

C = Contenido salino (g/litro)

CE = Conductividad eléctrica (dS/m)

### **Evaluación de la salinidad**

Existen varios criterios que establecen si el agua puede usarse para el riego según la cantidad de sales disueltas en ella. La FAO (Organización para la Agricultura y Alimentación) indica el riesgo de producirse problemas de salinidad según los siguientes límites en contenido de sales:

Cuadro 5. Riesgo de salinidad de acuerdo con los valores de C y CE

C(g/litro)	CE (dS/m)	Riesgo
< 0.45	< 0,7	Ninguno
0.45 < C < 2	0.7 < CE < 3	Ligero a moderado
> 2	> 3	Alto, severo

Como puede observarse, si el contenido de sales es mayor de 2 g/litro o la conductividad eléctrica mayor de 3 (dS/m), los problemas de salinidad pueden ser muy graves a menos que se establezcan una serie de tratamientos como lavado de sales frecuentemente o cambio de cultivo por otro u otros que resistan mejor las condiciones de salinidad.

### **Tratamientos de los problemas de salinidad**

#### **Lavado o lixiviación de sales**

Para evitar la acumulación de sales en la zona de las raíces, es necesario que la cantidad de sales desplazada por el lavado sea igual a la cantidad aportada por el agua de riego. Se llama requerimiento de lavado a la cantidad de agua que se requiere para disolver las sales y desplazarlas hasta capas más profundas.

La cantidad de agua necesaria para realizar el lavado depende del tipo de cultivo y de la salinidad del suelo. A mayor salinidad del agua del suelo y menor tolerancia, mayor será la cantidad de agua a aplicar para lavar las sales. Se expresa en tanto por ciento, así por ejemplo, si las necesidades de lavado son del 15%, se entiende que del total del agua aplicada con el riego el 15% es para lavar las sales, y el 85% restante se destina al cultivo para la satisfacción de sus requerimientos hídricos.

Es necesario mencionar que en nuestras latitudes donde se tienen precipitaciones cercanas a los 2,000 mm por año, se produce un lavado natural de las sales durante la estación lluviosa. No obstante lo anterior, la existencia en los terrenos de producción de problemas de drenaje o dificultad de evacuación de los excesos de agua en la zona radicular pueden impedir que las sales salgan de las zonas de riego.

#### **Drenaje**

Si se tiene una capa freática a poca profundidad que contiene sales, éstas pueden acumularse en la zona del suelo ocupada por las raíces al ascender el agua por capilaridad a medida que, por efectos del consumo por el cultivo, va disminuyendo el agua situada por encima de esa capa freática. En este caso, además del lavado, es necesario un sistema de drenaje que impida la subida del agua freática. En todo caso, el drenaje es necesario para provocar la evacuación de las sales de las zonas de raíces.

### **Implantar cultivos más tolerantes a la salinidad**

Si las prácticas mencionadas anteriormente no son suficientes para el control de la salinidad, será necesario implantar cultivos que presenten una tolerancia mayor a los efectos de la salinidad.

Cada cultivo presenta una tolerancia distinta con respecto a la salinidad, una clasificación general de los cultivos es la siguiente:

- Tolerancia escasa: frutales de hueso y de pepita, agrios, fresa, haba, judía, guisantes, trébol.
- Tolerancia media: vid, olivo, higuera, trigo, cebada, maíz, avena, arroz, centeno, sorgo, girasol, patata, alfalfa, alcachofa, tomate, pimiento, cebolla, zanahoria, y lechuga.
- Tolerancia alta: Remolacha, algodón, espárrago, espinaca, colza, nabo.

Hay que citar que la tolerancia de los cultivos a la salinidad está definida por la CE del extracto de saturación. La acción de las aguas salinas sobre el suelo es aún mas pernicioso que sobre las plantas, debido a que las sales se pueden ir acumulando en el suelo hasta hacerlo improductivo.

Por lo anterior es importante tomar en cuenta las siguientes relaciones que tienen un valor orientativo.

- CE del agua del suelo = 2CE del extracto de saturación.
- CE del agua del suelo = CE del agua de riego
- Se utiliza una fracción de lavado del 15 al 20 % del agua aplicada.

En estas relaciones no se ha tomado en cuenta las posibles precipitaciones. Cuando se producen precipitaciones, disminuye el contenido de sales disueltas, por lo que se reducen los riesgos de problemas de salinidad.

Con relación al método de riego a emplear, no se recomienda el riego por aspersión cuando el agua de riego tiene una conductividad superior a 2 dS/m, ya que puede ocasionar quemaduras en las hojas. Un agua con CE hasta 2.4 dS/m se puede utilizar en riego localizado con alta frecuencia de riego.

En la siguiente tabla se muestra el grado de tolerancia de los cultivos (en % de reducción de su

rendimiento) en función de la conductividad eléctrica del extracto de saturación (FAO).

Cuadro 6. Reducción del rendimiento de los cultivos en función de la CE del extracto de saturación

Disminución del rendimiento	0 %	10 %	25 %	50 %	100 %
Conductividad eléctrica del extracto de saturación (dS/m)					
<b>Cultivos extensivos</b>					
Algodón	7.7	9.6	13	17	27
Arroz	3.3	3.8	5.1	7.2	11
Cacahuete	3.2	3.5	4.1	4.9	6.6
Caña de azúcar	1.7	3.4	5.9	10	19
Maíz	1.7	2.5	3.8	5.9	10
Soja	5.5	5.5	6.3	7.5	10
Sorgo	6.8	7.4	8.4	9.9	13
<b>Cultivos hortícolas</b>					
Apio	1.8	3.4	5.8	9.9	18
Brócoli	2.8	3.9	5.5	8.2	14
Calabaza	4.1	5.8	7.4	10	15
Col	1.8	2.8	4.4	7	12
Cebolla	1.2	1.8	2.8	4.3	7.4
Espinaca	2	3.3	5.3	8.6	15
Judía	1	1.5	2.3	3.6	6.3
Lechuga	1.3	2.1	3.2	5.1	9
Maíz dulce	1.7	2.5	3.8	5.9	10
Melón	2.2	3.6	5.7	9.1	16
Patata	1.7	2.5	3.8	5.9	10
Pepino	2.5	3.3	4.4	6.3	10
Pimiento	1.5	2.2	3.3	5.1	8.6
Rábano	1.2	2	3.1	5	8.9
Remolacha	4	5.1	6.8	9.6	15
Tomate	2.5	3.5	5	7.6	13
Zanahoria	1	1.7	2.8	4.6	8.1
<b>Frutales</b>					
Aguacate	1.3	1.8	2.5	3.7	6
Fresa	1	1.3	1.8	2.5	4
Granado	2.7	3.8	5.5	8.4	14
Limonero	1.7	2.3	3.3	4.8	8
Melocotonero	1.7	2.2	2.9	4.1	6.5
Naranja	1.7	2.4	3.3	4.8	8
<b>Cultivos Forrajeros</b>					
Cebada forrajera	6	7.4	9.5	13	20
Maíz forrajero	1.8	3.2	5.2	8.6	15
Sorgo del Sudán	2.8	5.1	8.6	14	26

## Toxicidad

La presencia de determinadas sales en el suelo, incluso a bajas concentraciones, puede provocar efectos tóxicos en las plantas. El sodio, el boro y el cloruro son las que, en general, ocasionan más problemas para los cultivos:

- Un exceso de sodio produce sequedad o quemaduras en los bordes exteriores de las hojas.
- El exceso de cloruro suele manifestarse con quemaduras en la punta de las hojas y avanzar por los bordes.
- Los síntomas de toxicidad por boro suelen manifestarse por un amarillamiento de la punta de las hojas más antiguas que va desplazándose hasta el centro de las hojas entre los nervios y sequedad en algunas otras zonas de la planta.

Para solventar los problemas de toxicidad se recurre a tratamientos similares a los indicados para la salinidad: lavado de sales, enmiendas de calcio si la toxicidad es debida al sodio, utilizar cultivos más tolerantes.

Cuadro 7. Toxicidad del agua de riego en función del método de riego (FAO)

Iones	Unidades	No hay problema	Problema creciente	Problema grave
<b>Sodio</b>				
Riego superficial	SAR	< 3	3 - 9	>9
Riego por aspersión	meq/l	< 3	> 3	
<b>Cloruro</b>				
Riego superficial	meq/l	< 4	4 - 10	>10
Riego por aspersión	meq/l	< 3	> 3	
<b>Boro</b>	meq/l	< 0.7	0.7 - 3	> 3
<b>Efectos Diversos (en cultivos sensibles)</b>				
Nitrógeno	meq/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonato (con aspersores)	meq/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH	Gama	Normal	6.5-8.4	

## Sodificación

Cuando la velocidad de infiltración es muy baja, puede ocurrir que el agua infiltrada no resulte suficiente para cubrir las necesidades del cultivo.

Los problemas más frecuentes relacionados con una infiltración baja suelen producirse cuando el sodio se incorpora al suelo y deteriora su estructura; los agregados del suelo se dispersan en partículas pequeñas que tapan o sellan los poros y evitan que el agua pueda circular e infiltrarse con facilidad.

Además de los efectos anteriores, se ha comprobado que una alta presencia de sodio en el suelo provoca una reacción alcalina muy fuerte, desfavorable para los cultivos.

El efecto contrario lo producen el calcio y el magnesio, por lo que para evaluar realmente el problema que puede generar un exceso de sodio hay que saber también la cantidad de calcio y magnesio que hay en el suelo.

Con esa finalidad, para evaluar los problemas de infiltración ocasionados por la presencia de sodio en el agua de riego, se han propuesto varios índices de los cuales el más utilizado es el índice denominado RAS (Relación de adsorción de sodio). Este índice mide la cantidad de sodio y su actividad (dependiendo de la cantidad de calcio y magnesio presentes) y viene definido por la siguiente fórmula:

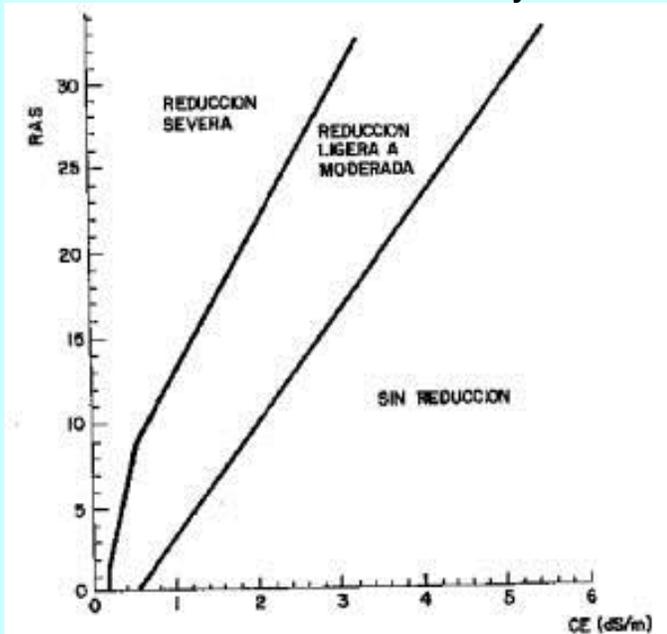
$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Donde:

$Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  representan, respectivamente, las concentraciones de los iones de sodio, calcio y magnesio del agua de riego, expresado en meq/litro.

A partir de los valores de RAS y de los valores de salinidad presentes en el agua de riego se puede estimar el grado de reducción de la infiltración utilizando la gráfica que se presenta en la figura 9.

**Figura 9. Reducción de la infiltración de acuerdo a los valores de RAS y CE**



**Tratamiento de los problemas de sodificación**

Existen diversos procedimientos para evitar o corregir los problemas de infiltración debidos a la mala calidad del agua de riego:

**Incorporando productos que modifiquen la composición química del agua o del suelo.**

Los problemas de infiltración son debidos a un elevado RAS o a un bajo contenido de sales en el agua. Por tanto, las enmiendas van encaminadas a proporcionar el calcio de modo que se disminuya el RAS y aumente la salinidad.

Estas se suelen realizar aplicando yeso, también puede utilizarse el ácido sulfúrico y el azufre aunque resultan menos económicas. La disolución del calcio contenido en el yeso se facilita cuanto más baja sea la salinidad del agua y cuanto mayor sea el grado de finura de las partículas de yeso.

**Incorporando materia orgánica al suelo**

La aplicación de materia orgánica al suelo contribuye a mejorar su estructura, facilitando la infiltración.

**Prácticas de riego**

Como regar con frecuencia y a dosis bajas. También evitar los riegos por gravedad, interesa el riego por aspersión en suelos arenosos y el goteo en suelos arcillosos.

**Obstrucciones en riego localizado**

Los sólidos en suspensión, las sustancias disueltas o los microorganismos contenidos en el agua de riego pueden producir obstrucciones en los emisores de riego localizado. Según el tipo de material o elemento que provoquen la obstrucción, estas se pueden clasificar en:

**Físicas:** Producidas por materias físicas (arenas, limos, arcillas) u orgánicas (algas, bacterias, fitoplancton) que lleva el agua de riego en suspensión, llamadas obstrucciones internas, o por materiales que llegan al interior de los emisores desde el exterior, llamadas obstrucciones externas.

**Químicas:** Provocadas por la precipitación en el interior de la instalación de sustancias que traspasan los filtros disueltas en el agua de riego, o de sustancias fertilizantes que se incorporan a ella.

**Biológicas:** Debidas a organismos, como algas raíces, insectos, microorganismos, etc., que se encuentran en el agua de riego o que llegan desde el exterior y se desarrollan dentro de la instalación.

La siguiente tabla presenta el riesgo de obstrucción en función de la concentración de diferentes elementos presentes en el agua de riego.

**Cuadro 8. Riesgo de obstrucciones en riego localizado**

Elemento	Riesgo de obstrucciones		
	Ninguno	Moderado	Grave
<b>Física</b>			
Sólidos en suspensión (mg/litro)	<50	50-100	>100
<b>Química</b>			
Sólidos solubles (mg/litro)	<500	500-2000	>2000
Manganeso (mg/litro)	<0.1	0.1-1.5	>1.5
Hierro (mg/litro)	<0.1	0.1-1.5	>1.5
Acido Sulfhídrico (mg/litro)	<0.5	0.5-2	>2
pH	<7	7-8	>8
<b>Biológica</b>			
Poblaciones bacterianas (max. Num./ml)	<10000	10000-50000	>50000

Las partículas sólidas en suspensión se eliminan mediante sedimentación y filtración. Los precipitados químicos que se producen por exceso de carbonatos o sulfatos de calcio o de magnesio y por la oxidación del hierro se ven favorecidos por altas temperaturas y valores altos de pH.

El riesgo de precipitación del calcio puede ser valorado por el índice de saturación de Langelier (IL), según el cual el carbonato cálcico precipita cuando alcanza su límite de saturación en presencia de bicarbonato.

Por otro lado, el grado de dureza que se refiere al contenido de calcio, si es alto puede ocasionar riesgo de obstrucción de los emisores de riego por goteo. La dureza se mide en *grados hidrotimétricos franceses*, que se puede determinar mediante la fórmula:

$$\text{Grados hidrotimétricos} = \frac{2.5 \text{ Ca}^2 + 4.12 \text{ Mg}^{2+}}{10}$$

Donde las concentraciones de Ca y Mg se expresan en mg/l.

La clasificación del agua por su dureza se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Clases de agua según su dureza

Grados Hidrotimétricos (F°)	Clasificación
Menos de 7	Muy dulce
De 7 a 14	Dulce
De 14 a 22	Medianamente dulce
De 22 a 32	Medianamente dura
De 32 a 54	Dura
Mas de 54	Muy dura

## Análisis del agua

Para efectuar los análisis de agua con fines de riego, deben tomarse muestras de agua para lo cual se sugiere observar las siguientes indicaciones:

a) El recipiente a utilizar para colocar la muestra debe ser de vidrio o plástico de un litro de

capacidad, el cual inmediatamente antes de la toma de la muestra, se debe lavar varias veces con la propia agua de riego.

b) La muestra debe tomarse un momento antes de analizarse, los resultados son mejores cuanto menor sea el tiempo entre la hora de la toma de la muestra y el análisis.

c) En pozos dotados de bomba, debe tomarse la muestra después de algún tiempo de bombeo.

d) En ríos y embalses se deben recoger varias tomas en diferentes puntos representativos y se mezclan para obtener una sola muestra. Sólo debe muestrearse en lugares donde el agua esté en movimiento.

e) La muestra debe tomarse a una profundidad localizada entre la superficie del agua y el fondo.

f) La muestra debe guardarse a una temperatura de unos 5° C.

g) Debe cerrarse el envase y etiquetarlo, la muestra se debe acompañar de datos indicando el nombre o identificación de la fuente, el sitio de muestreo, el cultivo a regar, características del suelo y cualquier otra información que se considere útil, principalmente para la interpretación de los resultados.

En el cuadro 10 se recogen los valores normales de análisis de aguas de riego:

Cuadro 10. Valores normales de análisis de aguas de riego

Parámetro	Valores Normales	
Conductividad eléctrica	0– 3 ds/m	
RAS	0 - 15	
pH	6-8.5	
Sólidos en disolución	0-2000 mg/litro	
Calcio	0-20 meq/litro	0-400 mg/litro
Magnesio	0-5 meq/litro	0-60 mg/litro
Sodio	0-40 meq/litro	0-920 mg/litro
Carbonatos	0-0.1 meq/litro	0-3 mg/litro
Bicarbonatos	0-10 meq/litro	0-600 mg/litro
Cloruro	0-30 meq/litro	0-1100 mg/litro
Sulfatos	0-20 meq/litro	0-960 mg/litro
Potasio	0-2 mg/litro	
Boro	0-2 mg/litro	
Hierro	0-0.5 mg/litro	
Dureza	0-40 F°	

## Interpretación de los resultados

Para la clasificación de las aguas se han propuesto diversas normas, siendo la más difundida la propuesta por USDA.

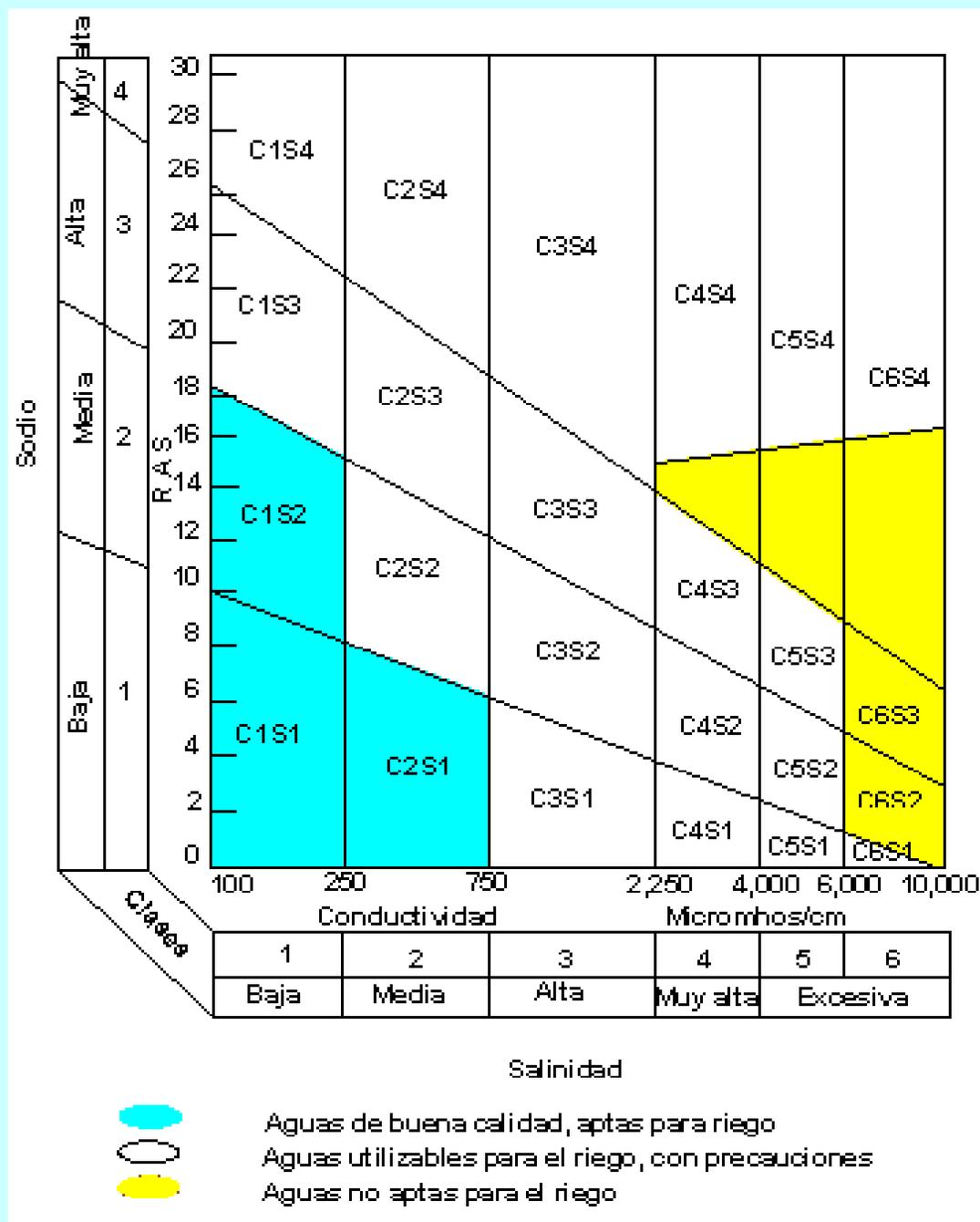
Esta norma clasifica el agua en varias categorías que representan el riesgo de salinización o sodificación del suelo. A partir de los valores de CE y RAS obtenidos en el respectivo análisis se establece una clasificación del agua según estas

normas, para ello se hace uso del nomograma mostrado en la figura 10.

En el eje de las abscisas, a escala logarítmica, se ubican los valores de Conductividad Eléctrica y en el eje de las ordenadas se llevan los valores de la Relación de Adsorción de Sodio.

Las diferentes clases de agua obtenidos por este método se describen en el cuadro 11.

**Figura 10. Clases de agua para riego**



Cuadro 11. Descripción de las clases de agua

Clasificación de las aguas	
Tipos	Calidad y normas de uso
C 1	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solamente en suelos de muy baja permeabilidad.
C 2	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C 3	Agua de salinidad alta, puede utilizarse para el riego en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos tolerantes a la salinidad.
C 4	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C 5	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C 6	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S 1	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S 2	Agua con contenido medio de sodio, y por tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario.
S 3	Agua con alto contenido de sodio y gran peligro de acumulación del sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y el empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S 4	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

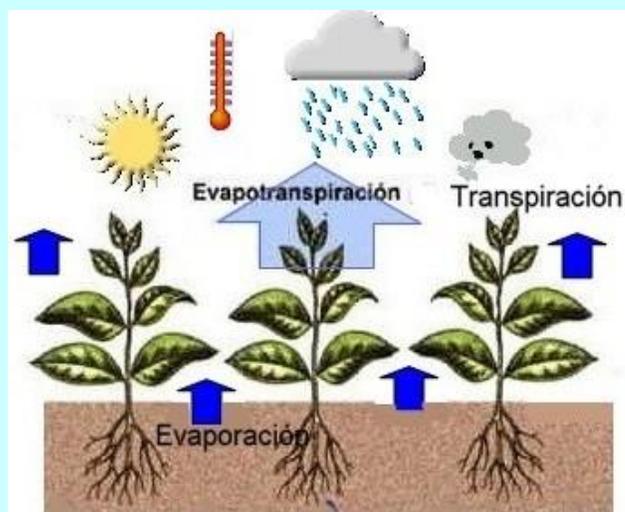
## IV Necesidades de agua de los cultivos

### Generalidades

Las necesidades hídricas de los cultivos expresan la cantidad de agua que es necesario aplicar para compensar el déficit de humedad del suelo durante un período vegetativo.

Las plantas absorben el agua desde el suelo mediante sus raíces. Ambos, suelo y planta, están sometidos a los efectos de la lluvia, el sol y viento, que generan un mayor o menor grado de evaporación desde el suelo y transpiración de las plantas. La cantidad de agua que suponen ambos procesos, transpiración y evaporación, suele considerarse de forma conjunta simplemente porque es muy difícil calcularla por separado. Por lo tanto se considera que las necesidades de agua de los cultivos están representados por la suma de la evaporación directa desde el suelo más la transpiración de las plantas que es lo que se conoce como evapotranspiración.

Figura 11. Factores que inciden en el consumo de agua por las plantas



La evapotranspiración suele expresarse en mm de altura de agua evapotranspirada en cada día (mm/día) y es una cantidad que variará según el clima y el cultivo. Un milímetro de agua evapotranspirada es igual a un litro por cada metro cuadrado de terreno. Si un cultivo consume 5 mm/día significa que consume cada día cinco litros por cada metro cuadrado de terreno. El sistema de riego debe ser capaz de proporcionar esa cantidad de agua.

## Evapotranspiración potencial (ETp)

Existe acuerdo entre los diversos autores al definir la ETp como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso que no existen limitaciones en la disponibilidad de agua. Según esta definición, la magnitud de la ETp está regulada solamente por las condiciones climáticas.

## Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)

La noción de ETo ha sido establecida para reducir las ambigüedades de interpretación a que da lugar el amplio concepto de evapotranspiración y para relacionarla de forma más directa con los requerimientos de agua de los cultivos. Es similar al concepto de ETP, ya que ambos dependen exclusivamente de las condiciones climáticas, incluso en algunos estudios son considerados equivalentes, pero se diferencian en que la ETo es aplicada a un cultivo específico, o de referencia, habitualmente gramíneas o alfalfa, de 8 a 15 cm de altura uniforme, de crecimiento activo, que cubre totalmente el suelo y que no se encuentra sometido a déficit hídrico. Por ello en los últimos años está reemplazando al concepto de ETP.

La evapotranspiración de referencia (ETo), como el cultivo es siempre el mismo, variará según las condiciones del clima (radiación, temperatura, humedad, viento, etc.) y se expresa en mm de lámina de agua por día (mm/día).

Existen muchos métodos empíricos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, en función de datos climáticos. El método a emplear se determina por el tipo de datos disponibles y el nivel de exactitud requerido. Puede usarse el método del tanque evaporímetro, fórmulas empíricas (Blaney – Criddle, Turc, Thornthwite, Hargreaves) o programas informáticos, como el CROPWAT, de la FAO, basado en la fórmula de Penman – Monteith.

## Evapotranspiración real, actual o efectiva (ETc)

No obstante las mayores precisiones alcanzadas con la incorporación de algunos de los conceptos anteriores, las condiciones establecidas por ellos no siempre se dan en la realidad, y aquella evapotranspiración que ocurre en la situación real

en que se encuentra el cultivo en el campo, difiere de los límites máximos o potenciales establecidos. Para referirse a la cantidad de agua que efectivamente es utilizada por la planta se debe utilizar el concepto de evapotranspiración actual o efectiva, o más adecuadamente, el de evapotranspiración real.

La ETc es más difícil de calcular que la ETP o ETo, pues, además de las condiciones atmosféricas, interviene la magnitud de las reservas de humedad del suelo y los requerimientos de los cultivos. Para determinar la ETc, se debe corregir la ETP o ETo con un factor Kc que depende de las características de cada cultivo.

$$ETc = ETo \times Kc$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración real

ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia

Kc = Coeficiente de cultivo

### Coeficiente de Cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo Kc, describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha. En los cultivos anuales normalmente se diferencian 4 etapas o fases de cultivo:

- Inicial: Desde la siembra hasta un 10% de la cobertura del suelo aproximadamente.
- Desarrollo: Desde el 10% de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta.
- Media: Entre la floración y la fructificación, la que corresponde, en la mayoría de los casos al 70 al 80% de cobertura máxima de cada cultivo.
- Maduración: Desde madurez hasta la cosecha.

El Kc presenta valores pequeños al inicio del desarrollo del cultivo y aumenta a medida que se incrementa la cobertura del suelo. El valor máximo se alcanza durante la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrecen durante la maduración.

Lo mejor es disponer de valores de Kc para cada cultivo obtenido en la zona y para distintas fechas de siembra, pero en ausencia de esta información se pueden utilizar valores referenciales de Kc, presentados en la bibliografía especializada, como los valores que se presentan en el cuadro 13.

**Figura 12. Curvas real y teórica del coeficiente de cultivo Kc**



### Duración de las fases

En el cuadro 12 se presenta la duración aproximada de las fases del período vegetativo de algunos cultivos. Los valores de la tabla se refieren a cultivos sembrados directamente en el terreno.

En los cultivos de transplante se considera como fase inicial el periodo comprendido desde la siembra hasta el transplante.

**Cuadro 12. Duración aproximada de las fases en el periodo vegetativo de varios cultivos**

Cultivo	Total	Inicial	Desarrollo	Media Estación	Finales
Algodón	180	30	50	55	45
Berenjena	130	30	40	40	20
Cacahuete	130	25	35	45	25
Cebolla verde	70	25	30	10	5
Espinaca	60	20	20	15	5
Col	120	20	25	60	15
Guisante	90	15	25	35	15
Lechuga	75	20	30	15	10
Maíz dulce	80	20	25	25	10
Maíz grano	125	20	35	40	30
Melón	120	25	35	40	20
Patata	105	25	30	30	20
Pepino	105	20	30	40	15
Pimiento	120	25	35	40	20
Rábano	35	5	10	15	5
Soya	135	20	30	60	25
Sorgo	120	20	30	40	30
Tomate	135	30	40	40	25
Zanahoria	100	20	30	30	20

Los valores de Kc para diferentes cultivos se presentan en el cuadro 13.

**Cuadro 13. Coeficientes de cultivo (Kc) para varios cultivos**

Cultivo	Inicial	Desarrollo	Media Estación	Finales
Algodón	0.45	0.75	1.15	0.75
Berenjena	0.45	0.75	1.15	0.80
Cacahuete	0.45	0.75	1.05	0.70
Cebolla verde	0.50	0.70	1.00	1.00
Espinaca	0.45	0.60	1.00	0.90
Col	0.45	0.75	1.05	0.90
Guisante	0.45	0.80	1.15	1.05
Lechuga	0.45	0.60	1.00	0.90
Maíz dulce	0.40	0.80	1.15	1.00
Maíz grano	0.40	0.80	1.15	0.70
Melón	0.45	0.75	1.00	0.75
Patata	0.45	0.75	1.15	0.85
Pepino	0.45	0.70	0.90	0.75
Pimiento	0.35	0.70	1.05	0.90
Rábano	0.45	0.60	0.90	0.90
Soya	0.35	0.75	1.10	0.60
Sorgo	0.35	0.75	1.10	0.65
Tomate	0.45	0.75	1.15	0.80
Zanahoria	0.45	0.75	1.05	0.90

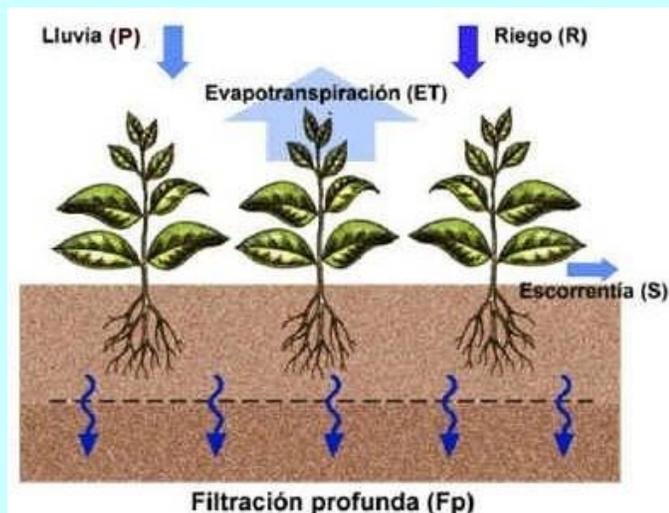
### Demandas de agua

Las necesidades de agua se evalúan estableciendo, para un determinado período, un balance entre las cantidades de agua requeridas para la evapotranspiración del cultivo y otros usos especiales y los aportes de agua hechos por la lluvia o el riego.

Visto como un balance, las entradas de agua pueden ser debidas a la lluvia (P) o al riego (R). Por su parte, las salidas de agua se deberán a la evapotranspiración (ET), la escorrentía (S) y la filtración profunda (Fp). Una visualización del balance se muestra en la figura 13.

Se considera que un sistema de riego está bien diseñado cuando la escorrentía y filtración profunda es cero. De esta forma, la cantidad de agua que necesita el cultivo y se ha de aportar con el riego o "Necesidades netas de riego (Nn)" corresponderán con la diferencia entre la cantidad de agua que el conjunto suelo-planta pierde (la evapotranspiración) y el agua que se aporta de forma natural (precipitación efectiva, Pe).

**Figura 13. Componentes del balance de agua en el suelo**



Las necesidades netas de riego, entonces se pueden representar por la siguiente expresión:

$$N_n = E_{Tc} - P_e$$

Donde;

$P_e$  = Precipitación efectiva

Desde el punto de vista agrícola, la precipitación efectiva es aquella parte de la lluvia que se almacena en el volumen de suelo a la profundidad radicular y es consumida por la planta en el proceso de evapotranspiración.

Además de las necesidades netas de riego, hay otras cantidades adicionales de agua que son necesarias para compensar las pérdidas por las condiciones en que se desarrolla el cultivo. Estas pérdidas se producen por:

- Percolación profunda, por debajo de la zona de raíces.
- Uniformidad de distribución del agua en la parcela de riego.
- Requerimientos de lavado de sales del suelo.

Todas las pérdidas de agua se cuantifican en un término denominado eficiencia de riego ( $E_r$ ), cuyo valor es el resultado del producto de las eficiencias que se presentan en la conducción ( $E_c$ ), en la distribución ( $E_d$ ) y en la aplicación del agua ( $E_a$ ).

$$E_r = E_c \times E_d \times E_a$$

Por lo tanto conociendo la eficiencia de riego, se pueden determinar las necesidades brutas de riego ( $N_b$ ). Su valor es diferente para cada método de riego, y dentro de cada uno de ellos distinto según cada sistema. A título orientativo se presentan los siguientes valores:

- Riego por gravedad: 30 - 50 %
- Riego por aspersión: 65 - 85 %
- Riego por goteo: 80 - 90 %

La cantidad real de agua que ha de aplicarse en el riego para satisfacer las necesidades netas de riego, se calcula utilizando una fórmula muy simple:

$$N_b = \frac{N_n}{E_r}$$

Cuando se utiliza agua salinas se debe aportar una cantidad adicional para lixiviar (desplazar fuera de la zona radicular) las sales que pudieran acumularse en el suelo por efecto de la evapotranspiración. La lixiviación de las sales es una práctica obligada en el control de la salinidad del suelo, a nivel de la zona radicular.

### Cálculo de la $E_{Tc}$

Como se ha citado, existen diferentes métodos para calcular el consumo de agua por las plantas y los requerimientos de riego. Una herramienta de gran precisión y facilidad de aplicación es el programa de cómputo CROPWAT el cual es un programa desarrollado por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas (AGL) de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO). El programa es útil para:

Calcular

- La evapotranspiración de referencia
- Las necesidades de agua de los cultivos
- Las necesidades de riego de los cultivos
- Las necesidades de riego de un sistema de riego multicultivo.

Elaborar: Alternativas para la programación del riego bajo diferentes hipótesis de manejo y de condiciones ambientales

Estimar: La producción bajo condiciones de secano y el efecto de las sequías.

## Ejemplo de cálculo de la Etc y las necesidades de riego de los cultivos, utilizando el programa CROPWAT

Datos:

Clima:

Estación Meteorológica: San Miguel, El Papalón

Elevación: 80 msnm

Latitud: 13.45° N

Longitud: 88.11° W

Datos climáticos: En el cuadro 14 se presenta el cuadro de salida del programa conteniendo los datos climáticos y el cálculo de la Eto para cada uno de los meses del año, calculados mediante la ecuación de Penman Montheit.

Cuadro 14. Datos climáticos y cálculo de la ETo programa CROPWAT

Climate Data Table							
Country	El Salvador		Station	San Miguel el		Altitude	80 (m)
Month	Max Temp. (C)	Min Temp. (C)	Humidity (%)	WindSpeed (km/d)	SunShine (hours)	Solar Radiation (MJ/m2/d)	ETo (mm/d)
January	36.2	18.7	58.7	136.8	9.6	20.4	5.1
February	37.0	19.1	57.3	136.8	9.6	22.1	5.6
March	38.1	20.7	57.3	136.8	9.6	23.6	6.1
April	38.0	22.3	61.6	136.8	8.7	23.0	6.1
May	35.8	23.0	70.8	115.2	7.7	21.2	5.2
June	33.6	22.4	77.6	98.4	7.4	20.5	4.7
July	34.5	24.8	73.9	110.4	8.5	22.2	5.2
August	34.5	21.9	76.0	98.4	8.4	22.3	5.0
September	33.0	21.8	77.7	98.4	7.0	19.8	4.4
October	32.8	21.6	77.2	86.4	7.7	19.7	4.3
November	33.9	20.0	73.2	110.4	8.3	19.0	4.3
December	28.1	20.1	87.7	124.8	9.0	19.0	3.5
Average	34.6	21.4	70.8	115.8	8.5	21.1	5.0

Cultivo:

Especie: Tomate

Ciclo vegetativo: 135 días

Duración de las fases fenológicas (Cuadro12)

Inicial: 30

Desarrollo: 40

Media Estación: 40

Final: 25

Valores del Coeficiente Kc (Cuadro 13)

Inicial: 0.45

Desarrollo: 0.75

Media Estación: 1.15

Final: 0.80

Fecha de siembra: 15 de diciembre

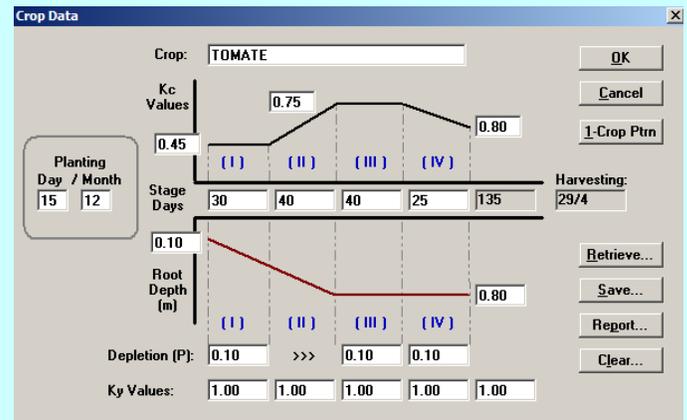
Agotamiento permisible: 10% en todas las etapas

Profundidad de raíces: 0.10 m etapa inicial

0.80 m etapa final

En el cuadro 15 se presentan los datos referentes al cultivo de acuerdo al formato del programa.

Cuadro 15. Datos del cultivo programa CROPWAT



Precipitación:

En el cuadro 16 se presentan los valores de la precipitación total mensual de la estación seleccionada y los valores de la precipitación efectiva (Pe), calculada por el método del USBR. El programa da diferentes opciones sobre el método de cálculo de la Pe.

Cuadro 16. Valores de la precipitación media y precipitación efectiva, según método del USBR

Monthly Rainfall Data			
	Total	Effective	
January	1.0	1.0	(mm/month)
February	0.0	0.0	(mm/month)
March	1.0	1.0	(mm/month)
April	23.0	22.2	(mm/month)
May	163.0	120.5	(mm/month)
June	293.0	154.3	(mm/month)
July	216.0	141.4	(mm/month)
August	226.0	144.3	(mm/month)
September	322.0	157.2	(mm/month)
October	215.0	141.0	(mm/month)
November	33.0	31.3	(mm/month)
December	44.0	40.9	(mm/month)
Total	1537.0	955.1	

## Etc y Necesidades de riego

En el cuadro 16 se presenta el cuadro de salida del programa con los valores de las necesidades de agua o Etc (CWR en el cuadro) y los valores de las necesidades de riego. Ambos datos se

presentan como valores totales en el periodo de análisis del programa, para el caso, por períodos decádicos.

Los valores de necesidades netas de riego aparecen en la columna titulada Irrig Req, la cual como puede apreciarse se ha calculado restando los montos de la precipitación efectiva a los valores de necesidades de agua.

Los valores de necesidades brutas vienen expresados en la columna titulada FWS el cual corresponde al “módulo de riego” o sea el caudal unitario necesario para satisfacer las necesidades de riego y está definido por la siguiente expresión

$$FWS = \frac{\text{Irrig Req. X 10000}}{\frac{\text{Eficiencia de riego} \times \text{Período}}{100} \times (\text{TimeStep}) \times 24 \times 3600}$$

Cuadro 17. Valores de necesidades de riego y módulo de riego, programa CROPWAT

Date	ETo (mm/period)	Crop Area (%)	Crop Kc	CWR (ETm) (mm/period)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain (mm/period)	Irrig. Req. (mm/period)	FWS (l/s/ha)
15/12	44.04	100.00	0.45	19.82	0.00	0.00	19.82	0.27
25/12	44.58	100.00	0.45	20.06	0.30	0.28	19.78	0.27
4/1	46.36	100.00	0.45	20.86	1.01	0.58	20.28	0.28
14/1	49.01	100.00	0.49	24.09	0.00	0.00	24.09	0.33
24/1	51.45	100.00	0.57	29.15	0.00	0.00	29.15	0.40
3/2	53.61	100.00	0.64	34.39	0.00	0.00	34.39	0.47
13/2	55.43	100.00	0.72	39.72	0.00	0.00	39.72	0.54
23/2	56.91	100.00	0.75	42.68	0.00	0.00	42.68	0.58
5/3	58.01	100.00	0.75	43.51	0.00	0.00	43.51	0.59
15/3	58.75	100.00	0.75	44.06	0.00	0.00	44.06	0.60
25/3	59.13	100.00	0.75	44.35	0.09	0.09	44.25	0.60
4/4	59.17	100.00	0.76	45.03	5.88	5.84	39.19	0.53
14/4	58.90	100.00	0.78	46.00	18.02	14.95	31.05	0.42
24/4	29.26	100.00	0.80	23.29	14.23	10.60	12.69	0.35

## Calendario de riego

El calendario de riego consiste en determinar las fechas en que se debe regar y cuánta agua se debe aplicar; para ello es necesario conocer las características de los suelos y las demandas de agua del cultivo.

Por razones prácticas, en muchos casos, el calendario de riego se establece a partir de la demanda de agua máxima del cultivo durante su ciclo vegetativo, sin embargo es importante tener presente que la edad del cultivo influye en las cantidades de agua que consume, relacionado con la edad está la profundidad de raíces, a mayor profundidad la cantidad de agua a aplicar será mayor, y a menor profundidad esta será menor.

## Estrategias de riego

Las estrategias de riego son los criterios que se adoptan para decidir de antemano el momento oportuno de efectuar el riego, así como de la cantidad de agua a aplicar, estas estrategias se describen brevemente a continuación:

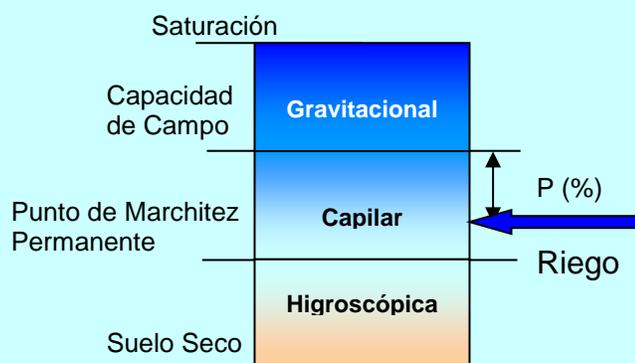
### Estrategias para decidir el momento de riego

- Regar cuando se ha agotado un porcentaje de la lámina de riego (lámina de reposición), calculada mediante la siguiente ecuación:

$$dr = \frac{(CC - ppm)}{100} \times GEA \times Pr \times p$$

Como se vio anteriormente, después que el suelo alcanza el nivel ideal de humedad (capacidad de campo) la humedad empieza a disminuir por el consumo que hace la planta del agua disponible, acercándose con el paso de los días al punto de marchitez permanente. En esta estrategia se deja que el agua disminuya hasta un punto igual al 50 % (para la mayoría de los cultivos) o un 30 % (en el caso de hortalizas o 10% en riego por goteo), del agua que se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. A este porcentaje se conoce con el nombre de porcentaje de agotamiento (p).

**Figura 14. Riego cuando se ha agotado la lámina de reposición**



b) Regar cuando se ha agotado una determinada lámina de agua del suelo (en milímetros). Útil cuando se va a aplicar una lámina de riego constante en cada riego no importando el intervalo entre los riegos (intervalo variable)

Esta estrategia es la más conveniente desde el punto de vista del desarrollo óptimo del cultivo, pues el agua se aplica en las cantidades que puede almacenar el suelo y de acuerdo al consumo de la planta. No obstante presenta el inconveniente que es necesario llevar un control de los niveles de humedad del suelo a fin de establecer con exactitud el momento del riego, por otro lado esta estrategia lleva a manejar intervalos de riego variables, ya que la velocidad de consumo de agua por la planta como se ha dicho, varía de acuerdo a la edad.

c) Regar considerando una frecuencia (intervalo) de riego fija. Esta opción es bastante utilizada para facilitar la operación del riego.

d) Aplicación del agua de acuerdo al turno de riego

En muchos sistemas de riego (principalmente en riego por superficie), a nivel de grandes proyectos, existen restricciones para elegir el momento del riego por los productores, ya que estos reciben el agua por turnos (normalmente establecidos con poco criterio técnico), en los que cada agricultor efectúa su correspondiente riego. En este caso puede ser que el déficit del agua en el suelo supere al 50% del agua capilar por lo que el productor acostumbra, cargar el suelo de agua en cada riego, en previsión de retrasos en el próximo turno de riego.

Estrategias para decidir la cantidad de agua a aplicar

a) Aplicar agua hasta llevar el suelo a capacidad de campo.

b) Aplicar riego utilizando una lámina constante en cada riego.

En esta estrategia los sistemas de riego se deben diseñar con la máxima evapotranspiración del cultivo durante su ciclo vegetativo a fin de que tengan la capacidad de poder proporcionar el agua en las épocas de máximo consumo.

Es una estrategia que ofrece una gran facilidad para la operación, pues como se ha dicho, no existen cambios en el patrón de entrega de agua al cultivo, sin embargo, hay que mencionar que durante las épocas de menor consumo por la planta como son los estadios iniciales o cuando se acerca la cosecha, la cantidad de agua que se aplica es la misma que cuando se encuentra en la fase de floración o fructificación, o sea la época de máxima demanda, lo anterior supone una baja en la eficiencia de aplicación del agua.

c) Aplicar las láminas de acuerdo a cantidades establecidas por el productor.

A continuación, se incluye la formulación de un calendario de riego utilizando los datos del ejemplo de cálculo de las necesidades de riego.

Para efectos de formular el calendario por este método es necesario agregar los datos correspondientes al suelo entre lo cual se incluye el nivel de humedad del suelo al inicio del calendario. Estos datos se presentan en el cuadro 18.

Cuadro 18. Datos del suelo

Calendario de riegos

En los cuadros 19 y 20 se presenta el calendario de riego obtenido.

Estrategias seleccionadas: Frecuencia de riego fija igual a un día ( $f = 1$ ) y aplicando la cantidad de agua necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo en cada riego.

Cuadro 19. Calendario de riego Etapa inicial

Date	Day No.	TAM (mm)	RAM (mm)	Rainfall (mm)	Efct. Rain (mm)	ETc (mm)	ETc/ETm (%)	SMD (mm)	Irr. Interval (Days)	Net Irr. (mm)	Lost Irr. (mm)	User Adjust. (mm)
15/12	1	14.0	4.2	0.0	0.0	1.4	71.4%	8.4	0	8.4	0.0	
16/12	2	15.4	4.6	0.0	0.0	2.0	100.0%	2.0	1	2.0	0.0	
17/12	3	16.8	5.0	0.0	0.0	2.0	100.0%	2.0	1	2.0	0.0	
18/12	4	18.2	5.5	0.0	0.0	2.0	100.0%	2.0	1	2.0	0.0	
19/12	5	19.6	5.9	0.0	0.0	2.0	100.0%	2.0	1	2.0	0.0	
20/12	6	21.0	6.3	0.0	0.0	2.0	100.0%	2.0	1	2.0	0.0	
21/12	7	22.4	6.7	0.0	0.0	2.0	100.0%	2.0	1	2.0	0.0	
22/12	8	23.8	7.1	0.0	0.0	2.0	100.0%	2.0	1	2.0	0.0	
23/12	9	25.2	7.6	0.0	0.0	2.0	100.0%	2.0	1	2.0	0.0	
24/12	10	26.6	8.0	0.0	0.0	2.0	100.0%	2.0	1	2.0	0.0	
25/12	11	28.0	8.4	0.0	0.0	2.0	100.0%	2.0	1	2.0	0.0	
26/12	12	29.4	8.8	0.0	0.0	2.0	100.0%	2.0	1	2.0	0.0	
27/12	13	30.8	9.2	0.0	0.0	2.0	100.0%	2.0	1	2.0	0.0	

Double Click Any Cell in the 'User Adjust.' Column to Adjust the Soil Moisture Balance

Cuadro 20. Calendario de riego etapa final

Date	Day No.	TAM (mm)	RAM (mm)	Rainfall (mm)	Efct. Rain (mm)	ETc (mm)	ETc/ETm (%)	SMD (mm)	Irr. Interval (Days)	Net Irr. (mm)	Lost Irr. (mm)	User Adjust. (mm)
17/4	124	112.0	33.6	9.3	0.0	4.6	100.0%	4.6	1	4.6	0.0	
18/4	125	112.0	33.6	0.0	0.0	4.6	100.0%	4.6	1	4.6	0.0	
19/4	126	112.0	33.6	0.0	0.0	4.6	100.0%	4.6	1	4.6	0.0	
20/4	127	112.0	33.6	0.0	0.0	4.6	100.0%	4.6	1	4.6	0.0	
21/4	128	112.0	33.6	0.0	0.0	4.6	100.0%	4.6	1	4.6	0.0	
22/4	129	112.0	33.6	12.8	0.0	4.6	100.0%	4.6	1	4.6	0.0	
23/4	130	112.0	33.6	0.0	0.0	4.6	100.0%	4.6	1	4.6	0.0	
24/4	131	112.0	33.6	0.0	0.0	4.6	100.0%	4.6	1	4.6	0.0	
25/4	132	112.0	33.6	0.0	0.0	4.7	100.0%	4.7	1	4.7	0.0	
26/4	133	112.0	33.6	0.0	0.0	4.7	100.0%	4.7	1	4.7	0.0	
27/4	134	112.0	33.6	16.4	0.0	4.7	100.0%	4.7	1	4.7	0.0	
28/4	135	112.0	33.6	0.0	0.0	4.7	100.0%	4.7	1	4.7	0.0	
<b>Total</b>				<b>49.8</b>	<b>0.0</b>	<b>476.4</b>	<b>99.9%</b>			<b>483.4</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

Double Click Any Cell in the 'User Adjust.' Column to Adjust the Soil Moisture Balance

# V Riego por Goteo

## Descripción

En este método de riego, el agua se aplica directamente al suelo, gota a gota, utilizando unos aparatos llamados goteros, los cuales necesitan presión para su funcionamiento, aunque esta presión es mucho más baja que la que se necesita en riego por aspersión.

La presión se obtiene mediante un equipo de bombeo o por la diferencia de nivel entre la fuente de agua y los emisores; esta diferencia puede ser de 3 a 10 m, de acuerdo al tipo de gotero.

Cuando los goteros aplican el agua, esta se infiltra y va formando en el interior del suelo un humedecimiento en forma de cebolla, al cual se le llama "bulbo húmedo". Este bulbo presenta un diámetro pequeño en la superficie del suelo, pero se ensancha adquiriendo su máximo diámetro a una profundidad de 30 cm aproximadamente.

En la superficie del suelo, la parte humedecida por un gotero se une con la de otro después de algún tiempo de riego y forma una franja húmeda a lo largo de la hilera de plantas (figura 15).

Figura 15. Forma de humedecimiento del riego por goteo en la superficie

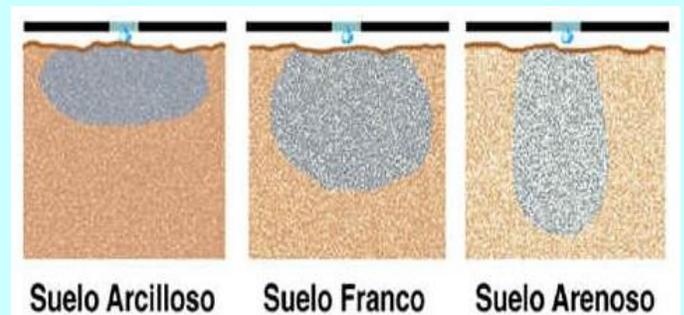


Figura 16. Humedecimiento de los goteros en el interior del suelo



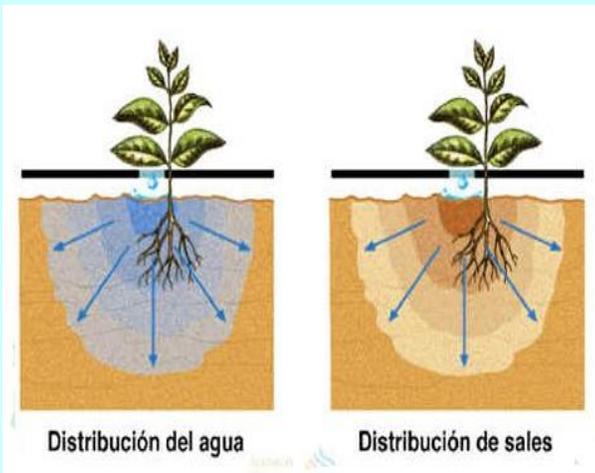
La forma del bulbo está condicionada en gran parte por el tipo de suelo. En los suelos pesados (de textura arcillosa), la velocidad de infiltración es menor que en los suelos ligeros (de textura arenosa), lo que hace que el charco sea mayor y el bulbo se extienda más horizontalmente que en profundidad. Si se aplica la misma cantidad de agua en tres suelos con texturas diferentes, la forma del bulbo variará aproximadamente de la forma como se presenta en la figura 17.

Figura 17. Humedad del bulbo según el tipo de suelo



El humedecimiento varía dentro del bulbo desde el punto más elevado de humedad que se presenta en el sitio de aplicación de la gota de agua y disminuye hacia el perímetro del bulbo. Por su parte, la salinidad tiende a concentrarse en las zonas de mayor tensión de humedad (cerca del perímetro del bulbo). El agua en su movimiento de las zonas de menor tensión de humedad a las zonas de mayor tensión, arrastran las sales hasta ubicarlas fuera de las zonas de raíces.

**Figura 18. Distribución del agua y de las sales en el bulbo húmedo**



## Ventajas y desventajas del riego por goteo

### Ventajas

- Se puede utilizar en todos los cultivos en hilera, es apropiado para hortalizas y frutales.
- Tiene una alta eficiencia en el uso del agua, se puede regar el triple del área regada con sistemas por gravedad y el doble del área regada por aspersión.
- Se puede utilizar en terrenos con pendientes altas, y en suelos muy delgados.
- En tierras donde se cuenta con una fuente de agua en la parte superior al área de riego, se puede utilizar para el riego por goteo, aprovechando la energía potencial disponible (diferencia de nivel entre la fuente y las áreas de riego). En riego por goteo, las cargas para su funcionamiento son menores que en riego por aspersión.
- Es un método de fácil manejo, para su operación no necesita mano de obra experimentada.
- No es afectado por el viento.
- Se puede utilizar en zonas donde existen bajos caudales en las fuentes.
- Dado que no se moja toda la superficie del terreno, sino únicamente en una franja, el desarrollo de malezas es muy bajo comparado con los otros métodos.
- No existe erosión de los suelos.

### Desventajas

- La principal desventaja de este método es la facilidad con que los orificios de los goteros se obstruyen, principalmente cuando se utiliza agua de mala calidad y no se hace un filtrado adecuado de la misma.
- Necesita una buena supervisión del riego, pues cuando los goteros se obstruyen no se puede apreciar desde lejos y al taparse un gotero se produce un crecimiento desuniforme del cultivo.

## Componentes de un sistema de riego por goteo

Una instalación de riego por goteo debe contar como mínimo con los siguientes componentes.

- Fuente de energía
- Cabezal de control
- Red de tuberías
- Goteros o emisores
- Dispositivos de control

### Fuente de energía

Para su funcionamiento, los sistemas de riego por goteo necesitan de una fuente de energía para provocar la circulación del agua, superar las pérdidas de energía en el filtrado, tuberías y accesorios, y ofrecer a los emisores la presión necesaria para su funcionamiento.

La energía necesaria puede obtenerse mediante equipos de bombeo o mediante la energía potencial que se genera a partir de la diferencia de nivel entre el sitio de derivación del agua y la parcela de riego. Los equipos de bombeo pueden ser accionados por motores de combustión interna o motores eléctricos.

La inmensa mayoría de las bombas utilizadas en riego son del tipo llamado rotodinámico (turbobombas). En ellas se produce un aumento de velocidad del agua provocado por el movimiento giratorio de un elemento, llamado impulsor o rodete, formado por palas o alabes. El giro del impulsor transfiere al agua una energía de presión en el interior del cuerpo de la bomba.

Un motor, directamente acoplado a la bomba o mediante algún tipo de transmisión, se encarga de proporcionar la energía necesaria para el giro. Los motores eléctricos ofrecen en la mayoría de los casos, grandes ventajas con respecto a los

motores de combustión, lo que hace que sean los más ampliamente utilizados cuando es factible el acceso a la red eléctrica.

Las bombas rotodinámicas utilizadas en riego se clasifican habitualmente atendiendo a los siguientes criterios.

Por tipo de flujo:

- Axial
- Radial
- Mixto

Por el tipo de impulsores:

- Unicelulares
- Multicelulares

Por la disposición del eje de rotación:

- Verticales
- Horizontales

De todos estos criterios de clasificación, quizás el más operativo desde el punto de vista de la elección de un equipo de bombeo a instalar es el de la disposición del eje de rotación. En todo caso, dicho criterio es relativo, pues en determinados casos, una bomba de diseño horizontal puede disponerse verticalmente, o una bomba sumergida bien puede instalarse en posición horizontal.

### **Bombas horizontales**

Su característica más destacada es la de estar ubicados (bomba y el motor) en la superficie. La conexión más común entre ambos es la de manguera flexible o unión directa para motores eléctricos, la de poleas y correas o eje cardán, en motores diésel o movidas por tractor.

Los modelos de bombas horizontales más usados en riego, son del tipo unicelular (un solo impulsor), de aspiración axial (esta se produce por el centro del impulsor) e impulsión lateral. Su capacidad de elevación en altura manométrica, difícilmente supera los 60-70 metros. Pueden ir solidariamente acopladas a un motor generalmente eléctrico (bombas monoblock) o ser suministradas con eje libre, para su acople al motor deseado, para lo cual habrá de disponerse una bancada que actúa como soporte común a motor y bomba y un acoplamiento entre ambos ejes. En estos casos, la alineación correcta de los dos elementos es fundamental para prevenir posibles averías, entre otras, de los cojinetes de ambas máquinas.

Cuando se pretende conseguir una mayor altura manométrica, se suele recurrir a utilizar bombas con varios impulsores montados en serie (bombas multietapas). Con esta disposición se consigue multiplicar por el número de impulsores existentes, la altura manométrica proporcionada por uno de ellos para un mismo caudal.

Un paso adelante en el diseño de las bombas de tipo horizontal está representado por las bombas de cámara partida. Estas se caracterizan por permitir el acceso directo a los órganos móviles de la bomba sin necesidad de desmontar la instalación, facilitando de este modo las labores de inspección y mantenimiento. Suelen presentar doble aspiración axial en sentidos contrapuestos, consiguiendo un gran equilibrio hidráulico. Los apoyos del eje de la bomba se realizan en sus dos extremos minimizando los esfuerzos de flexión.

En cuanto al diseño de las instalaciones de las bombas de eje horizontal un aspecto importante a considerar es el que se refiere a las condiciones de aspiración. Lo idóneo sería que la superficie libre del agua a bombear se encontrara siempre por encima de la cota del eje de la bomba. Las tuberías de aspiración se diseñarán lo más cortas posibles y con diámetros suficientemente holgados. Estas recomendaciones se orientan a evitar o minimizar los problemas de cavitación. Para esto es necesario realizar un estudio meticuloso de las condiciones en las que va a aspirar la bomba.

Hay que estudiar por un lado el NPSH (Net Positive Suction Head) disponible (NPSH<sub>d</sub>) en la instalación que deberá ser, aún en el caso más desfavorable, superior al NPSH requerido por la bomba (NPSH<sub>r</sub>), este valor es dado por el fabricante de la bomba en forma de curva característica.

El NPSH es un parámetro que indica la capacidad de las bombas de aspirar en vacío, es decir que la altura máxima teórica de aspiración será de 10.33 m (presión atmosférica a nivel del mar). Físicamente indica la presión absoluta que debe existir a la entrada de la bomba para que no existan problemas de cavitación, que consiste en la formación de pequeñas burbujas de vapor que implosionan generando serios daños en la bomba y produciendo un ruido similar al del golpeteo metálico de un martillo.

Así:

$$NPSH_d = h_o - (H_a + h_a + h_v)$$

Donde:

NPSH<sub>d</sub>: NPSH disponible.

h<sub>o</sub>: Presión atmosférica.

H<sub>a</sub>: Altura geométrica de aspiración.

h<sub>a</sub>: Pérdidas en la tubería de aspiración y los álabes.

h<sub>v</sub>: Presión de vapor.

De otro lado, el NPSH<sub>r</sub> (NPSH requerido) depende solo de la bomba y del caudal. De ello, y como NPSH<sub>d</sub> > NPSH<sub>r</sub>, se puede extraer que la altura máxima de aspiración vendrá dada por la fórmula.

$$H_a < h_o - (NPSH_r + h_a + h_v)$$

Valores negativos de H<sub>a</sub> indican que la bomba trabaja sumergida.

**Figura 19. Bomba horizontal con motor eléctrico**



**Figura 20. Bomba horizontal con motor de combustión interna**



## **Bombas verticales**

Son equipos diseñados para uso en pozos profundos en donde el nivel dinámico del agua se encuentra a más de 5 m. Su característica principal es la de estar sumergida la bomba (a la profundidad que requiera el nivel dinámico) y el motor instalado en la superficie. La transmisión se realiza mediante un eje, a veces de decenas de metros, que se instala en el interior de la tubería de impulsión, sujetado mediante cojinetes.

Cuando la profundidad empieza a ser importante (no es aconsejable su instalación a más de 80-90 m de profundidad) este tipo de bombas deja de ser interesante por diversos motivos, entre otros, que al no ser perfecta al 100% la verticalidad del eje se producen desgastes y averías, al elevado costo de la instalación, las grandes pérdidas de rendimiento y lo costoso del mantenimiento. Estas bombas pueden ser también movidas por motores diésel o por tractor.

**Figura 21. Bombas verticales**



## **Bombas sumergibles**

La principal característica de estos equipos es que motor y bomba están sumergidos en el agua a la profundidad requerida. Estos equipos son los idóneos para instalarlos en sondeos. Su diseño responde generalmente a la función de extraer agua de pozos estrechos y profundos, aunque no sea esta su única utilización. Tienen por ello un

aspecto cilíndrico alargado, y se clasifican, normalmente, por su diámetro, o, mejor aún, por el diámetro mínimo del pozo (en pulgadas) en el que sería posible su instalación.

La profundidad de instalación puede ser tan grande como requiera el nivel de agua (profundidades normales pueden ser de 150 a 200 m). El conjunto motobomba se instala suspendido de la tubería de impulsión.

En la construcción más habitual, el motor se sitúa debajo del cuerpo de la bomba. Entre ambos existe un paso de agua que constituye la zona de aspiración de la bomba, que suele ir protegida con una rejilla que evita el paso de los cuerpos sólidos de gran tamaño. La bomba es en general multifásica. Los impulsores suelen ser de tipo netamente centrífugos (radiales) o de flujo mixto (semiaxiales)

Su instalación es muy simple, ya que se suspenden desde el brocal del pozo por una columna de impulsión, normalmente fabricada en tubos de hierro de 3 o 6 m de longitud y con uniones embridadas. Es necesario instalar cables de alimentación desde el brocal hasta el motor. Todo el conjunto sumergido gravitará sobre una bancada de sustentación que normalmente será construida en perfiles de hierro.

Un aspecto importante en cuanto a la instalación de las bombas sumergibles lo constituye la refrigeración de los motores. Esta se produce, generalmente, mediante la corriente de agua de bombeo, que transita por la superficie del motor.

Dos factores desempeñan un papel importante en este sentido. Por un lado la temperatura del agua a bombear y por otro, la velocidad de la misma sobre la superficie del motor; estos dos parámetros se encuentran relacionados en el sentido de que cuanto mayor sea la temperatura, mayor tendrá que ser la velocidad necesaria para la refrigeración eficiente del motor.

En cualquier caso hay que cerciorarse de que tanto la velocidad como la temperatura se encuentran dentro de los rangos recomendados por el fabricante.

Son de uso común diversos dispositivos que mejoran y previenen los defectos en cuanto a la

refrigeración de los motores sumergibles (sondas de temperaturas, camisas de refrigeración, etc.). Otro aspecto a tener en cuenta es la sumergencia mínima que se ha de proporcionar a la bomba de manera que no se produzcan remolinos que pueden provocar la entrada de aire en la tubería de aspiración.

**Figura 22. Bombas sumergibles**



### ***Funcionamiento de las bombas***

El agua es aspirada por una tubería que sale desde el centro de la carcasa u ojo y es impulsada al exterior por la tubería de salida. En otras palabras, el agua sube impulsada por el gradiente de presión que se produce entre la atmósfera y el interior de la carcasa.

El agua es aspirada por el desplazamiento de masa, el que produce un vacío que se trasmite por la tubería, hasta el chupador. Así, se utiliza la aspiración diferencial de presión que impulsa el agua al interior de la carcasa. Las alabes están diseñados para impulsar el agua hacia la zona externa del rodete. Por ello se conocen como centrífuga. La tubería de aspiración debe estar perfectamente sellada al aire para evitar que se rompa la columna aspirante y, por ende, se mantenga el diferencial de presión. Esta es una de las fallas más comunes en la instalación de plantas de bombeo.

Las bombas centrífugas pueden ser de una o varias etapas. Cuando son de multietapas el agua que impulsa la primera etapa es vaciada a la segunda, en donde recibe un nuevo impulso y llega a la tercera donde es tomada por un nuevo rodete que la vuelve a impulsar y así sucesivamente. Los impulsores están conectados en series.

### **Parámetros de funcionamiento**

Se consideran parámetros que miden el funcionamiento de una bomba, el caudal, presión, potencia que consumen, altura neta de succión positiva y velocidad específica.

#### **Caudal**

El caudal se mide como el volumen que descarga la bomba por unidad de tiempo. Se puede determinar por el método volumétrico, vaciando el flujo que sale de la tubería en un barril o depósito de capacidad conocida y se registra el tiempo en que el agua alcanza el volumen total del envase o alguna altura de referencia. En este último caso se calcula el volumen descargado.

#### **Presión, carga hidráulica, carga dinámica total**

Es una expresión del trabajo que realiza el equipo por unidad de peso elevada. Así, la presión de una bomba o la energía mecánica transmitida al líquido debe ser tal, que permita al agua vencer los siguientes factores:

- La carga estática (diferencia de nivel entre la toma y entrega del agua).
- Las pérdidas de carga por fricción del fluido con la tubería ( $H_F$ ).
- Pérdidas en el cabezal
- Pérdidas secundarias o en accesorios ( $H_S$ ).
- Presión de trabajo de emisores
- La altura representativa de velocidad

Se denomina altura estática o carga estática total (figura 23) a la diferencia de altura entre el punto de toma de agua y donde se entrega o punto más alto del sistema de riego. Se divide en carga estática de succión y carga estática de impulsión.

Las pérdidas por fricción totales están constituidas por las pérdidas por fricción que suceden en la tubería de succión, en la tubería de impulsión red de tuberías del sistema de riego (pérdidas primarias) y las pérdidas por fricción en los accesorios o pérdidas secundarias.

Las pérdidas secundarias son las que se presentan en los accesorios (tees, reducciones, codos, uniones, etc) y en la valvulería (a excepción de válvulas automáticas). Su valor se estima en un 10% al 25% del valor correspondiente a las pérdidas por fricción en la red de tuberías (pérdidas primarias).

La presión de operación de los emisores es aquella que se requiere para su perfecto funcionamiento, con el criterio de que el gotero que funcionará en las condiciones más desfavorables funcione a la presión de trabajo requerida.

En sistemas de riego localizado es necesario considerar además las pérdidas en el cabezal de control. Los valores de pérdidas en los equipos del cabezal de control se encuentran en las tablas proporcionadas por los fabricantes.

Para efectos de estimar estas pérdidas, se pueden tomar los siguientes valores indicativos:

Hidrociclón	2 - 6 m.
Filtro de arena	2 - 4 m.
Filtro de malla o anillos	1 - 3 m.
Inyector hidráulico	3 - 5 m.
Inyector venturi	5 - 20 m.

Y se puede estimar de forma general la cantidad de 10 m como pérdidas de carga total en el cabezal de goteo.

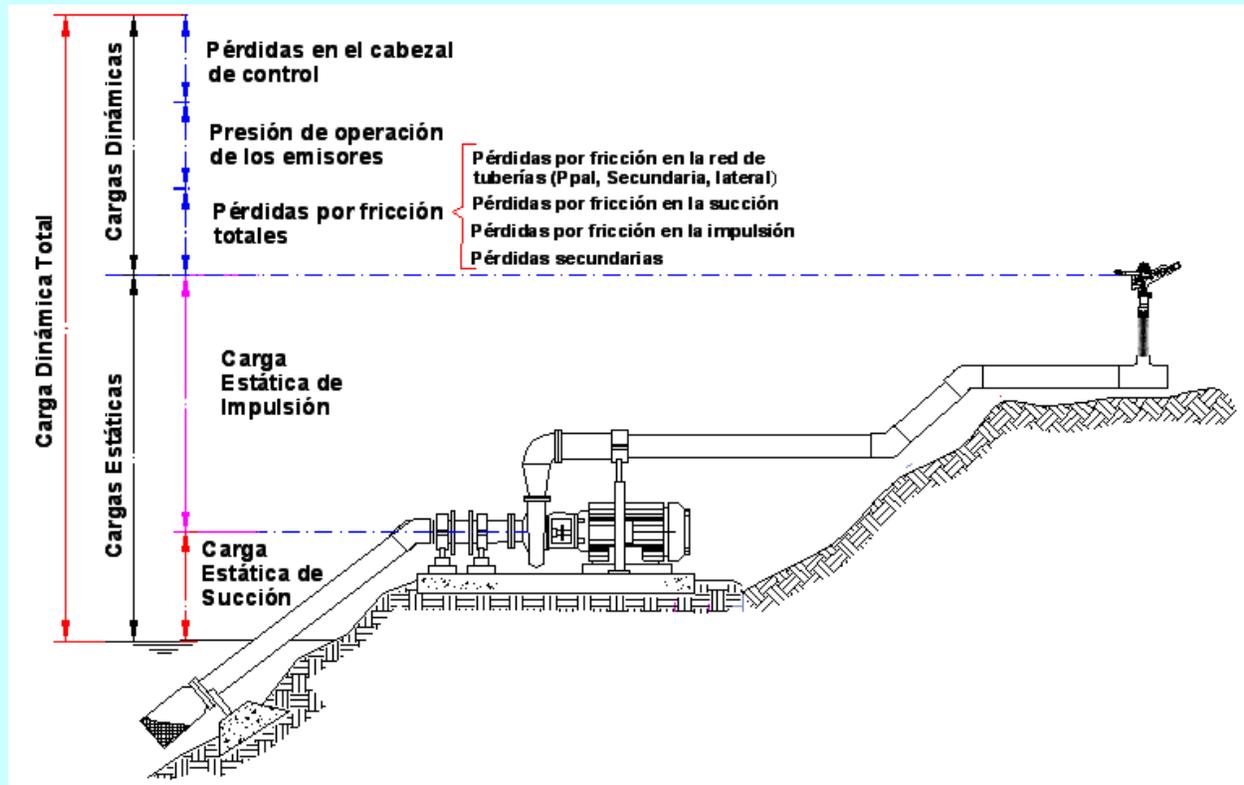
El total de la energía necesaria para el funcionamiento adecuado del sistema se conoce como Carga Dinámica Total (CDT). El caudal y la CDT determinan la potencia de la bomba. Los diferentes componentes de la CDT se ilustran en la figura 23.

### **Potencia de la bomba**

La energía que entrega la bomba al fluido se conoce como potencia. De acuerdo con lo anterior, la potencia en el eje de la bomba, tomando en consideración su eficiencia, es aquella que corresponde para elevar una determinada masa de agua por unidad de tiempo, comunicándole una cierta presión al fluido para vencer la carga dinámica total.

La potencia de la bomba se puede determinar aplicando la siguiente ecuación.

Figura 23. Ilustración de la carga dinámica total (CDT)



$$HP = \frac{Q \times CDT}{75 \times \eta_b}$$

Donde:

HP = Potencia de la bomba (HP)

Q = Caudal a elevar (L/seg)

CDT= Carga Dinámica Total (m)

$\eta_b$  = Eficiencia de la bomba,  $0 < \eta_b < 1$

o bien

$$Kw = \frac{Q \times CDT}{102 \times \eta_b}$$

Donde:

KW = Potencia de la bomba (KW).

Observación: 1 HP = 745 Watts.

### Potencia del motor

La potencia comunicada a la bomba es proporcionada por una máquina motriz, la cual, en su eje, deberá entregar una potencia efectiva igual o mayor a la requerida por roce y otras; la potencia del motor se determina por la siguiente expresión:

$$\text{Potencia del motor (Pm)} = \frac{\text{Potencia de la bomba}}{\eta_m}$$

Donde:

$\eta_m$  = Eficiencia del motor

El valor de la potencia del motor eléctrico indica la potencia absorbida en la red y es un 20% mayor que las necesidades de la bomba. Esto es debido a que las eficiencias de los motores eléctricos oscilan alrededor del 84% ( $\eta_m = 0,84$ ); en cambio, los de combustión interna tienen una eficiencia variable, según su antigüedad y forma de utilización, siendo menor a la de los motores eléctricos ( $\eta_m = 0.40$  a  $0.60$ ).

## Consumos y costo

El consumo de un motor eléctrico se expresará en Kw y el costo del consumo se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$C = P_m \times t \times P_e$$

Donde:

C = Costo de energía en el funcionamiento (\$)

$P_m$  = Potencia del motor (kw)

t = Tiempo de funcionamiento (horas)

$P_e$  = Costo de la energía eléctrica (\$/kw - hora)

Si es un motor de combustión interna la fórmula a aplicar es:

$$C = P_m \times t \times C_e \times P$$

Donde:

C = Costo del combustible (\$)

$P_m$  = Potencia del motor (HP)

t = Tiempo de funcionamiento (horas)

$C_e$  = Consumo específico del combustible (litros/HP- hora) (varia de 0.16 – 0.21 Kg/HP – hora)

P = Costo del combustible (\$/litro)

## Curvas características

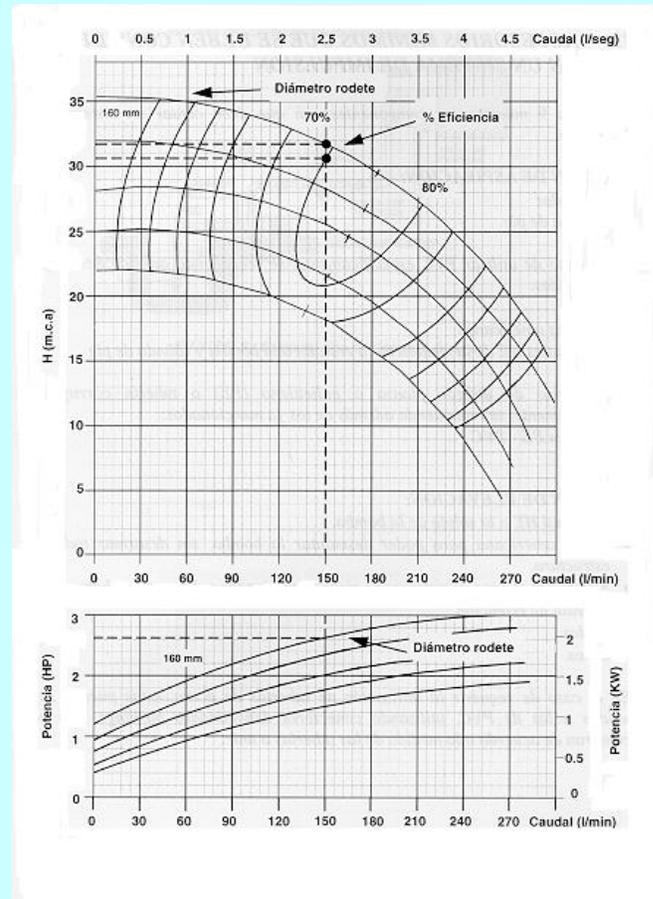
El comportamiento hidráulico de un determinado modelo de bomba viene especificado en sus curvas características que representan una relación entre los distintos valores de caudal ofrecido por la misma con otros parámetros como la altura manométrica, el rendimiento hidráulico, la potencia absorbida y el NPSH requerido. Estas curvas, obtenidas experimentalmente en un banco de pruebas, son facilitadas por el fabricante a una velocidad de rotación determinada. Se trata de curvas extraídas a partir de series estadísticas y que, por tanto, están sujetas a unas determinadas tolerancias.

El punto de diseño de una bomba lo constituye aquel en el que el rendimiento es máximo. A la hora de seleccionar debe centrarse en aquellas cuyo punto de diseño está próximo a las condiciones de trabajo que se requieren. Un equipo que trabaja en un punto muy alejado de su punto de diseño, no realiza una transformación eficiente de la energía mecánica en energía hidráulica, lo cual implica un costo excesivo de la energía de

explotación, amén de estar sujeto a un mayor número de averías.

El punto de funcionamiento de una bomba va a estar determinado por la intersección de la curva característica de la conducción o de la red con la curva de carga (curva caudal-altura manométrica) de la bomba.

**Figura 24. Curva característica típica de una bomba**



## Cabezal de control

Se llama cabezal de control al conjunto de elementos destinados a filtrar, tratar, medir, inyectar el fertilizante y en general a suministrar el agua a la red de riego. Se incluye, en caso de ser necesario, un equipo de bombeo que dota al agua de la presión necesaria para alcanzar el punto más alejado de la red. Puede formar parte del cabezal o estar alojado en un lugar independiente. Cuando el agua llega al sistema desde una toma de agua localizada en un sitio lo suficientemente alto para proporcionar la presión requerida, no es necesaria la estación de bombeo.

El sistema de filtrado es uno de los componentes principales del cabezal, se compone por distintos tipos de filtros con los que se busca eliminar las partículas y elementos que lleva el agua en suspensión y que pueden ocasionar obturaciones, principalmente en los emisores.

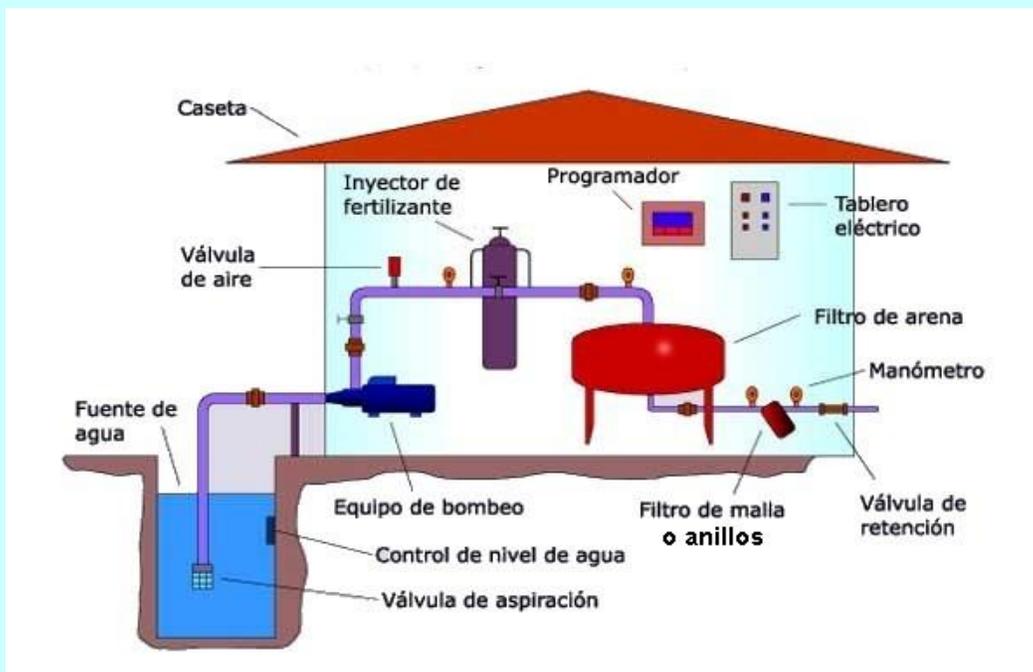
Otro elemento de vital importancia es que el equipo de fertirrigación sirve para incorporar fertilizantes, microelementos, fitosanitarios, etc al agua de riego.

En forma complementaria, el cabezal de control puede contar con un equipo para la aplicación de químicos para la limpieza y eliminar las obturaciones de los emisores; para la limpieza de los sistemas se puede utilizar cloro o ácido.

filtros con los que se persigue eliminar las partículas y elementos que lleva el agua en suspensión que puedan ocasionar obturaciones en cualquier parte de la red de riego, principalmente en los emisores. Para evitar las obturaciones se coloca una serie de filtros en el cabezal. Si el agua de riego contiene gran cantidad de sólidos en suspensión, es conveniente realizar un prefiltrado. Si se dispone de presión en el sistema, se acostumbra utilizar uno o varios hidrociclones, si el agua llega al cabezal sin presión, el mejor sistema para eliminar los sólidos en suspensión son las balsas o los depósitos de decantación.

Una vez que las partículas más gruesas se han eliminado, el agua pasa por el equipo de filtrado, quedando lista para su distribución en la red.

**Figura 25. Cabezal de control de riego por goteo**



En el cabezal de control se localizan también los elementos de medición de caudales y presión de entrada al sistema así como el registro de las caídas de presión en cada uno de los componentes, los controles de caudal para el sistema, también se localizan en el cabezal de control.

### **Sistema de filtrado**

El sistema de filtrado es el componente principal del cabezal, está compuesto por distintos tipos de

Fundamentalmente los tipos de filtros utilizados en riego por goteo y que se disponen en el orden que se enumeran son: hidrociclón, de arena, de malla y de anillos o discos.

### **Filtro hidrociclón**

Son aparatos que pueden hacer las funciones de prefiltrado, normalmente se instalan dentro del cabezal, cuando el agua fundamentalmente se encuentra contaminada por arenas. Son dispositivos en los que gracias a un flujo vertical se

consigue separar hasta el 98% de las partículas mayores de 100 micras. Por su diseño y principio de funcionamiento, sólo sirven para separar partículas más densas que el agua.

**Principio de funcionamiento del hidrociclón**

El hidrociclón consta de las siguientes partes:

- a) Una entrada, es un conducto tangencial que introduce el agua con los sólidos hacia el interior de la cámara.
- b) Una sección cilíndrica, donde se crea un movimiento rotacional del agua.
- c) Una sección cónica con un ángulo donde tiene lugar la separación de los sólidos, por acción de la fuerza centrífuga.
- d) Una salida para la descarga de sólidos, cuando el hidrociclón es vertical, esta salida se sitúa en la parte inferior del aparato.
- e) Un colector, este es un tubo que se introduce ligeramente en el interior de la sección cilíndrica que conduce el agua limpia, libre de sólidos hacia la red de riego.

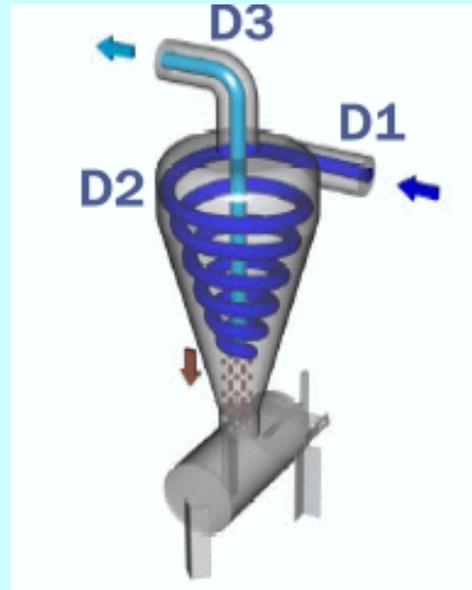
**Figura 26. Filtro hidrociclón**



El agua contaminada entra en el hidrociclón, que debe estar situado en posición vertical, por la conducción D1, con un flujo tangencial a la sección cilíndrica, D2. El flujo rotacional origina una fuerza centrífuga. Los sólidos, al ser más pesados que el agua, son desplazados hacia el exterior de la

corriente y debido al componente gravitacional, descienden hacia el colector de impurezas situado en la parte más baja de la unidad. El agua asciende por la parte central y sale por la parte superior (D3) (figura 27).

**Figura 27. Principio de funcionamiento del hidrociclón**



**Condiciones de empleo**

En el agua proveniente de pozos, lo normal es que no se encuentre la presencia de algas en suspensión (debido a que no recibe directamente la luz solar); sin embargo, es bastante común que esta agua pueda contener partículas de arena o limo por lo que se vuelve necesario colocar uno o más filtros hidrociclones entre la descarga del equipo de bombeo y el siguiente filtro (arena o de anillos).

**Pérdidas de carga**

Las pérdidas de carga en estos filtros se estiman entre 3 a 5 m. Los valores de pérdida de carga en estos filtros, se mantienen constantes en el tiempo, sin depender de las cantidades de suciedad que se haya acumulado en el depósito colector.

Para asegurarse sobre las pérdidas de energía que se producen en los filtros hidrociclón debe consultarse las tablas de pérdidas que normalmente son ofrecidas por el fabricante, las cuales relacionan el diámetro del filtro con el caudal de circulación y las pérdidas de energía del agua. Una tabla típica de pérdidas de carga se presenta en la figura 28.

**Figura 28. Pérdidas de carga en filtros hidrociclón**



Es el único filtro que no debe sobredimensionarse para que el agua alcance la velocidad adecuada y la limpieza se realice eficazmente.

A continuación del hidrociclón se instala el equipo de fertirrigación (si no es necesario un filtro de arena) y posteriormente los filtros de anillos o de mallas. Este orden debe ser invariable para que los filtros de mallas o anillos retengan los precipitados o impurezas del abono.

### **Filtro de arena**

Se usan fundamentalmente para retener las partículas orgánicas en suspensión. Son depósitos llenos de arena o grava por la que circula el agua, dejando a su paso las partículas. Tienen una gran capacidad de acumulación de suciedad.

### **Principio de funcionamiento**

Los filtros de arena o grava consisten en tanques generalmente metálicos o de plástico reforzado, capaces de resistir las presiones estáticas y dinámicas, a que son sometidos llenos de arena o grava tamizada de un determinado tamaño.

El filtrado se realiza a presión al atravesar el agua la arena del filtro en forma descendente; el proceso consta de tres acciones distintas: a) tamizado en la capa superior de arena, b) filtrado en profundidad por adherencia y c) sedimentación de partículas.

El agua sucia entra por la parte superior del filtro, desciende a través del lecho filtrante de arena o grava. El filtrado se realiza al ir quedando absorbidas las partículas sólidas a lo largo del lecho filtrante. Cuando el agua llega a la parte

inferior se recoge en un colector de salida. El lecho filtrante de arena queda retenido dentro del filtro por unos brazos filtrantes con pequeñas ranuras de paso de agua.

Las partículas sólidas se quedan retenidas en el lecho de arena. A medida que se incrementa la suciedad retenida, se incrementa también la pérdida de carga del filtro.

**Figura 29. Filtro de arena vertical**



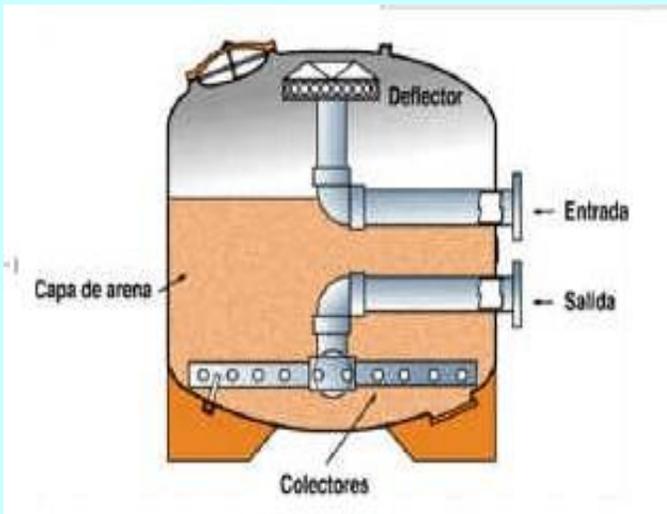
### **Condiciones de empleo**

Cuando el agua procede de embalses o depósitos abiertos, lo más probable es que tenga contacto con la luz solar y por tanto lleve algas, bacterias y otras sustancias orgánicas en suspensión. En este caso, se vuelve imprescindible colocar uno o más depósitos de arena a la entrada del cabezal, que eliminarán además parte de los limos y las arcillas que están en suspensión.

Los filtros de arena cuando están limpios generan una pérdida de carga de 1 a 3.5 m. Tienen gran capacidad de acumulación de suciedad y su lavado debe realizarse cuando la diferencia de presiones entre la salida y la entrada del filtro alcance como máximo 5 a 6 m.

La arena a utilizar debe ser silíceas, uniforme y con un tamaño igual al del paso del agua en el emisor, con objeto de retener partículas de ese tamaño que pudieran provocar obturaciones. Los filtros de arena no pueden instalarse después del equipo de fertirriego para evitar la proliferación de microorganismos en la arena.

**Figura 30. Funcionamiento filtro de arena**



### **Limpeza de los filtros**

Para limpiar estos filtros es preciso invertir el flujo del agua en uno de los filtros de forma que entra por abajo, arrastra toda la suciedad y sale por arriba desaguando por un circuito auxiliar. Es conveniente utilizar dos filtros de arena de menor capacidad, colocados en paralelo, que uno solo de doble capacidad. De esta manera, el agua filtrada por uno de los filtros se utiliza para limpiar el otro.

La operación de lavado, además de limpiar la suciedad de la arena, sirve para removerla y evitar que se compacte o se formen grietas.

En la figura 31 se observan las dos etapas básicas del proceso de retrolavado utilizando dos filtros de arena, identificados en la figura como filtrando y lavando.

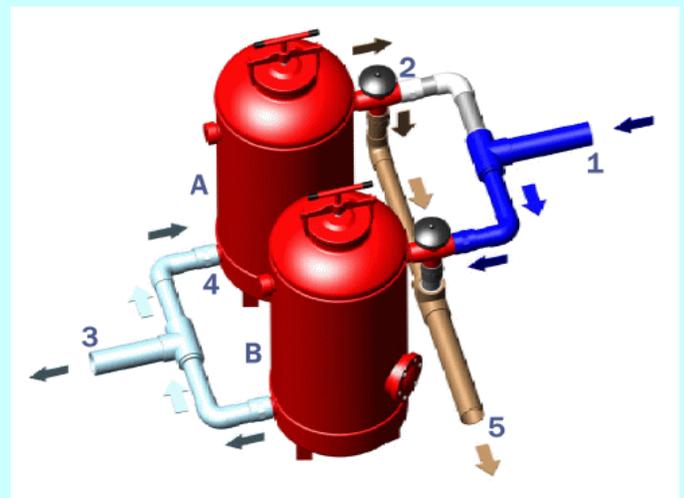
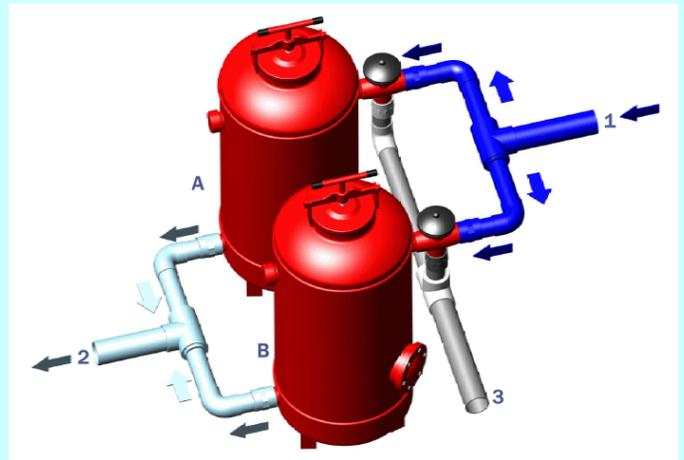
Durante la operación normal del filtro (filtrando), el agua entra por la parte superior (1), las válvulas de 3 vías permiten el paso a los filtros (A) y (B), del agua sin tratar la que atraviesa el lecho filtrante y sale por la parte inferior hacia el sistema (2). La tubería de drenaje (3) no interviene en este proceso.

Para efectuar el retrolavado (lavando), se opera la válvula (2) del filtro (A) cerrando la entrada de agua proveniente del sistema de bombeo (1) a la vez que conecta el filtro con la tubería de drenaje (5), mientras el filtro (B) continúa su operación normal, parte del flujo que sale de este último filtro se

incorpora al sistema y otra parte se desvía para el lavado del otro filtro.

El filtro (A) se despresuriza al quedar abierto a la atmósfera, lo que permite la entrada del agua filtrada proveniente de (B) por la parte inferior (4), la presión del agua expande la arena hacia arriba arrastrando toda la suciedad retenida la que es expulsada por la tubería de drenaje (5). El proceso de lavado se interrumpe cuando el agua sale totalmente limpia.

**Figura 31. Proceso de retrolavado usando dos filtros**

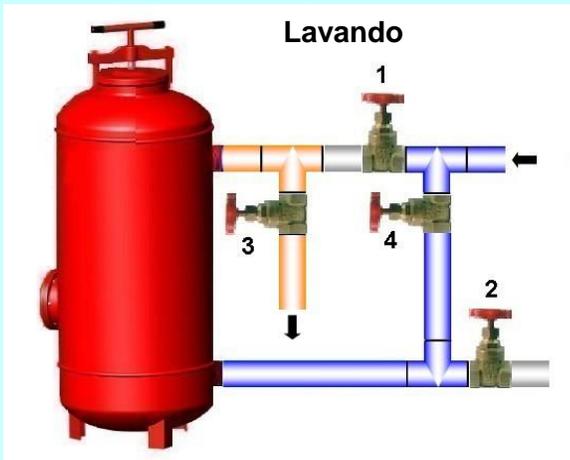
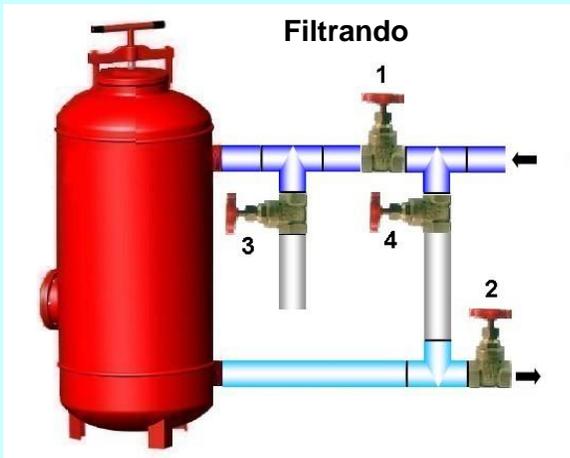


El retrolavado puede efectuarse también con un filtro, este proceso se ilustra en la figura 32.

Durante la filtración normal (filtrando), las válvulas 1 y 2 permanecen abiertas, en tanto que las válvulas 3 y 4 permaneces cerradas.

Para el retrolavado (lavando), cuando se realiza manualmente se abren las válvulas (3) (drenaje) y (4) y se cierran las válvulas 1 y 2. Esta operación puede durar de 45 a 90 segundos, dependiendo del grado de suciedad de la arena. En sistemas automáticos este tiempo es menor.

**Figura 32. Proceso de retrolavado con filtro individual**

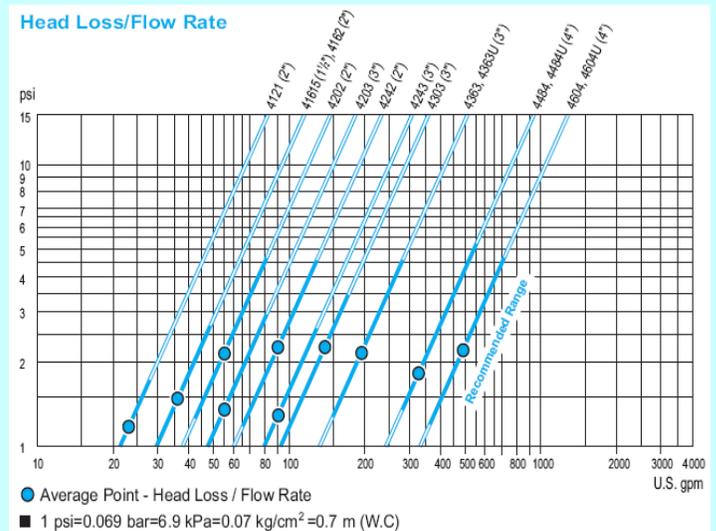


### **Pérdida de carga**

Los filtros de arena cuando están limpios generan una pérdida de carga que varía de 1 a 3.5 m. Para asegurarse sobre las pérdidas de carga que se producen en estos filtros debe consultarse la información ofrecida por el fabricante de los equipos.

En la figura 33 se muestra un gráfico típico para estimar las pérdidas de carga en estos filtros, en función del caudal de circulación y el modelo del filtro.

**Figura 33. Gráfico de pérdida de carga en filtros de arena**



### **Filtro de anillos**

Son de forma cilíndrica y el elemento filtrante es un conjunto de anillos con ranuras impresas sobre un soporte central cilíndrico y perforado.

**Figura 34. Filtros de anillos**



### **Principio de funcionamiento**

El agua es filtrada al pasar por los pequeños conductos formados entre dos anillos consecutivos. La calidad del filtrado dependerá del espesor de las ranuras. Se pueden conseguir, según el número de ranuras, hasta una equivalencia a una malla de 200 mesh. Su efecto es, en cierta medida, de filtrado en profundidad, como en el caso de los filtros de arena

por lo que, cada vez más frecuentemente, están sustituyendo a estos filtros.

La profundidad del filtrado es la correspondiente al radio de los anillos. Estos filtros son muy compactos y resistentes, admitiendo presiones de trabajo de hasta 10 atm. Al igual que los filtros de arena, pueden retener gran cantidad de sólidos antes de quedar obturados.

La superficie de filtrado es en realidad el área de la sección exterior del cartucho de anillos, por lo que la superficie real de filtrado viene expresada por el número de agujeros o pasos de filtración de un tamaño o luz determinado que se forman en la superposición de dos anillos de un mismo tipo de micraje, es decir, la superficie real de filtrado, vendrá expresada por el número de luces que se formen para un micraje determinado en el área de la sección exterior del cartucho de anillas. Este número de luces tiene un fácil y rápido cálculo expresando el micraje de los anillos en micras (0,001 mm) o Mesh (número de poros existente en una pulgada lineal) (1 Pulgada = 2,54 cm.).

Es muy importante determinar el grado de filtración (mesh) de los anillos según las características de las partículas que contiene el agua, ya que si bien se pueden con posterioridad sustituir los discos por otros de menor micraje, las pérdidas de carga aumentan y es posible que se tenga que invertir en un filtro mayor o más filtros del mismo modelo.

Al igual que en los filtros de malla, el tamaño de las partículas que es capaz de retener un filtro de anillos se suele dar por medio del número de Mesh. En este caso el número de Mesh para un filtro de anillos se establece por comparación, asignándole el número de Mesh correspondiente al filtro de malla que retiene partículas del mismo tamaño.

Existen anillos de diferentes números de Mesh, identificados por colores según la figura 35.

**Figura 35. Código de colores, filtros de anillos**

Código de colores						
Código						
Mesh	40	80	120	140	200	800
Micrón	400	200	130	100	56	20

### Condiciones de empleo

Después del sistema de fertirrigación deben instalarse los filtros de anillos para retener las posibles sales que precipiten y que se forman al mezclar los fertilizantes con el agua.

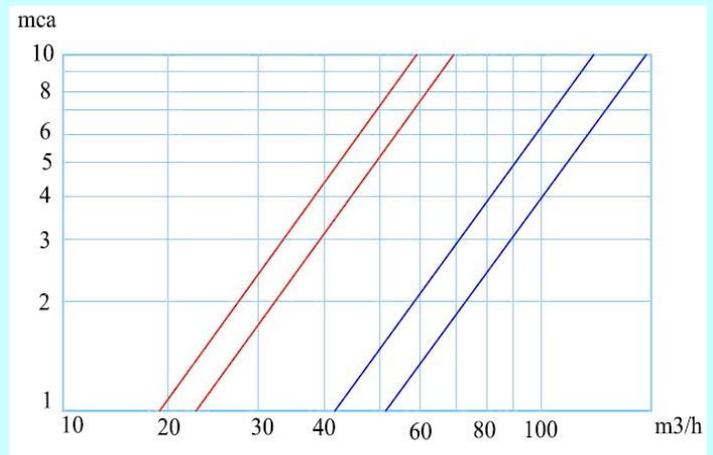
Además, es bastante conveniente colocar al menos un filtro de anillos en determinados puntos de la instalación para eliminar posibles suciedades que se acumulan a medida que el agua circula por las tuberías o piezas especiales.

Por ejemplo es recomendable colocar estos filtros al inicio de las tuberías secundarias o terciarias. No obstante siempre después de un filtro de arena, se dispondrá un filtro de anillos.

### Pérdida de carga

Los filtros de anillos, al igual que el resto de los elementos de filtrado, no deben provocar pérdidas de carga excesivas en la red. Las pérdidas de carga con un filtro limpio, para su caudal de funcionamiento, deben ser del orden de 2 m.c.a. y se debe proceder a su limpieza cuando dicho valor alcance los 5 m.c.a.. Los fabricantes han de suministrar los datos de pérdida de carga que producen los filtros en función del caudal para cada uno de los modelos. Un ejemplo de esta información se muestra en la figura 36.

**Figura 36. Gráfico de pérdidas de carga en filtros de anillo**



### Selección del sistema de filtrado

- Calcular el tamaño del sistema de riego. La capacidad del filtro debe exceder las demandas del sistema.

- b) Determinar la calidad física, química y biológica del agua de riego a utilizar; el tamaño y la cantidad de sólidos suspendidos; la probabilidad de obstrucciones químicas o biológicas, y, con el tiempo, la estabilidad de la calidad del agua.
- c) Contestar las siguientes preguntas:
  - a. ¿Cuan complejo es el filtro?
  - b. ¿Que problemas hay en la limpieza o reemplazo del mismo?
  - c. ¿Esta la mano de obra disponible para limpieza y mantenimiento?
  - d. ¿Puede ser un problema la localización del filtro o la disposición del agua de lavado?
  - e. ¿Es flexible el sistema de filtración?
  - f. ¿Puede ser ampliado o modificado, si fuera deseable?

Los filtros están disponibles en diferentes tamaños dependiendo del caudal del sistema.

### **Sistema de fertirrigación**

Por fertirrigación se entiende el suministro o dosificación de fertilizantes, repartidos durante todo el ciclo de cultivo, lo que permite hacer frente a los problemas que pueda originar un exceso transitorio de fertilizantes en el sustrato. El sistema de fertirrigación es el método más racional de que se dispone para realizar una fertilización optimizada.

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

- a) Dosificación racional de los fertilizantes
- b) Ahorro considerable de agua
- c) Utilización de aguas incluso de mala calidad
- d) Nutrición del cultivo optimizada y por lo tanto aumento de rendimientos y calidad de frutos
- e) Control de la contaminación
- f) Mayor eficacia y rentabilidad de los fertilizantes
- g) Adaptación de los fertilizantes a un cultivo, sustrato, agua de riego y condiciones climáticas determinadas.

#### **Inconvenientes de la fertirrigación**

- a) Costo inicial de las instalaciones y equipo.
- b) Necesidad de una formación básica para el manejo de los equipos y fertilizantes.
- c) Necesidad de un sistema de riego con buena uniformidad para garantizar la adecuada distribución de los fertilizantes en el cultivo.
- d) Riesgo de obstrucción de goteros por precipitados químicos.

#### **Métodos de inyección de fertilizantes**

Una unidad básica de fertirrigación debe contar con un equipo inyector de fertilizantes y un tanque de

mezcla de fertilizantes, de preferencia de plástico (el hierro o acero sufre corrosión muy rápida), para aportar el abono líquido o preparar la mezcla con abonos solubles. También es necesario un agitador, una válvula de control y un filtro. De acuerdo al sistema de fertirriego pueden ser necesarios válvulas, reguladores de presión, bombas mezcladoras. Los métodos de inyección mas comunes son los siguientes:

#### **Tanque de presión**

Es de los sistemas más comunes, y denominado también equipo básico de fertirrigación por las ventajas de sencillez, precio y practicidad de uso. No requiere fuente de energía propia para su funcionamiento, es transportable y no es demasiado sensible a las fluctuaciones de presión y caudales.

La relación de dilución es muy amplia. Posee como desventajas: a) el tanque debe resistir la presión existente en la red de riego, b) la pérdida de presión que provoca en el sistema, c) falta de precisión en las cantidades de aplicación, ya que diferencias de presión en la red provocan diferencias en las proporciones de dilución; d) en cada turno debe vaciarse el tanque y volver a llenarlo. Cuando los turnos de riego son cortos, hay dificultades en la operación.

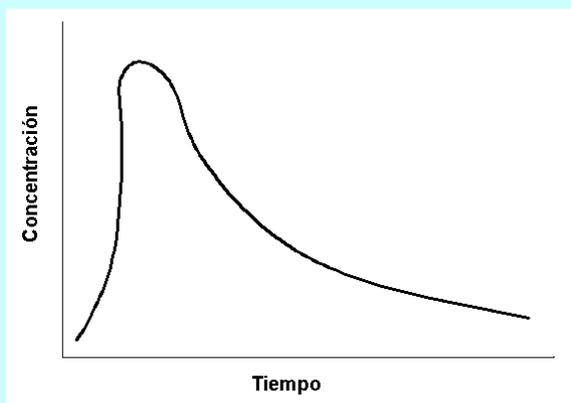
**Figura 37. Tanque de presión**



El equipo básico es un tanque conectado a la red a través de dos mangueras; entre los puntos de unión, sobre la línea, se coloca una válvula, que funciona como reguladora de presión. A través del cierre parcial de esta válvula se produce un

gradiente de presión, de 1 a 2 m que genera turbulencia y circulación de parte de esa agua por una de las mangueras, que debe llegar hasta el fondo del tanque, mezclando la solución. Por el otro tubo sale el agua a la línea principal hacia el sistema, conteniendo una parte del fertilizante disuelto. Con el tiempo de aplicación va disminuyendo la concentración de la solución como se muestra en la figura 38.

**Figura 38. Variación concentración - tiempo en tanques de presión**

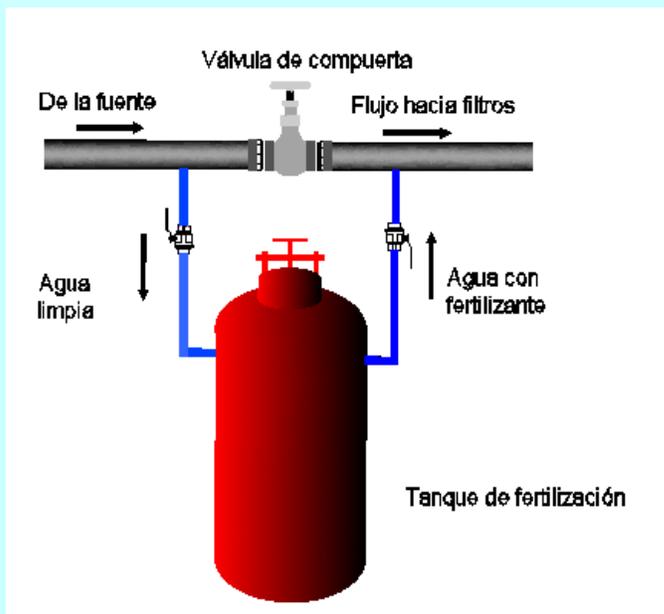


Para este tipo de tanque y usando fertilizantes ya diluidos, un volumen de agua de riego equivalente a 4 veces el volumen del tanque de fertilización es suficiente para arrastrar por dilución prácticamente toda la solución fertilizadora, derivándola a la línea de riego. De esta forma se puede calcular el tiempo de riego en función del caudal de descarga, o bien para un turno de riego determinado, especificar la caída de presión a regular en la línea. En el cuadro 21 se muestra la relación de descarga (Q) del tanque en función de la diferencia de presión de entrada y salida, y el diámetro de la tubería.

**Cuadro 21. Descarga del tanque de presión (Q) según la pérdida de carga y del diámetro de las tuberías de entrada y salida**

Pérdida de Presión	Diámetro de Tubería	
	1/2"	3/8"
m	L/h	
1.0	660	320
2.0	990	500
3.0	1.200	650
4.0	1.350	760
5.0	1.500	850
6.0	1.650	940

**Figura 39. Esquema de funcionamiento del tanque de presión**



**Inyector venturi**

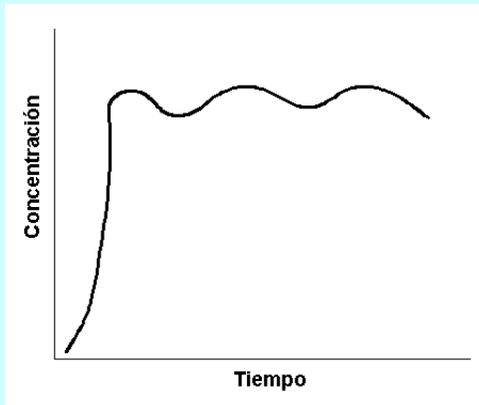
Los inyectores del tipo venturi son también muy populares y sencillos; son operados por la presión de agua del sistema, no necesitándose fuentes externas de energía. Sin embargo, también provocan una pérdida de carga necesaria para que pueda funcionar. La capacidad de succión varía entre 40 y 100 L/h, según la presión de entrada, necesitando un caudal mínimo de agua a través de la bomba entre 0,3 y 1,2 m<sup>3</sup>/h.

Consiste en un estrechamiento en la corriente de agua, de modo tal de causar cambios en la velocidad de la corriente y la presión. Las medidas de estrechamiento y ensanchamiento de la pieza son tales que provocan un cierto vacío en determinada zona, donde se conecta un tubo que absorbe la solución fertilizante de un recipiente abierto. El equipo está instalado en la línea, y a través del mismo pasa todo el caudal; esto implica que el equipo sea construido con materiales resistentes a la corrosión y frotamiento.

El principio de funcionamiento se basa en la transformación de la energía de la presión de agua en la tubería en energía cinética cuando el agua pasa por la sección estrangulada del venturi que nuevamente se transforma en energía de presión cuando vuelve a la tubería principal.

Las ventajas de este equipo son: la construcción es sencilla, sin piezas móviles, no se necesita una fuente de energía especial, es relativamente barato. El uso de un recipiente abierto permite elasticidad y comodidad. Cuando se opera en condiciones definidas de presión/caudal, se obtiene una proporción de dilución constante.

**Figura 40. Variación concentración – tiempo en inyectores venturi**

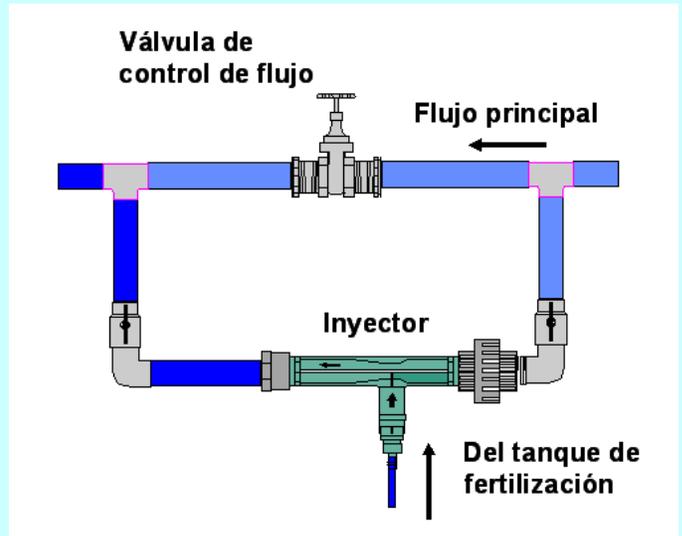


Como limitantes puede presentarse una sensible pérdida de presión provocada por el equipo, comenzando por 20 m. El margen de operación es muy limitado, es decir una pequeña diferencia en la presión o el caudal complica la operación. Implica también un by pass con el objeto de impedir pérdidas de presión en el caso en que no sea usado durante el riego. Si nos de dispone de suficiente presión, su uso es limitado.

**Figura 41. Inyector venturi**



**Figura 42. Esquema de funcionamiento inyector venturi**



**Bombas dosificadoras**

La inyección del fertilizante se hace por medio de una bomba (presión positiva). Son sistemas muy difundidos en todo el mundo. El principio de operación es la inyección de la solución contenida en un tanque abierto en la red de riego a una presión superior (positiva) a la del agua en la tubería utilizando una bomba apropiada. La bomba puede ser accionada por un sistema eléctrico, hidráulico o motor de combustión.

En general, inyectan una cantidad de fertilizante no proporcional al volumen de agua de riego, pero algunos modelos presentan variaciones que los hacen proporcionales lo que facilita la automatización. Generalmente la bomba es a diafragma o a pistón, cuyas partes están protegidas de los fertilizantes (cubiertas o hechas de plástico).

Son equipos más caros, aunque es posible mencionar algunas ventajas, como permitir trabajar con cualquier tipo de tanque abierto y controlar el ritmo de inyección a diversas relaciones de dilución. Los diversos tipos se diferencian de acuerdo con la fuente de energía que impulsa a la bomba.

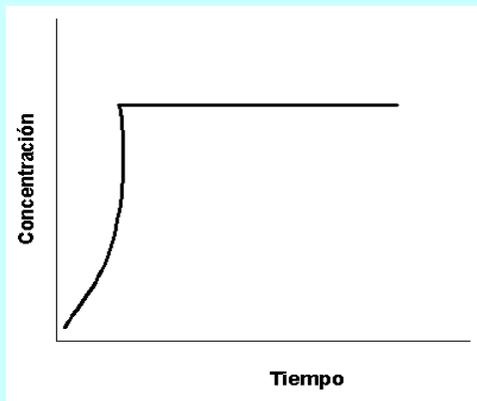
La dosificación del fertilizante puede hacerse regulando la bomba, o con ayuda de un regulador de caudal de tamaño adecuado a las necesidades.

Una de las ventajas que se citan en este sistema es poder controlar el ritmo de inyección, siempre y cuando la concentración sea constante. Es posible usar tanques de cualquier volumen, mientras se reponga su contenido periódicamente y éste sea de material adecuado (fibra de vidrio, polietileno).

**Figura 43. Bombas dosificadoras**



**Figura 44. Variación concentración – tiempo en bombas dosificadoras**

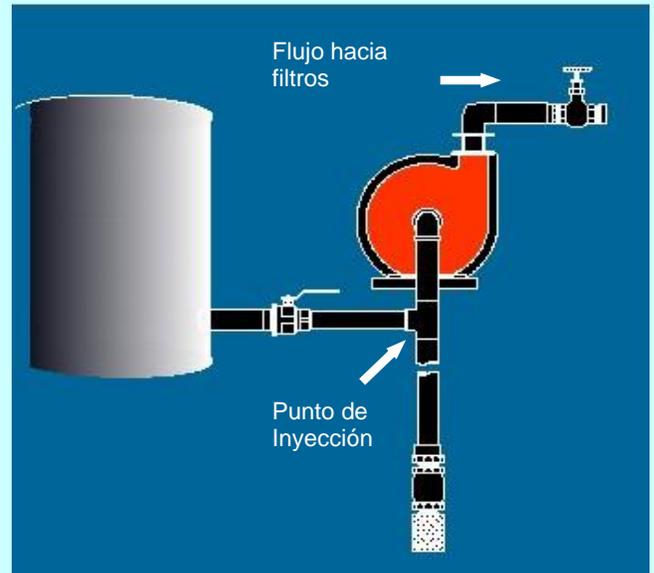


**Inyección de la bomba**

El método consiste en la introducción de la mezcla fertilizante al sistema, aprovechando la succión de la bomba que da presión al sistema, esto implica que el punto de inyección se localiza antes de la bomba (a diferencia de los otros métodos que

realizan la inyección después de la bomba) esto significa que los fertilizantes pasan por el interior de la bomba, lo cual representa riesgo de ocasionar corrosión de los impulsores de la bomba.

**Figura 45. Esquema de funcionamiento del método de inyección de la bomba**



**Red de tuberías**

La red de tuberías o red de distribución está formada por las tuberías que llevan el agua filtrada y tratada desde el cabezal, y los elementos singulares o accesorios o piezas para adaptar la red de tuberías a la forma o configuración de la parcela a regar.

La red de tuberías del sistema depende del tamaño de la superficie de riego; en sistemas pequeños pueden existir tres tipos de tuberías: principal, múltiple o manifold, y laterales o porta goteros.

Del cabezal parte una red de tuberías que se llaman primarias, secundarias, etc., según su orden. Las de penúltimo orden son las tuberías múltiples o manifold donde se conectan las tuberías laterales, las de último orden, llamadas tuberías laterales, distribuyen el agua por medio de emisores u orificios.

Las tuberías que se utilizan en riego localizado son normalmente de plástico, siendo los materiales más frecuentes el PVC (cloruro de polivinilo) y el PE (polietileno). Las tuberías

manifold y las secundarias se instalan en polietileno o PVC, mientras que la tubería principal normalmente es de PVC, dependiendo de su diámetro.

### **Tuberías de PVC**

El Poli Cloruro de Vinilo (PVC) es un material plástico, sólido, que se presenta en su forma original como un polvo de color blanco. Se fabrica mediante la polimerización del cloruro de vinilo monómero (VCM), que a su vez es obtenido de la sal y del petróleo.

Las principales propiedades físicas de las tuberías de PVC son:

- Peso específico 1,4 g/cm<sup>3</sup>
- Coeficiente de dilatación térmica 0.08 mm/m/°C
- Conductividad térmica 0.13 Kcal/ml°C
- Módulo de elasticidad 28,100 kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia superficial > 1012 ohmios
- Tensión admisible 490-600 kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia a compresión 760 kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia a la flexión 1097 kg/cm<sup>2</sup>
- Tensión de diseño 100 kg/cm<sup>2</sup>
- Coeficiente de fricción Manning n = 0,009
- Hazen-Williams c = 150

El PVC es un material rígido y bastante frágil por lo que las tuberías de este material, no deben usarse en condiciones donde puedan someterse a presiones externas o impactos.

Los rayos ultravioletas del sol actúan de manera negativa sobre el PVC. La exposición prolongada a estos rayos torna al PVC de un color con similitud a un tubo quemado, de aspecto desagradable, pero para que este deterioro llegue a afectar el funcionamiento estructural del tubo debe de pasar cierto tiempo. Para evitar el efecto de los rayos ultravioletas se recomienda que los tubos se coloquen enterrados. Existe una forma muy sencilla de proteger los tubos que deben quedar expuestos al sol, pintándolos con cualquier tipo de pintura, de esta forma quedan a salvo de cualquier tipo de influencia de los rayos ultravioletas. Lo mejor, sin embargo es colocarlos enterrados.

Las tuberías de PVC suelen emplearse con diámetros mayores de 2", aunque en sistemas de riego de pequeño tamaño es común usar diámetros de 1 1/4" y 1 1/2".

### **Clasificación de las tuberías de PVC**

La tubería de PVC se puede clasificar según los siguientes criterios: a) Sistema de dimensionamiento, b) la presión de trabajo y c) el tipo de unión que posee.

#### **Sistema de dimensionamiento**

La base de esta clasificación es el tipo de sistema que se usa, ya sea la Serie Inglesa o la Serie Métrica.

#### **Serie Inglesa (SI)**

Se basa en tuberías cuyas especificaciones originales son de EE.UU. normalmente de la American Society for Testing and Materials (ASTM - Asociación Americana para Pruebas y Materiales).

Una característica importante es que el diámetro nominal (DN) no corresponde al diámetro externo (DE) ni al diámetro interno (DI). Mantiene constante el DE para los diferentes espesores de pared (e), por lo que el diseño del tubo se basa en esta característica. Se mide en pulgadas y pueden ser expresadas además en milímetros.

#### **Serie Métrica (SM)**

Las especificaciones originales para este tipo de tubería proceden de la International Standards Organization (ISO - Organización Internacional de Normas-). En este caso el DN corresponde al DE. Al igual que la tubería de la Serie Inglesa mantiene constante el DE a diferentes espesores de pared de acuerdo a la presión nominal. Se mide en milímetros.

Los diámetros de los dos tipos de series no coinciden dimensionalmente por lo que no se pueden hacer uniones directamente, sino mediante el uso de una transición. Es muy común por ejemplo utilizar piezas adaptadoras para la unión de tuberías milimétricas a válvulas del sistema inglés.

Algunos fabricantes refieren la equivalencia entre los dos sistemas a los diámetros nominales, sin embargo desde el punto de vista hidráulico es mejor la equivalencia teniendo en cuenta los diámetros interiores.

#### **Presión de trabajo**

Una segunda clasificación muy usada depende de la presión recomendable de trabajo (PT) y según el sistema de dimensionamiento se puede clasificar

en clases, para la serie métrica mientras que para la serie inglesa se clasifican por SDR y Cédulas.

La presión de trabajo puede expresarse en función de la relación de magnitudes entre el diámetro exterior del tubo y el espesor de la pared, relación conocida como SDR.

Los términos “Relación de Diámetro” (*DR*), en español RD y “Relación de Diámetro Estándar” (*SDR*) son ampliamente utilizados en la industria de la tubería de PVC en estándares americanos.

Los tres términos hacen referencia a la misma relación, que consiste en dividir el diámetro promedio exterior del tubo (DE) entre el espesor de pared de la tubería (e).

$$RD = DR = SDR = DE / t = DE / e$$

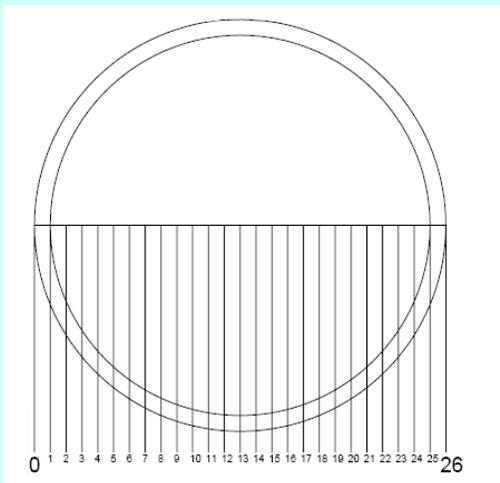
DE = Diámetro Exterior

t = espesor de pared del tubo

e = espesor de pared del tubo

Las dimensiones físicas y tolerancias de las tuberías de PVC SDR deben estar de acuerdo con los requerimientos exigidos por la Norma ASTM D 2241 para tubo liso y por la Norma ASTM D 2672, para tubos tipo campana.

**Figura 46. Ilustración de SDR para SDR = 26**



La tubería clasificada por cédulas cumple con las dimensiones de la tubería de hierro galvanizado (FoGo). La presión recomendable de trabajo es variable, dependiendo del diámetro, ya que depende de la relación entre el diámetro y el

espesor. Las cédulas existentes son: Cédula 40, Cédula 80 y Cédula 120.

La clasificación por clases para la serie métrica, la clase corresponde a la presión nominal de trabajo de la tubería, de este modo una tubería Clase 10 soporta una presión recomendable de 10 kg/cm<sup>2</sup>, una clase 7, a 7 kg/cm<sup>2</sup>, etc.

El diseño de la tubería también se basa en la relación que existe entre el espesor de pared y el diámetro externo del tubo. Dándole un espesor de pared necesario al tubo con relación a su diámetro, dependiendo de la presión de trabajo que va a soportar.

La norma ASTM D2241, IPS e PIP- Plastic Irrigation Pipe / tubo de plástico para irrigación es utilizada primordialmente en sistemas de riego agrícola, distribución de agua en zonas rurales, campos de golf y en algunas líneas de distribución en zonas urbanas. Los tubos PIP son exclusivos para aplicación agrícola, son de dimensiones menores y de paredes muy delgadas, presentan las siguientes características:

- Diámetros: Estándar de fabricación ASTM: de 1/2" a 36"
- Diámetros disponibles primordialmente en el mercado: De 1-1/2" a 12"
- Clases de Presión: Clasificación: 63, 100, 125, 160, 200, 250 y 315 psi
- RD = DR = DE/t = SDR: SRD 64, 41, 32.5, 26, 21 y 17
- Relación SDR/PSI: SDR64/63PSI; DR41/100PSI; SDR32.5/125PSI; SDR26/160PSI; SDR21/200PSI; SDR17/250PSI y SDR13.5/315PSI.

La normalización establece las características dimensionales y de resistencia para satisfacer las diversas exigencias de uso práctico.

Los tubos de PVC serán del tipo campana, lo que significa que las juntas entre tubos y/o con accesorios serán con cemento solvente. El cemento solvente deberá ser adecuado para efectuar uniones de tubería y accesorios de PVC. Los cementos solventes se hallan normados mediante la especificación ASTM D-2564, que establece las siguientes características: Cemento solvente de secado rápido y viscosidad media.

Los accesorios, por su versatilidad de formas y tipos, deberán permitir todo tipo de diseños. Los accesorios deben satisfacer todos los requisitos dimensionales y relativos a calidad que se dan en las especificaciones siguientes: ASTM D-2462, accesorios roscados, ASTM D-2466, lista 80, accesorios de campana, lista 40.

El tubo debe ser totalmente homogéneo y sin grietas visibles, agujeros, materias extrañas y otros defectos. El tubo deberá ser tan uniforme como sea comercialmente factible en cuanto a las características de color, capacidad, densidad y otras características físicas.

El tubo deberá ser nuevo, del tipo y calidad y espesor mínimo de pared que soporte una presión dada permisible de operación (160 o 125 PSI), según sea el caso y de acuerdo con las normas técnicas ASTM mencionadas.

Los tubos deberán estar marcados adecuadamente, y se debe incluir la siguiente información: a) Dimensiones nominales de los tubos y el sistema de dimensiones aplicable, b) Tipo de material para tuberías de plástico, c) La presión nominal en libras por pulgada cuadrada, d) Diámetro de la tubería y longitud, e) Nombre y clave del fabricante (o su marca comercial).

### **Tipo de unión**

La descripción de las diferentes clases de unión, que se desarrolla a continuación esta basada en los tipos de unión mayormente usados en tuberías de PVC para agua potable, a continuación se describe brevemente:

#### **Unión con junta elástica**

Esta unión también es conocida como unión espiga - campana o espiga - bocina. Los tubos por un lado tienen una campana conformada con un nicho donde se aloja un anillo empaque de material elastomérico, el cual hace el sello hermético, por el otro lado tiene la espiga.

La unión elástica ofrece variadas ventajas entre las que se encuentran:

- **Facilidad de instalación:** ya que para hacer la unión solamente se requiere de la utilización de un lubricante.

- **Unión flexible:** permite movimientos relativos entre la espiga y la campana por lo que absorbe asentamientos sufridos en el suelo. Esta ventaja puede utilizarse cuando se tienen cambios de dirección con radios de curvatura muy grandes o pequeñas desviaciones.
- **Cámara de dilatación:** absorbe la dilatación de la tubería debido a las variaciones de temperatura.
- **Anillo empaque:** permite tener hermeticidad en la línea.

La desventaja mayor de este tipo de unión es que requieren muros de apoyo o dados de concreto en los cambios de dirección y derivaciones.

#### **Unión cementada**

Esta unión se compone de espiga – casquillo o bocina. Es una unión monolítica de la tubería con otras tuberías (abocinadas) y/o con conexiones usando una sustancia cementante, cuya reacción química con el PVC provoca que las dos piezas cementadas queden soldadas entre sí.

La ventaja principal de este tipo de unión es que soporta la fuerza axial, lo que las hace muy útiles en estaciones de bombeo, cabezales de riego y unión a otros equipos que se encuentran en la superficie del terreno.

La principal desventaja es que requiere cierto tiempo de secado antes de ser sometidas a presión, lo cual demora la puesta en marcha del sistema después de una reparación.

#### **Unión roscada**

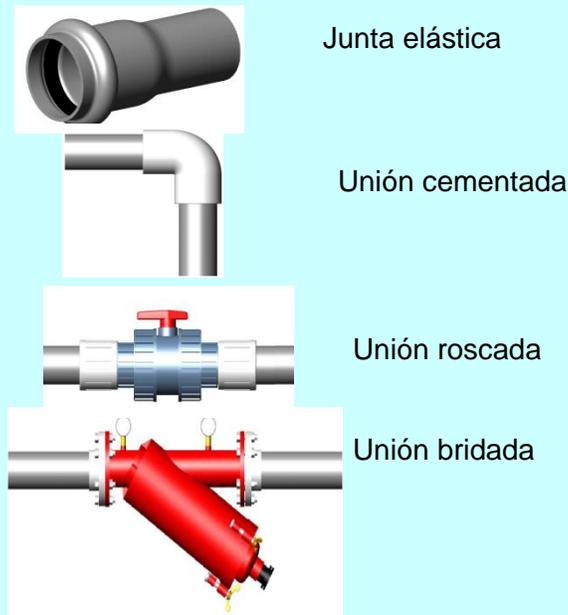
Utilizada para unir PVC con FoGo, válvulas roscadas, válvulas de aire, liberadoras de presión, etc. Las roscas son del tipo NPT (Taper Pipe Thread). Regularmente a la tubería se le cementa un adaptador macho o hembra roscado en tanto los tubos cédula 40, 80 y 120 pueden ser roscados con "tarraja" de igual manera que los tubos de FoGo, sobre todo los diámetros pequeños.

#### **Unión bridada**

Es utilizada principalmente para hacer uniones con piezas de hierro fundido (HoFo) y otros materiales, además para unir a válvulas, medidores de flujo, bombas de agua, filtros, etc.

En la figura 47 se presentan los diferentes tipos de uniones empleadas en PVC.

**Figura 47. Tipos de uniones en PVC**



**Tuberías de polietileno (PE)**

El polietileno es un termoplástico no polar, semicristalino con distintos grados de reticulación, que se obtiene por polimerización del etileno y plastificantes, llevando incorporado el negro de carbono para proteger las tuberías de la luz solar, conformándose por extrusión.

**Clasificación de las tuberías de PE**

Se clasificaba en función de la densidad: las tuberías de polietileno son flexibles y fácilmente manejables lo que facilita su instalación incluso de forma mecanizada. Suele emplearse hasta diámetros de 50 milímetros. Existen tres tipos:

- PE de baja densidad (PE 32).
- PE de media densidad (PE 50B).
- PE de alta densidad

La diferencia entre ellas está en la flexibilidad, dureza y resistencia. Las tuberías de baja densidad son muy flexibles y blandas, mientras que las de alta densidad son menos flexibles pero resisten mejor a las altas temperaturas y a los productos químicos.

El material más apropiado para los laterales de riego es el PE de baja densidad, con espesor menor de 2 milímetros y presiones máximas recomendadas de 2.5 kg/cm<sup>2</sup>. Los diámetros más

utilizados en laterales de goteo son 12 y 16 mm. Para tuberías terciarias cada vez se utiliza con más frecuencia PE de baja densidad, para facilitar su enrollado en la recolección.

Para la Serie Métrica la clasificación se hace en correspondencia a la presión nominal de trabajo de la tubería. El diseño de la tubería también se basa en la relación que existe entre el espesor de pared y el diámetro externo del tubo. Dándole un espesor de pared necesario al tubo respecto a su diámetro, dependiendo de la presión que va a soportar teniendo en cuenta la resistencia según del PE con que se fabrica la tubería.

$$PN = \frac{2\sigma e}{Di}$$

Donde:

- PN = Presión nominal de la tubería
- $\sigma$  = Esfuerzo tangencial de trabajo
- e = Espesor de la tubería
- Di = Diámetro interior

Para la serie inglesa, las tuberías se clasifican según la relación de dimensiones standard (SDR).

**Tipos de unión**

**Unión por termofusión**

Posibilita realizar la unión de dos tubos en un corto tiempo con maquinaria específica, a través del calentamiento de los extremos del tubo, con una temperatura determinada para el tipo de diámetro exterior y la pared de cada tubo, en el que una vez alcanzada la temperatura se le somete a una presión constante predeterminada durante un tiempo, resultando una fusión molecularmente homogénea, conformando un solo cuerpo con los tubos a instalar.

El sistema por termofusión puede ser realizado según dos técnicas:

**Unión por socket**

Se realiza sin necesidad de accesorios, soldándose los tubos entre sí. Por este método se puede soldar tuberías desde 40 mm hasta 1.200 mm de diámetro.

**Unión por tope**

Se utilizan accesorios que van desde 125 mm de diámetro y también herramientas especiales.

Posibilita realizar la unión de los tubos en muy corto tiempo. A través de una pieza de conexión especial en la que se insertan los extremos de los tubos se conecta a los terminales una máquina electrofusionadora que envía energía eléctrica al accesorio, el cual lo transforma en energía térmica mediante una resistencia en espiral, produciendo la electrofusión.

Para el caso de electrofusión, existe sólo una técnica para ser utilizada en todos los tubos, dependiendo de los accesorios, cantidad de calor y tiempos de unión, según sus diferentes diámetros y paredes.

Las monturas por electrofusión son de alta practicidad y permiten realizar ramificaciones, desviaciones, etc., sin necesidad de cortar el suministro principal, posibilitando hacer pruebas en la nueva instalación antes de ponerla en funcionamiento.

### **Unión por compresión**

Las uniones pueden ser realizadas a través de accesorios denominados de compresión, mecánicos. Por medio de estos accesorios, se puede unir un extremo de un tubo con el extremo de otro, de iguales o diferentes diámetros, o en su defecto, unir el tubo con alguna otra pieza. Bajo este sistema, se pueden unir tubos de diámetros exteriores desde 25 hasta 110 mm. La unión entre el accesorio y la tubería es realizada a través de un anillo de goma que produce el sello, un sujetador de la tubería y la tapa roscada cónica que se fija al cuerpo y presionando el sujetador hacia el tubo.

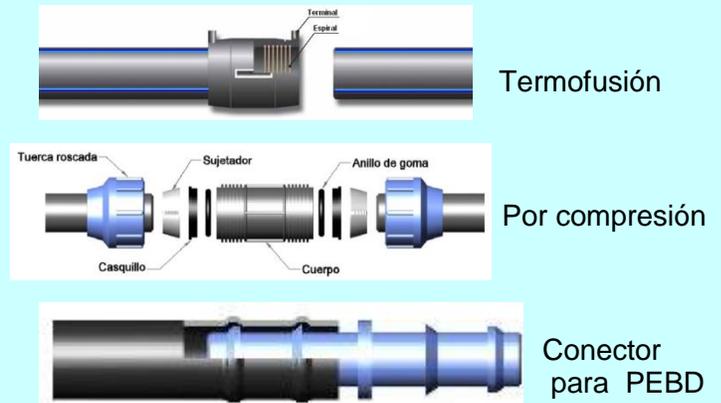
### **Conectores para PEBD (Unión de espiga.)**

Son utilizados principalmente en los sistemas de riego localizado, existe una gran gama de estas conexiones con variantes, desde los tipos sencillos a otros que utilizan anillos de seguridad y tuerca exteriores. Se utilizan para conectar los laterales (ramales) a las tuberías terciarias o distribuidoras para transición a otros materiales y para uniones, derivaciones etc. de los propios laterales.

También se fabrican piezas especiales para invernaderos, bancales y otros sistemas donde se utilice el riego localizado.

Se fabrican en diámetros desde 12 mm a 20 mm y, excepcionalmente de 25 y 32 mm. Su diseño está concebido para utilizarlas en las tuberías PEBD (PN 40) PN-2,5 y en las cintas de riego.

**Figura 48. Tipos de uniones en polietileno**



### **Emisores**

Los emisores o goteros son los dispositivos por medio de los cuales se aplica el agua al suelo. Dado que el agua que circula en los laterales de riego posee presión, los goteros disipan la presión del agua de tal forma que sale a la atmósfera sin presión, en forma de gota.

### **Clasificación**

#### **Por su instalación en la tubería.**

**En la línea.** Son aquellos goteros que se instalan cortando la tubería e insertando los extremos del gotero, en los sitios de corte. El agua circula por el interior del gotero, que forma parte de la conducción.

**Sobre la línea (goteros de botón o goteros pinchados),** se instalan en la tubería en un orificio realizado con un equipo de perforación, estos goteros se pueden colocar en tuberías de distintos diámetros.

**En integración o integrados.** Estos goteros se implantan en la tubería de polietileno durante el proceso de extrusión de la misma, con distintos espaciamientos (30 cm, 50 cm, etc.) y distintos caudales, van termosoldados en el interior. En ocasiones los diámetros de las tuberías con goteros integrados son diferentes a los usuales, lo que obliga a utilizar elementos de conexión especiales.

**Cintas de riego.** Otra clase especial de riego por goteo es la cinta de riego que es una tubería integral de paredes delgadas con orificios en la misma cinta o goteros termosoldados en su interior.

### Por su comportamiento hidráulico.

**Normales o estándar.** Son goteros que cuanto mayor sea la presión existente más caudal de agua arrojan. Este tipo de goteros a su vez pueden ser de conducto largo, laberinto, orificio.

**Autocompensantes.** Son goteros que mantienen el caudal más o menos constante, aunque varíe la presión de entrada, dentro de un determinado rango de presión, al que se denomina intervalo de compensación. Son indicados para lugares donde hay grandes diferencias de presión debidas a desniveles topográficos (ejm. tierras de laderas) o cuando existen a lo largo de la tubería lateral grandes pérdidas de carga.

Figura 49. Diferentes clases de goteros



### Curva presión – caudal

La curva presión - caudal expresa la variación del caudal de los goteros en relación con la variación de la presión, a partir de ellas se puede conocer la presión de operación necesaria para obtener el caudal deseado, asimismo es útil para encontrar la ecuación del gotero.

En goteros no compensados, el caudal de emisión aumenta en la medida que aumenta la presión.

En el caso de los goteros autocompensados, este comportamiento es similar, pero hasta presiones de 4 a 10 m, aproximadamente. A partir de este valor hasta valores de 40 m de presión, el caudal se mantiene constante.

Figura 50. Curva presión – caudal goteros no compensados

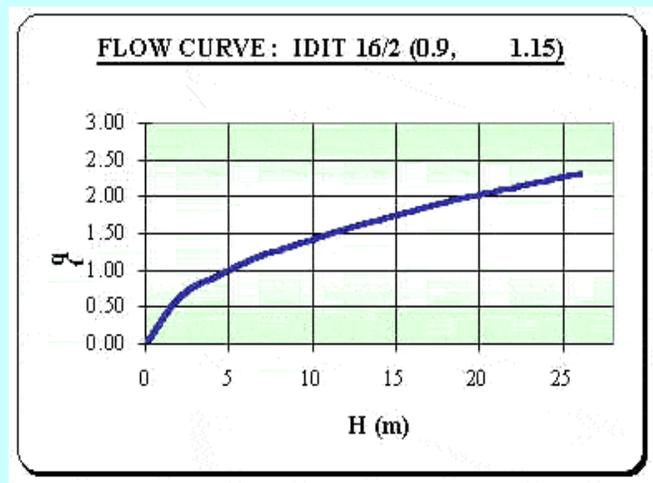
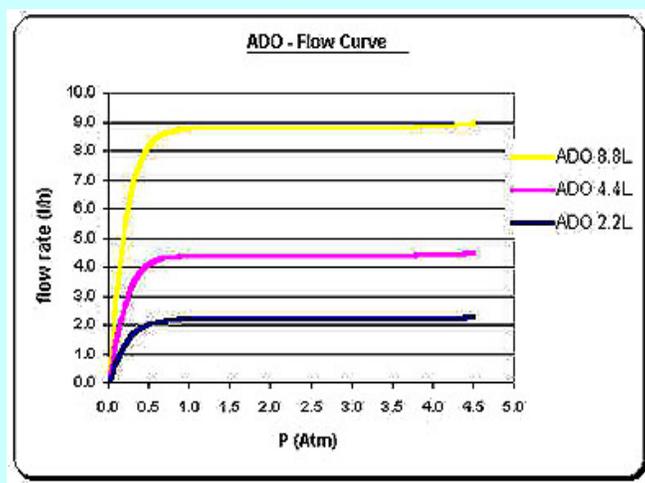


Figura 51. Curva presión – caudal goteros autocompensados



### Tubería exudante

El elemento difusor del agua consiste en una tubería fabricada a partir de una membrana compacta de microfibras de polietileno entrecruzadas, formando una malla en la que los poros tienen un tamaño entre 4 o 5 micrones, y ocupan el 50% de la membrana.

### Funcionamiento del sistema

Al aplicar una presión entre 2 y 3,5 metros de columna de agua, la tubería se hincha y el agua sale al exterior por los poros homogéneamente en toda su longitud, formando una franja húmeda, continua y uniforme, a diferencia del riego por goteo que lo hace por puntos espaciados.

El caudal que corresponde a las presiones de trabajo citadas, es de 1 a 1,75 L/h por metro de cinta, pero al tratarse de un emisor que trabaja a régimen laminar, el caudal se ve afectado por la temperatura del agua y por su viscosidad que es variable en función de la salinidad.

Por ser bajo el caudal, permite bajar el costo de la red de distribución de riego. Los fabricantes suministran junto con el equipamiento, un microlimitador de caudal llamado "flow control", que regula en la gama de 65 a 277 L/h.

La cinta de exudación puede trabajar a bajas presiones del orden de unos pocos decímetros de columna de agua. Muchas veces es necesario contar con regulador de presión para poder superar terrenos con desniveles, y lo hacen con gran precisión.

El pequeño tamaño de los poros hace que el emisor sea muy sensible a las obturaciones, especialmente a las ocasionadas por bacterias desarrolladas a partir de algas microcópicas que atraviesan todo tipo de filtros.

Estas obturaciones se detectan porque disminuye el caudal y se pueden solucionar con la aplicación de alguicidas. La luz favorece la aparición de algas, por lo tanto se recomienda enterrar entre 3 a 8 cm la cinta.

### Aplicaciones

La cinta de exudación humedece una franja continua de terreno, ya que el agua resuma en gotas en toda la longitud de la misma. Al igual que el sistema por goteo es recomendado su uso en cultivos en hileras, frutilla, hortalizas en línea y árboles frutales. En éste último caso el sistema de riego no es continuo, sino que se combina con laterales convencionales de polietileno.

**Figura 52. Cinta de exudación**



### Criterios de selección de los goteros

La selección del gotero está vinculada con la calidad de las aguas, las condiciones de operación deseables en el sistema para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos y la eficiencia del sistema. Algunas de las características relacionadas con eficiencia del sistema son:

- Variaciones en el caudal de descarga debido a tolerancia de fabricación.
- Cercanía de la relación descarga – presión a las especificaciones de diseño.
- Exponente de descarga del gotero
- Rango posible de presiones de operación adecuado
- Susceptibilidad a la obstrucción, depósitos de sedimentos y depósitos químicos.

### Ecuación del gotero

En el rango de descargas deseado, las características del flujo de la mayoría de los goteros se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$q = Kd \cdot h^x$$

Donde:

q = Caudal del gotero

Kd = Coeficiente de descarga que caracteriza a cada gotero

h = Carga de operación del gotero

x = Exponente de descarga del gotero

Para determinar Kd y x se debe conocer la descarga de un gotero operando a dos diferentes presiones. A partir de q1 a h1 y q2 a h2 el exponente x se puede determinar como sigue:

$$X = \frac{\log \left( \frac{q_1}{q_2} \right)}{\log \left( \frac{h_1}{h_2} \right)}$$

Conocido el valor de x se puede obtener el valor de Kd despejándolo de la ecuación original

$$Kd = q / h^x \text{ (Para un par de valores } q \text{ y } h)$$

Ejemplo:

Gotero no compensado

h1: 10 m

q1: 2.0 lph

h2: 30 m

q2: 3.6 lph

$$X = \frac{\log(2.0/3.6)}{\log(10/30)} = \frac{0.2553}{0.4771}$$

$$X = 0.5351$$

$$K_d = \frac{3.6}{30^{0.5351}} = 0.5833$$

Ecuación del gotero:

$$q = 0.5833h^{0.5351}$$

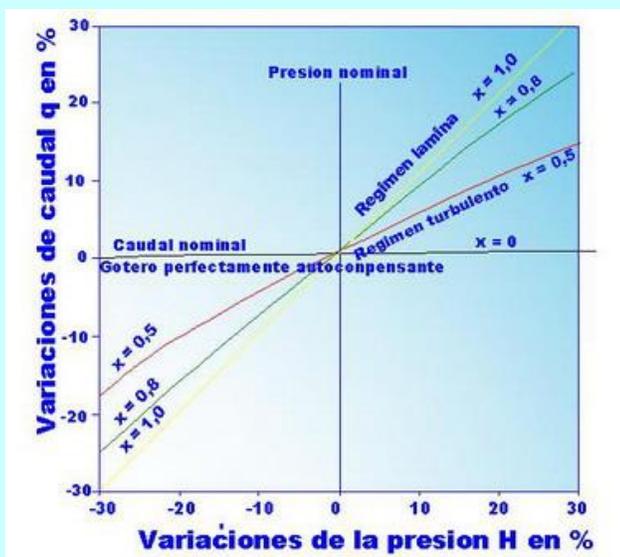
Comprobación:  
Para  $h = 25$  m

$$q = 0.5833(25)^{0.5351}$$

$$q = 3.27 \text{ lph}$$

La ecuación del gotero puede representarse tomando en ordenadas caudales y en abcisas presiones como en el grafico siguiente:

**Figura 53. Representación gráfica de la ecuación del gotero**

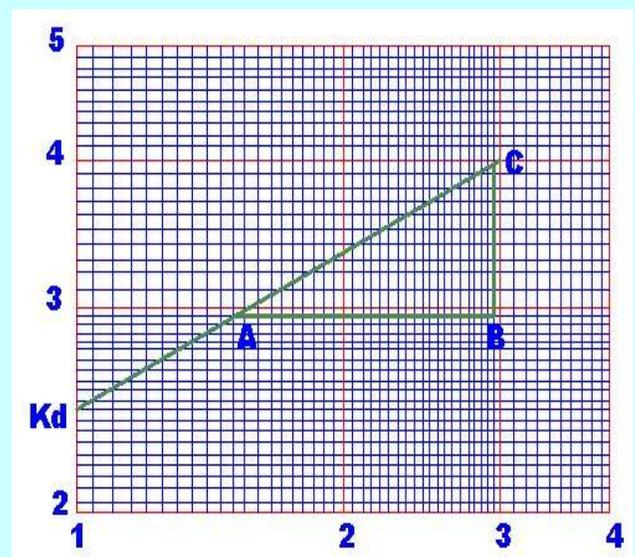


Cuanto menor sea el valor de  $x$ , la curva que representa tenderá hacia la horizontal, un emisor que tuviera una  $x = 0$  tendría como curva, una recta horizontal paralela al eje de las abcisas desde una determinada presión, su caudal sería constante e independiente de la presión. Por lo contrario otro emisor con una  $x = 1$ , su curva también sería una línea recta a  $45^\circ$  que pasaría por

el origen. Su caudal variaría en la misma proporción que la presión.

Si la curva definida por la ecuación se representa en un papel logarítmico, se transforma en una recta cuya pendiente es precisamente el valor de  $x$  y su ordenada en el origen es  $K_d$ , ya que al aplicar logaritmo a la ecuación 1 se obtiene  $\text{Log. } q = x \log h + \log K_d$ , por tanto  $x$  se podrá tener gráficamente midiendo con una escala los segmentos  $BC$  y  $AB$ , mostrados en la gráfica de la figura 55 y dividiéndolos.

**Figura 54. Método gráfico para calcular  $K_d$  y  $x$  de la ecuación del gotero**



### Descarga promedio del gotero

#### Coeficiente de variación de fabricación

En el proceso de fabricación de los goteros resulta imposible que el 100% de los goteros tengan exactamente las mismas características de descarga. Esto se debe a que las dimensiones críticas del pasaje del flujo son pequeñas y por lo tanto difíciles de fabricar con absoluta precisión.

El coeficiente de variación por fabricación ( $v$ ) es un término estadístico característico, que se utiliza como una medida de las variaciones anticipadas de caudal en una muestra de goteros. El valor de  $v$  debe ser proporcionado por el fabricante, de no obtenerse así se puede determinar a partir de los caudales de una muestra de por lo menos 50 goteros, operados a una presión de referencia y calculado mediante la siguiente ecuación:

$$v = \sqrt{\frac{q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_n^2 - n(qa)^2}{(n-1)qa}}$$

$$v = Sd / qa$$

Donde:

v = Coeficiente de variación de fabricación  
 $q_1, q_2, \dots, q_n$  = Valores individuales de caudal de los goteros (lph)

n = Número de goteros en la muestra

qa = Descarga promedio en la muestra calculada de la siguiente forma:  $(q_1 + q_2 + \dots + q_n) / n$ , (lph)

Sd = Desviación standard de los caudales de la muestra (lph)

El v es un parámetro muy útil con significado físico porque los caudales de goteros a una determinada presión se distribuyen de forma normal. El significado físico de v se deriva a partir de la clásica curva de distribución normal, en la cual:

- Esencialmente todos los caudales observados caen dentro de  $(1 \pm 3v) qa$ .
- Aproximadamente 95 % de los caudales caen dentro de  $(1 \pm 2v) qa$ .
- El promedio del cuarto inferior de los caudales es aproximadamente igual a  $(1 - 1.27v) qa$ .
- Aproximadamente el 68% de los caudales caen dentro de  $(1 \pm v) qa$ .

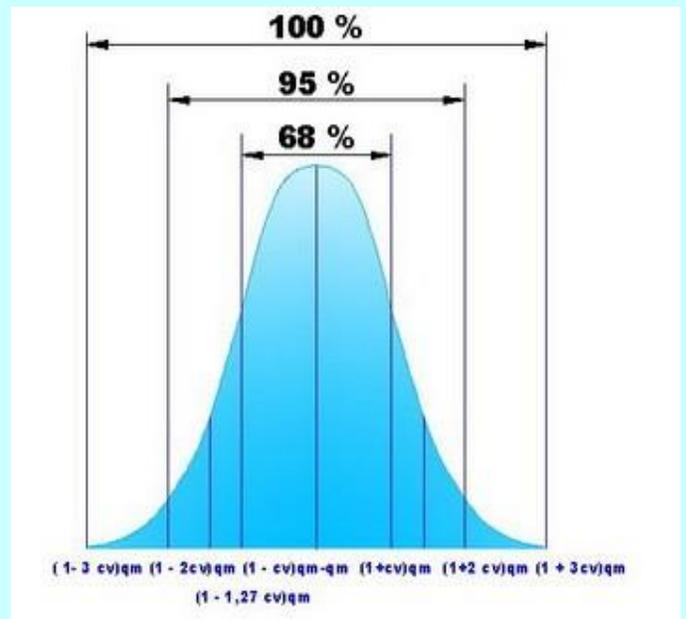
Por lo tanto para un gotero que tiene  $v = 0.06$  (valor promedio) y  $qa = 4$  lph, el 95% de las descargas se espera que estén dentro del rango 3.52 a 4.48 lph y la descarga promedio del cuarto inferior va a ser aproximadamente 3.7 lph.

Como guía general, la variabilidad de fabricación se puede clasificar de acuerdo al cuadro 22.

Cuadro 22. Clasificación del coeficiente de variación de fabricación (v)

Rango	Clasificación
$v < 0.04$	Excelente
$0.04 < v \leq 0.07$	Medio
$0.07 < v \leq 0.1$	Marginales
$0.11 < v \leq 0.15$	Deficiente
$0.15 < v$	Generalmente inaceptable

Figura 55. Distribución normal del caudal de los goteros



### El coeficiente de variación de fabricación del sistema

El coeficiente de variación de fabricación del sistema ( $vs$ ) es un concepto útil en el diseño de sistemas de riego por goteo pues hace factible que se pueda utilizar más de un punto de emisión por planta. Cuando existe más de un punto de emisión por planta, las variaciones de caudal para todos los goteros alrededor de la planta generalmente se compensan entre sí.

En un grupo de goteros que descargan agua para una planta, es normal que un (os) gotero puede tener un caudal alto y otro (s), probablemente tiene un caudal mas bajo, y en promedio las variaciones en el volumen total de agua entregado a cada planta es menor que lo que podría esperarse considerando el valor de v solamente.

El valor del coeficiente de variación de fabricación del sistema ( $vs$ ) puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$vs = \frac{v}{N'p}$$

Donde:

$vs$  = Coeficiente de variación de fabricación del sistema

$N'p$  = Número de goteros en cada planta

### **Efecto del coeficiente de variación en la uniformidad del riego.**

En relación con la uniformidad del riego se tiene que, partiendo de una distribución normal de los caudales, si se toma el 25% de los caudales más bajos, su valor medio ( $q_{25}$ ) es:

$$q_{25} = (1 - 1.27 v)$$

Para la determinación del CU se toman los factores de fabricación e hidráulicos. En este caso:

$$CU = CUC \times CUH$$

$$CUC = \frac{q_{25}}{q_a}$$

$$CUC = 1 - 1.27 v$$

Cuando el número de emisores por planta (NP) es diferente de 1, el CUC se expresa de la siguiente forma:

$$CUC = 1 - 1.27 \frac{v}{\sqrt{Np}}$$

### **Dispositivos de medida control y protección**

#### **Elementos de medida**

Los más usuales suelen destinarse para medir el caudal o el volumen de agua o bien la presión en cualquier punto del sistema. Estos elementos son imprescindibles en las instalaciones de riego localizado.

#### **Medidores de caudal.**

Los medidores de caudal son elementos utilizados para medir la cantidad de agua que pasa por un punto en la unidad de tiempo. También son útiles para descubrir la existencia de obturaciones, roturas o fugas. Además los contadores de volumen, normalmente llamados contadores, permiten realizar un riego controlado, ya que se puede conocer la cantidad de agua que se ha aplicado a un cultivo, independientemente del tiempo que se este regando. Los medidores de caudal o volumen más usados son los de turbina y los rotameros.

Los medidores de turbina se basan en el movimiento de una rueda de paletas que se inserta en la tubería, de forma que cada giro de la rueda

implica un volumen de agua determinado que se va acumulando en un medidor. Los medidores de turbina usados son los denominados Woltman, los cuales son bastante precisos. Suelen fabricarse para medir el volumen en tuberías con diámetros entre 50 y 300 milímetros y producen una pérdida de carga o diferencia de presión entre la entrada y la salida del contador entre 1 y 3 m.

**Figura 56. Medidor de turbina o contador**



#### **Medidores de presión**

Con la utilización de los medidores de presión se puede conocer si algún componente del sistema está siendo sometido a presiones de trabajo mayores de las nominales y tiene por tanto riesgos de rotura. También se puede localizar pérdidas de carga excesivas (por ejemplo en un filtro muy sucio que necesita una limpieza) o si por el contrario hay una presión insuficiente para que un elemento del sistema trabaje correctamente (por ejemplo un ramal de goteros donde no hay suficiente presión para que los emisores descarguen el caudal de diseño).

Los elementos que miden la presión se llaman manómetros, y los más utilizados son los llamados tipo Bourdon, que tienen un funcionamiento mecánico. Es imprescindible medir la presión, como mínimo, a la salida del equipo de bombeo (para saber la presión de entrada al sistema), y a la entrada y salida de filtros. Además es aconsejable medirla en la entrada de las unidades de riego y de las tuberías múltiples.

Muchas veces lo que más interesa es conocer la diferencia de presiones entre dos puntos o más de la red, por ejemplo la diferencia de presión a la entrada y salida de los filtros, con el objeto de determinar el momento de su limpieza; en el equipo de fertirrigación para conocer la diferencia

de presión que provoque la succión de los fertilizantes. Las unidades de presión más comunes empleadas en los manómetros son las libras por pulgada cuadrada (PSI) o el bar.

**Figura 57. Medición de la presión**



### **Elementos de protección**

Los elementos de protección se instalan para proteger al sistema de sobrepresiones o depresiones, las que coinciden normalmente con la apertura y cierre de válvulas, la puesta en marcha de las bombas, etc. Los más utilizados en riego localizado son las válvulas de aire.

### **Válvulas de aire**

#### **Origen del aire en los sistemas de tubería.**

El agua contiene aire disuelto; a 20°C y presión atmosférica, el contenido de aire es alrededor de 20 litros por m<sup>3</sup>, los cambios de temperatura y variaciones de presión pueden provocar la liberación de aire en cantidades importantes.

El aire puede entrar directamente de la atmósfera a través de las bombas cuando se pone en marcha y este se comprime hacia la red, además el aire puede ser aspirado en la succión cuando se crean vórtices, cuando ocurren transiciones de secciones parcialmente llena a la sección totalmente llena.

#### **Bolsa de aire**

En tuberías con variación de la pendiente y bajas velocidades (0.6 m/seg.), el aire libre dentro del sistema se concentrará en forma de bolsas reduciendo el área de paso de caudal y la capacidad de transporte de la línea. Si el sistema está alimentado por bomba, el punto de operación se desplazará a uno de menor caudal, mayor presión y menor eficiencia. En casos extremos, la bomba no será capaz de suministrar la presión extra requerida para vencer las bolsas de aire y el flujo del sistema se detendrá totalmente. En redes

por gravedad, la influencia de las bolsas de aire es mayor que en redes a presión, ya que no hay presión para expulsar las bolsas de aire.

### **Válvulas de aire**

Son dispositivos que se instalan en las conducciones de agua o en partes especiales del sistema para introducir o evacuar el aire. Se clasifican en:

#### **Purgadores o ventosas monofuncionales:**

Se encargan de eliminar el aire que se acumula en las tuberías durante un funcionamiento normal.

#### **Ventosas bifuncionales**

Sirven tanto para la evacuación del aire acumulado en las tuberías durante su llenado, como para la introducción de este durante su vaciado.

#### **Ventosas trifuncionales**

Realiza las tres funciones antes descritas, es decir, purgar, admisión y expulsión de aire. Las ventosas evitan sobrepresiones de las tuberías durante el llenado y depresiones durante el vaciado. En ocasiones se producen bajas de presión que quedan por debajo de la atmosférica y que pueden producir el aplastamiento de las tuberías. En estos casos las ventosas permiten la admisión de aire que funciona a modo de colchón.

En general deben instalarse en los siguientes lugares dentro de un sistema de riego localizado:

- Puntos altos de la instalación.
- Tramos largos con pendientes uniformes.
- Cambios de pendientes en las tuberías.
- Salidas del equipo de bombeo.

**Figura 58. Válvulas de aire**



Ventosa Trifuncional

Ventosa Bifuncional

Purgador

## VI Diseño de sistemas de riego por goteo

### Generalidades

El diseño de una instalación de riego por goteo tiene suma importancia, ya que de ello depende el buen funcionamiento del sistema de riego. La clave para un buen diseño está en fijar el caudal, presión y uniformidad desde el principio e ir diseñando en consecuencia. Seguidamente debe realizarse un diseño agronómico del sistema donde se tiene en cuenta el tipo de suelo, las necesidades de agua del cultivo tanto en cantidad como en calidad, etc.

Cuando un sistema de riego por goteo está completado, se presta a muy pocas modificaciones, de aquí la importancia de prever desde un principio todos los detalles.

El proceso de diseño se divide en tres fases: diseño agronómico del riego, donde se determina la cantidad de agua que la instalación tiene que conducir con capacidad para satisfacer las demandas del cultivo en el mes de máximas necesidades; el diseño geométrico, donde se define la disposición más adecuada de las tuberías y componentes del sistema; y el diseño hidráulico, donde se calculan las dimensiones de las tuberías y componentes para que puedan satisfacerse las necesidades agronómicas.

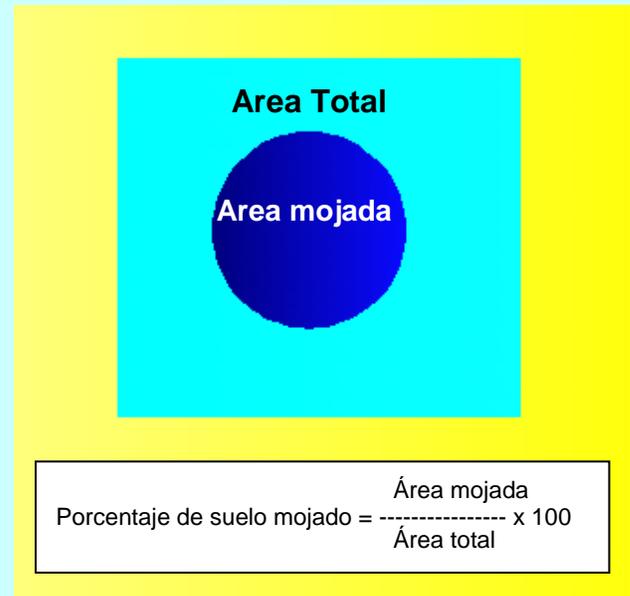
### Diseño agronómico

Es la parte más importante del proyecto de riego, ya que cualquier error aquí generará un sistema de riego inadecuado a lo que se precise, por ejemplo si se estiman unas necesidades de riegos menores a las reales, repercutirá en la producción, la calidad y podrían darse problemas de salinidad por falta de lavado de sales.

### Volumen de suelo humedecido

En riego por goteo, por su carácter de riego localizado, no es necesario humedecer el 100% del área ocupada por la planta. Es necesario establecer un mínimo de volumen de riego a humedecer, que tendrá que ser suficiente para garantizar el suministro de agua necesario para un óptimo desarrollo. El volumen de suelo humedecido se sustituye por el de porcentaje de suelo mojado (P), que es la relación entre el área mojada por los emisores y el área total regada, expresada en porcentaje (%).

Figura 59. Concepto de área humedecida



El valor de porcentaje mojado más apropiado depende del tipo de cultivos (frutales, herbáceos), clima (húmedo, árido) y del tipo de suelo. Se recomiendan los siguientes valores:

**Cultivos frutales de marco de plantación amplio:** 25%-35% variando desde el valor inferior al superior al aumentar la aridez del clima y cuanto mas ligera sea la estructura del suelo.

**Cultivos de plantación de marco medio** (distancia entre plantas inferior a 2,5 m): del 40% al 60%, variando según la misma relación anterior.

**Cultivos de marco de plantación reducido** (hortícolas, florales, herbáceos en general): El porcentaje de suelo mojado que se les asigna a estos cultivos está comprendido entre un 70% y un 90% pudiendo variar en algunas ocasiones.

Valores altos de P incrementan la seguridad del sistema, sobre todo en caso de averías de la instalación o en situaciones extremas de evapotranspiración. Por el contrario si se toman valores excesivos incrementaremos el valor de la instalación (mayor cantidad de emisores, diámetros mayores de las tuberías etc.).

En el riego por goteo se persigue una concentración máxima de raíces funcionales y en la mayoría de los cultivos esto sucede entre los 15 y los 30 cm de profundidad.

**Figura 60. Valores recomendados de porcentaje de suelo mojado**



**Número y disposición de los emisores**

**Cultivos con amplio marco de plantación**

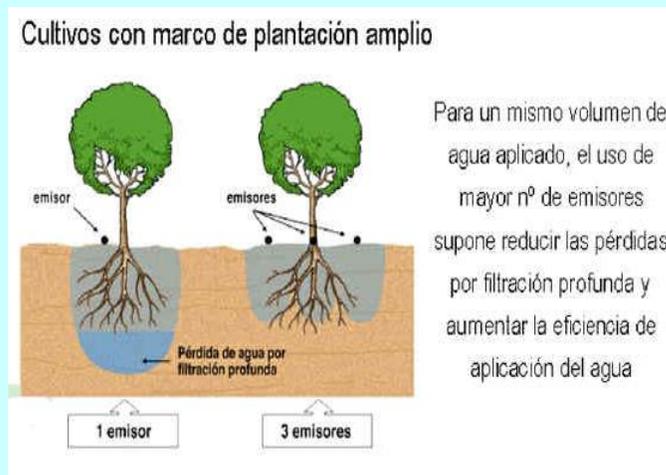
Hay que mojar bien toda la superficie de terreno bajo la copa del árbol para evitar un excesiva evapotranspiración.

Para evitar pérdidas de agua por filtración profunda se instala un mayor número de emisores y por tanto el porcentaje de suelo mojado se amplia en forma lateral.

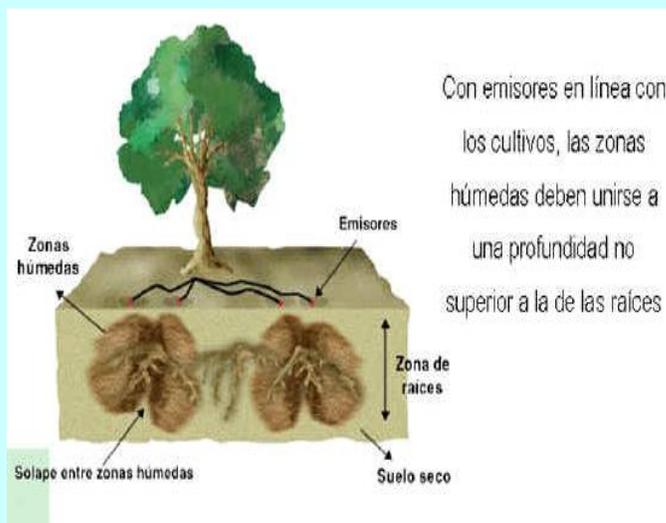
Cuando se disponen de emisores en línea en los cultivos con marco de plantación medio o amplio, hay que procurar que las zonas húmedas se unan

a una profundidad no superior a la de las raíces. De no ser así, la raíz es posible que no sea capaz de atravesar suelo seco y la zona salinizada que hay entre los dos bulbos contiguos, y por tanto no se desarrollarán en esa zona. En este caso se estaría desaprovechando una zona de agua al no estar ocupada por las raíces, es decir se estaría disminuyendo la eficiencia del sistema.

**Figura 61. Número y disposición de los emisores**



**Figura 62. Profundidad de humedecimiento de las raíces**



En el caso de los cultivos permanentes es necesario vigilar el anclaje y por tanto se deben disponer los emisores de forma que la raíz se desarrolle equilibradamente.

En plantaciones jóvenes se coloca un número menor de emisores, el cual se va aumentando

hasta el número definitivo. En suelo arenoso, el porcentaje de suelo mojado es mucho menor que en un suelo arcilloso por lo que aquí es recomendable usar microaspersores en vez de goteros.

### **Cultivos herbáceos.**

Generalmente, la distancia entre plantas de una misma línea de cultivo no coincide con la distancia entre emisores, como consecuencia muchas plantas están en zonas de mayor salinidad y menor humedad. Esta es la razón por la que aquí el traslape de bulbos a lo largo de la línea se vuelve de vital importancia.

En estos cultivos la disposición típica de riego es una tubería lateral por cada línea de plantas con emisores muy próximos entre sí (10,15, 20, 33, 40 cm), de tal manera que se produzca un traslape de los bulbos húmedos. Este concepto ha ido evolucionando, actualmente se considera que entre más cerca se encuentren los goteros se obtiene no un humedecimiento localizado, sino en forma de franja húmeda, donde se presenta un alto traslape del humedecimiento de los goteros, de ahí que aparecen en el mercado distanciamientos más cortos entre goteros, de 10, 15 cm particularmente en las cintas de riego.

También pueden utilizarse tuberías exudantes. A veces para reducir costos se utiliza una tubería lateral por cada dos líneas de cultivo.

**Figura 63. Manejo de lateral simple en doble surco de cultivo**



### **Frecuencia y tiempo de riego**

La duración del riego puede variar desde varios riegos en un solo día (normalmente en cultivos en invernadero) hasta intervalos de 3 y 4 días. El riego debe ser más frecuente cuanto menos profundo sea el suelo y menor sea la capacidad del suelo para retener agua (arenoso), mayor sea la ETP, peor sea la calidad del agua.

No debe regarse las 24 horas del día, ya que debe haber algunas horas para el mantenimiento de los equipos, recarga de abonos y reparación de posibles averías. Se recomienda un tiempo máximo de riego de 20 horas.

### **Estimación del área mojada**

El área mojada por cada gotero a lo largo de un plano horizontal ubicado a una profundidad de 30 cm, depende del caudal y volumen de descarga del gotero, así como de la textura, estructura, pendiente y perfil del suelo. Dada la amplia aireación de los suelos, no se pueden utilizar relaciones matemáticas universales para estimar el área mojada, sin embargo se puede determinar mediante pruebas de campo o estimar mediante la utilización de tablas.

### **Pruebas de campo**

Es la forma más confiable de determinar el área humedecida para el diseño de los sistemas de riego por goteo. Las pruebas de campo consisten en poner a funcionar un pequeño número de goteros en sitios representativos del área de riego y determinar el área humedecida mediante medición directa. Una forma práctica es realizar las mediciones en sistemas de riego de propiedades aledañas con similares condiciones de suelo. El caudal de los goteros y volumen de aplicación a emplear en la prueba deben ser similares a los valores de diseño realizados previamente.

El volumen de agua a aplicar debe ser igual al requerimiento diario por gotero, una forma de controlar este volumen es colocarlo en un tanque o depósito elevado y permitir que durante la prueba se descargue completamente. Si el suelo se encuentra muy seco, es recomendable hacer aplicaciones similares durante dos o tres días sucesivos antes de chequear el patrón de mojado. El patrón de mojado se puede observar mejor sobre la pared vertical de una calicata excavada a través del punto de emisión hasta el fondo de la zona mojada.

Lo ideal para realizar esta prueba es contar con un equipo de bombeo para utilizar los goteros propuestos en el diseño a su presión de trabajo, de no ser posible, puede utilizarse la alternativa siguiente:

- Depósito de agua de unos 200 litros.
- Soporte para el depósito de 1.50 m de altura.
- Tubería de polietileno de 25 mm de diámetro y 10 m de longitud.
- Tubería 16 mm de 14 metros de longitud cada una (3 tramos).
- Miniválvulas de 16 mm de diámetro (9 unidades).
- Goteros que garanticen diversos valores de caudal (2 , 4 y 8 l/h) o el caudal que interese, con la carga proporcionada por el depósito.

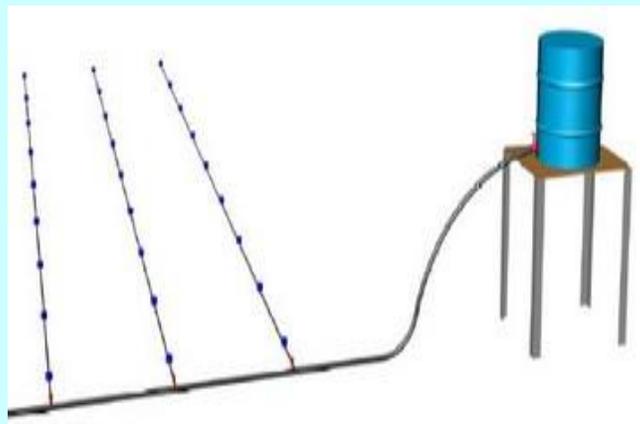
Se selecciona un lugar lo más representativo del área a regar y en las condiciones lo más parecidas posible a las que va a operar el sistema; se montan los equipos, colocando en cada lateral 3 grupos de goteros con los caudales seleccionados. Se aplica varias veces, a través de los laterales con emisores suficientemente espaciados como para que no haya traslape de los bulbos, tres o más volúmenes diferentes de agua: un 20% mayor, un 20% inferior e igual al estimado en los cálculos previos realizados en el cuadro 23.

Al final de este proceso, ya sea mediante muestreo o abriendo una zanja en línea recta por el lugar en que se encontraban los goteros, se toman las medidas necesarias para dibujar con la mayor precisión posible la forma del suelo mojado. La determinación visual del contorno del bulbo, cuando se ha sometido el bulbo a varios ciclos de mojamiento, no es normalmente posible, aunque, en general, los resultados que se obtienen son suficientes con fines de diseño de sistema. Un muestreo posterior para determinación de humedad gravimétrica en varios puntos situados según una línea horizontal, a una profundidad conveniente, donde los puntos extremos se sitúan claramente fuera del bulbo, puede ayudar a precisar el contorno. Esta prueba debe repetirse tantas veces como la variabilidad del suelo lo aconseje.

Los datos a tomar son profundidad y radio mojado y deben tabularse al tiempo que se calcula la relación radio/profundidad, cambios bruscos de esta relación deben interpretarse como que el frente de humedad ha alcanzado una

discontinuidad en el perfil, esto debe comprobarse con un examen visual del perfil del suelo, si se ha practicado una zanja, que presenta la ventaja adicional de poder evaluar la profundidad de raíces si se está en presencia de cultivo.

**Figura 64. Instalación para efectuar la prueba de campo**



**Figura 65. Calicata para evaluar el bulbo de humedecimiento**



### **Estimación del área mojada**

En el cuadro 23 se muestran las estimaciones del área horizontal a aproximadamente 15 -30 cm, medidos desde la superficie para diferentes tipos de suelos. El área de la superficie del suelo mojado generalmente es la mitad del área subsuperficial, a menos que la intensidad de aplicación del agua sea tan alta que pueda causar escurrimiento.

Los valores del cuadro se basan en el caudal de un gotero de 4 lph. Los valores de área de mojado dadas para las diferentes texturas del suelo, profundidades y grados de estratificación se basan en riegos diarios o cada día y medio. El área humedecida se da como un rectángulo, cuya dimensión mas larga es igual al diámetro máximo esperado del círculo humedecido. La dimensión menor es igual al 80% del diámetro máximo esperado, el cual es el espaciamiento del gotero que da una franja humedecida razonablemente uniforme y continua, el producto de ambas dimensiones es bastante similar al área del círculo, considerando la dimensión mayor de la tabla como el diámetro, como explicado anteriormente.

Ejm: área del rectángulo  $0.9\text{m} \times 1.1\text{m} = 0.99 \text{ m}^2$   
similar al área del círculo  $\pi \times (1.1)^2 / 4 = 0.96 \text{ m}^2$ .

Es importante destacar que los resultados obtenidos son aproximados, con fines de diseño.

Cuadro 23. Guía para la estimación del área mojada por goteros según clase de suelo

Grado de Estratificación área mojada (m x m)			
Suelo	Homogéneo	Estratificado	En capas
<b>Prof. 0.75 m</b>			
Grueso	0.4 X 0.5	0.6 X 0.8	0.9 X 1.1
Medio	0.7 X 0.9	1.0 X 1.2	1.2 X 1.5
Fino	0.9 X 1.1	1.2 X 1.5	1.5 X 1.8
<b>Prof. 1.50 m</b>			
Grueso	0.6 X 0.8	1.1. X 1.4	1.4 X 1.8
Medio	1.0 X 1.2	1.7 X 2.1	2.2 X 2.7
Fino	1.2 X 1.5	1.6 X 2.0	2.0 X 2.4

### Cómputo del porcentaje de área mojada

El porcentaje de área mojada (Pw) es el porcentaje de área mojada horizontal a 15 a 30 cm de la zona radicular medida desde la superficie en relación al área total ocupada por el cultivo (figura 60). A continuación se presentan términos adicionales para definir la ecuación de cómputo del porcentaje de área mojada.

Se = Espaciamiento entre goteros o puntos de emisión a lo largo de la misma línea lateral.

S'e=Espaciamiento óptimo entre goteros, espaciamiento equivalente al 80% del diámetro del bulbo de humedecimiento. Estimado a partir de las pruebas de campo o mediante el cuadro 23.

W = Ancho mojado, es el ancho de la franja que sería mojada por una línea de goteros espaciados S'e. Se puede estimar mediante las pruebas de campo o el cuadro 23.

Sp= Espaciamiento entre plantas es la distancia una y otra planta sobre una misma hilera.

So= Espaciamiento entre hileras de plantas o entre laterales (lateral simple recto).

Np= Número de puntos de emisión por planta, número (entero o fracción) de goteros que corresponden a cada planta.

El porcentaje de área mojada para  $S'e < Se$ , se computa como sigue:

$$P_w = \frac{N_p \times S_e \times W}{S_p \times S_o} \times 100$$

### Diseño agronómico, definiciones con ejemplo de cálculo

#### I Información Básica

##### Cultivo:

Especie: Tomate  
Ciclo vegetativo: 135 días  
Profundidad de raíces (Pr): 0.10 m etapa inicial  
0.80 m etapa final  
Fecha de siembra: 15 de diciembre  
Agotamiento permisible: 10%

##### Suelos:

Textura: Franco arenosa  
Capacidad de retención (Cr): 12 cm / m  
Profundidad: 1.80 m  
Agotamiento permisible (p): 10% Todo el ciclo

##### Clima:

Estación Meteorológica: San Miguel, El Papalón  
Elevación: 80 msnm  
Latitud: 13.45° N  
Longitud: 88.11° W

## 2 Criterios de espaciamiento de goteros

### Selección del gotero

Tipo:	Cinta de riego
Diámetro nominal	16 mm
Diámetro interno	16 mm
Marca:	PLASTRO
Salidas por gotero:	1
Caudal Nominal (qa)	0.5 lph
Caudal por metro	3.4 lph
Presión de operación (ha)	0.6 bar
Disposición de goteros:	Línea recta
Espaciamiento entre goteros sobre el lateral (Se) :	0.15 m
Espaciamiento entre laterales (Sl):	1.20 m
Espaciamiento entre plantas (Sp):	0.40 m

### 3 Cálculos

#### 3.1 Puntos de emisión por planta (Np)

$$Np = Sp/Se$$

$$Np = 0.40/0.15$$

$$Np = 2.67 \text{ goteros por cada planta}$$

#### 3.2 Porcentaje de área mojada (%) (Pw)

$$Pw = 90\% \text{ (criterio)}$$

#### 3.3 Lámina de reposición (dr)

$$dr = p/100 \times Pw/100 \times Cr \times Pr$$

$$dr = 10/100 \times 90/100 \times 12 \text{ cm/m} \times 0.90 \text{ m}$$

$$dr = 0.97 \text{ cms}$$

$$dr = 9.70 \text{ mm}$$

#### 3.4 Transpiración máxima promedio (Td):

$$Td = Etc \times [Pw/100 + 0.15 (1.0 - Pw/100)]$$

$$Td = 6 \text{ mm/día} \times [90/100 + 0.15 (1.0 - 90/100)]$$

$$Td = 6 \text{ mm/día} \times [0.9 + 0.15 (0.10)]$$

$$Td = 6 \text{ mm/día} \times 0.92$$

$$Td = 5.52 \text{ mm/día}$$

#### 3.5 Intervalo de Riego (máximo) (IR)

$$IR = dr/Td$$

$$IR = 9.70 \text{ mm}/5.52 \text{ mm/día}$$

$$IR = 1.8 \text{ días}$$

#### 3.6 Frecuencia de riego (f) (asumida)

$$f = 1.0 \text{ día}$$

#### 3.7 Lámina neta por riego (dn)

$$dn = Td \times f$$

$$dn = 5.52 \text{ mm/día} \times 1 \text{ días}$$

$$dn = 5.52 \text{ mm}$$

#### 3.8 Eficiencia de riego (Er) (asumida)

$$Er = 85 \%$$

#### 3.9 Lámina bruta de riego (db)

$$db = dn / Er/100$$

$$db = 5.52/85/100$$

$$db = 6.49 \text{ mm}$$

#### 3.10 Volumen de agua por planta (G)

$$G = (db/f) \times Sp \times Sl$$

$$G = (6.49 \text{ mm} / 1.0 \text{ día}) \times 0.40 \text{ m} \times 1.20 \text{ m}$$

$$G = 3.12 \text{ litros/planta/día}$$

#### 3.11 Tiempo de aplicación (Ta)

$$Ta = G / Np \times qa$$

$$Ta = 3.12 \text{ litros/planta/día} / 2.67 \times 0.5$$

$$Ta = 3.12 / 1.335$$

$$Ta = 2.34 \text{ horas}$$

## Diseño geométrico

### Disposición de las tuberías

Uno de los principales cuidados que deben tenerse en la operación de los sistemas de riego por goteo es mantener la uniformidad de la aplicación del agua. Contar con un alto grado de uniformidad es importante para obtener un crecimiento uniforme del cultivo.

En las tierras de ladera, este aspecto puede volverse crítico debido a que las diferencias de elevación entre los goteros a lo largo de la pendiente proporcionan diferentes valores de presión a los goteros y consecuentemente los caudales que descargan son diferentes, lo que conduce a obtener valores bajos de uniformidad.

Una de las medidas que hay que observar en el diseño e instalación de los sistemas de riego por goteo es la adecuada disposición de las tuberías en relación con la pendiente del terreno. Para reducir los efectos de la diferencia de presión a lo largo del lateral se recomienda que estos se dispongan siguiendo las curvas a nivel y las tuberías múltiples, en el sentido de la pendiente del terreno.

Los siguientes criterios tienen aplicación en el trazo y colocación de las diferentes tuberías de los sistemas de riego por goteo.

- a) La red de distribución del agua se traza cercana a los cursos de agua, caminos y contorno de la parcela.
- b) Buscar la mayor continuidad en el riego.
- c) El trazado geométrico de la red se ajusta a los límites del terreno, y el tendido de laterales sigue las curvas de nivel para compensar las pérdidas por rozamiento.
- d) Se divide la superficie de riego en paralelogramos.
- e) De presentarse pendientes muy fuertes, se utilizan reguladores de presión.
- f) Las tomas de riego se definen por las necesidades de la superficie que debe regarse.
- g) Los sistemas automatizados fijos requieren menos mano de obra.

El agua en su recorrido por la red va perdiendo presión debido al rozamiento, cambios bruscos de dirección, pasos por filtros, etc. A esta pérdida de presión se le conoce como pérdida de carga. Lógicamente cuando el recorrido del agua en la tubería sea ascendente se tendrá además pérdida de presión debido a la diferencia de posición entre la entrada y la salida, y caso contrario, hay ganancia de presión cuando el recorrido del agua es descendente.

**Figura 66. Disposición de las tuberías en terrenos inclinados**



En sistemas de riego por goteo para pequeñas áreas en tierras de ladera, los dispositivos de control son fundamentalmente la válvula central que controla la entrada de agua al sistema y se recomienda la utilización de miniválvulas colocadas a la entrada de cada lateral, con el objeto de regular la presión y caudal de entrada y mejorar la uniformidad de aplicación. En los casos de tener

fuerzas pendientes debe utilizarse reguladores de presión.

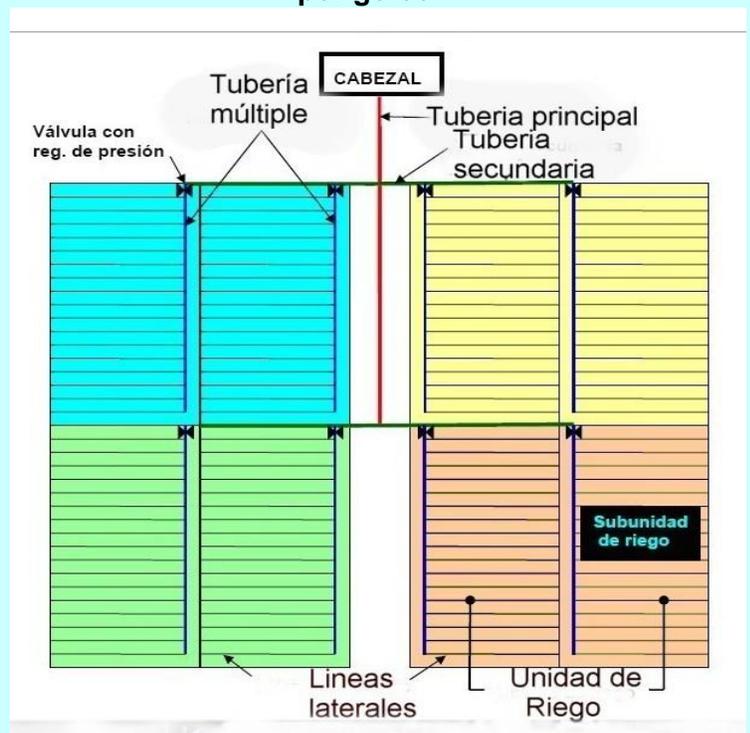
**Figura 67. Miniválvula de control de presión y caudal en la entrada de laterales de goteo**



**Figura 68. Regulador de presión**



**Figura 69. Disposición típica de tuberías, riego por goteo**



## Diseño hidráulico

El diseño hidráulico consiste en determinar las dimensiones de los diferentes componentes del sistema de tal manera que funcione adecuadamente con altos niveles de uniformidad. El dimensionamiento del sistema está determinado por las condiciones de operación previstas, en función de las características de la topografía, el suelo y el cultivo.

Para realizar un diseño adecuado es conveniente tomar en cuenta los criterios y consideraciones siguientes:

a) La longitud de las tuberías laterales está condicionada entre otros factores por la topografía del terreno.

b) En terrenos con pendientes muy elevadas, las tuberías laterales siguen las líneas de nivel y las tuberías múltiples siguen la pendiente, disponiendo de reguladores de presión en aquellos lugares donde se requiera.

c) Si la pendiente es muy pronunciada o irregular se debe utilizar goteros autocompensantes. Usando este tipo de emisores se puede ampliar las longitudes máximas de los laterales de riego.

d) Siempre que sea posible, tratar de suministrar el agua a la tubería múltiple en el punto mas alto para compensar las perdidas de carga con la pendiente.

e) Como consecuencia de las pérdidas de carga y de la pendiente del terreno, en cada una de las subunidades de riego se van a producir distintas pérdidas de carga. Por lo tanto, a la entrada de cada subunidad de riego, la presión de entrada debe ser tal que el emisor que esta situado en el punto mas desfavorable, reciba la presión suficiente para suministrar el caudal adecuado.

f) Para que la presión de entrada en cada subunidad sea similar y no varíe durante el riego, es preciso instalar un regulador de presión al principio de cada tubería múltiple.

g) A mayor diámetro de la tubería reducen las pérdidas de carga pero aumentan los costos del sistema.

h) El caudal del emisor condiciona la longitud de la tubería lateral, de tal forma que cuanto mayor sea el caudal del emisor, menor será la longitud del lateral.

i) La distancia entre emisores también condiciona la longitud del lateral, de tal manera que cuanto

más distanciados estén los emisores, mayor longitud podrá tener la tubería lateral.

j) La distancia entre emisores, el caudal que suministran y la distancia entre tuberías laterales, se determinan en función del tipo de suelo, forma y tamaño del bulbo de humedecimiento y marco de plantación o siembra, y no se debe modificar por criterios hidráulicos de ahorro de agua o comodidad.

k) La presión recomendada en los emisores de riego localizado está en torno a 10 m y entre 5 y 30 m. para los autocompensantes.

l) Para determinar la presión necesaria al principio de la instalación hay que considerar las pérdidas de cargas producidas por el propio cabezal de riego, ocasionadas por: la diferencia de presión máxima admitida que se produce en los distintos filtros antes de su limpieza (hidrociclón, filtros de malla y de anillos):

a. En caso de instalar un hidrociclón, hay que considerar que este elemento produce unas pérdidas de carga comprendidas entre 3 y 5 m, dependiendo del caudal a filtrar.

b. Las pérdidas de carga en los filtros de arena cuando están limpios no deben ser mayor de 3 m.

c. En cuanto a los filtros de mallas y anillas, las pérdidas de carga que provocan, oscilan entre 1 y 3 m.

m) A efectos de cálculo hidráulico se deben considerar las pérdidas de carga de filtros en situación de colmatación.

n) Las pérdidas de carga producidas por el equipo de fertirrigación (tanque fertilizante, venturis, inyector, etc).

o) Las pérdidas de carga que se producen en los distintos elementos de medida y control (válvulas, manómetros, etc).

p) Las pérdidas de carga producidas en las propias conducciones del cabezal de riego.

## Hidráulica de tuberías

### Generalidades

Las tuberías pueden estar construidas por varios materiales. Poseen un diámetro que es aquel que define una sección o área para que circule el agua. Según sea el diámetro será la sección que dispone el agua para recorrer la tubería. Una tubería de diámetro menor tendrá también una menor sección que una de mayor diámetro.

La relación que se utiliza para calcular el área disponible para que circule el agua por la tubería es la siguiente:

$$A = 0.785 D^2$$

Donde:

A = Área de la sección de la tubería (m<sup>2</sup>)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

A su vez la velocidad está en función del caudal y del diámetro. La ecuación que se utiliza para calcular el caudal que circula por una tubería es:

$$Q = A \times V$$

O sea la velocidad está dada por:

$$V = Q/A$$

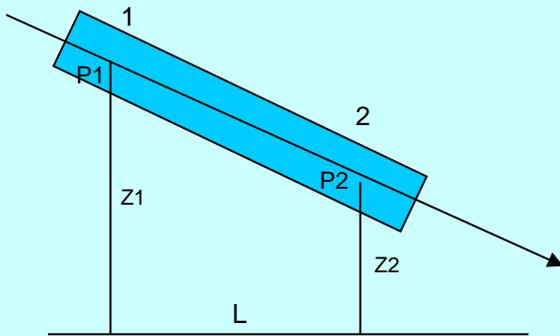
Donde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

V = Velocidad (m/s)

A = Sección o área (m<sup>2</sup>)

### Clases de energía



La energía total en un punto determinado de la corriente en una tubería, viene dada por la siguiente expresión:

$$E1 = P1/\gamma + V1^2/2g + Z1$$

Donde:

E1 = Energía total en el punto 1

P1/γ = Carga de presión

P1 = Presión en el punto 1

γ = Peso específico del agua

V<sup>2</sup>/2g = Carga de velocidad

V1 = Velocidad del agua en el punto 1

g = Aceleración de la gravedad = 9.81 m/seg<sup>2</sup>

Z1 = Carga de posición, cota del eje de la tubería en el punto 1

De acuerdo con el principio de conservación de la energía, la energía total en un punto 1 es igual a la

energía en el punto 2 y se relacionan de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E1 = E2$$

$$P1/\gamma + V1^2/2g + Z1 = P2/\gamma + V2^2/2g + Z2 + Hf$$

Donde:

Hf = Pérdidas por fricción entre el punto 1 y el punto 2

### Pérdida de carga en tuberías

Al circular el agua por una tubería, dado que lleva una cierta velocidad que es energía cinética, al rozar con las paredes de las tuberías pierde parte de la velocidad por la fricción que se produce entre el material líquido contra el sólido de las paredes, en tanto mayor es la velocidad mayor será el roce.

La pérdida por fricción se define como la pérdida de energía producto de la resistencia que la tubería opone al paso del agua. La fórmula general tiene la siguiente expresión:

$$Hf = J \times L$$

Donde:

Hf = Pérdida de energía o carga producto de la fricción (m)

J = Gradiente de pérdida de energía o pérdidas de carga por cada metro de tubería (m/m)

L = Longitud de la tubería (m)

Las pérdidas por carga en las diferentes tuberías de la red de riego pueden calcularse utilizando la ecuación de Hazen y Williams, la cual es una de las más utilizadas por su simplicidad y exactitud, se expresa de la siguiente forma:

$$Hf = 1.131 \times 10^9 \times (Q / C)^{1.852} \times (1 / D)^{4.87} \times L$$

Donde:

Q = Caudal en la tubería (m<sup>3</sup> / h )

C = Coeficiente de fricción que es función del material de la tubería (adimensional)

D = Diámetro interno de la tubería (mm)

L = Longitud de la tubería (m)

El valor del Coeficiente de fricción depende de la naturaleza y estado del material de la tubería, los valores comúnmente utilizados se presentan en el cuadro 24.

Cuadro 24: Valores de C

Material Tubería	C
Plástico	150
Asbesto - cemento	140
Aluminio (con a acoples)	130
Acero galvanizado	130
Acero nuevo	130

La presión en una tubería se suele expresar en metros de columna de agua (mca o m), las pérdidas de carga en m y el gradiente de pérdida de carga se expresa en m/100 m o m/m. La pérdida de carga es proporcional a la fricción por lo tanto depende de los siguientes factores:

- Diámetro interior, longitud y naturaleza del material de la tubería.
- La velocidad del agua, como la velocidad es proporcional al caudal de circulación, la pérdida de carga depende también del caudal.

Para el cálculo de las pérdidas de carga es necesario considerar dos situaciones:

- Pérdida de carga en tuberías con salida al final, o sin salidas ( $H_{fs}$ ), el caudal que sale de la tubería es el mismo que entra, este es el caso de las tuberías de conducción o secundarias en riego por goteo.
- Pérdidas de carga en tuberías con salidas múltiples, el caudal que entra al inicio de la tubería se reparte en salidas a lo largo de esta, es el caso de las tuberías múltiples o laterales en riego por goteo, en estas tuberías las salidas se encuentran equidistantes.

Las pérdidas de carga en tuberías con una salida se pueden calcular directamente con la aplicación de la ecuación de Hazen William. La pérdida de carga en tubería con salidas se calculan a partir de la aplicación de la ecuación de Hazen William y se afecta por un factor denominado factor de salidas o coeficiente de Christiansen ( $f$ ), el cual tiene un valor que depende del número de salidas y es menor que la unidad.

En el cuadro 25 se presentan los valores del coeficiente de Christiansen en función del número de salidas.

Cuadro 25: Coeficiente de Christiansen

No de salidas	f	No de salidas	f
1	1.000	18	0.379
2	0.639	19	0.377
3	0.535	20	0.376
4	0.486	22	0.374
5	0.457	24	0.372
6	0.435	26	0.370
7	0.425	28	0.369
8	0.415	30	0.368
9	0.409	35	0.365
10	0.402	40	0.364
11	0.397	50	0.361
12	0.394	60	0.359
13	0.391	80	0.357
14	0.387	100	0.356
15	0.384	150	0.354
16	0.382	300	0.353
17	0.380	>300	0.351

### **Pérdidas secundarias**

Las pérdidas secundarias son las que se producen en ensanchamientos, contracciones, cambios de dirección, entradas, salidas, válvulas y, demás accesorios de las tuberías. Estas pérdidas en algunos casos no son significativas y dependiendo de la cantidad y naturaleza de accesorios en la red pueden estimarse entre un 10% a un 25% del valor de las pérdidas primarias.

La fórmula general para el cálculo de las pérdidas secundarias es la siguiente:

$$H_{fs} = k \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$H_{fs}$  = Pérdida secundaria en metros de columna de agua

$K$  = Coeficiente de pérdida de carga

$V$  = Velocidad del agua en m/seg

$G$  = Aceleración de la gravedad = 9.81 m/seg<sup>2</sup>

### **Análisis de la subunidad**

En la figura 70 se presenta un esquema de la distribución de presión en una subunidad de riego por goteo, ubicada en un terreno a nivel con

diámetros de múltiples y laterales constantes, la definición de los términos de la figura son los siguientes:

- hm = Carga máxima en la subunidad
- hn = Carga mínima en la subunidad
- ha = Carga promedio en la subunidad
- qn = Caudal mínimo en la subunidad
- qa = Caudal promedio en la subunidad

### **Uniformidad de emisión de diseño**

La determinación de la uniformidad de emisión es importante en el diseño de sistemas de riego por goteo porque es uno de los componentes de la eficiencia de riego, otros componentes son las pérdidas que ocurren durante la operación del sistema. La uniformidad de la emisión depende de la variación de caudales que se presenta en la subunidad como consecuencia de la variación de presiones que se presentan debido a variaciones topográficas y pérdidas de carga en la red de riego.

La uniformidad de emisión se mide con el Coeficiente de Uniformidad (CU), el cual se puede calcular a partir de los datos de campo usando la siguiente ecuación:

$$CU = 100 \left( \frac{q_{25}}{q_a} \right)$$

Donde:

CU = Uniformidad de la emisión a partir de la prueba de campo.

$q_{25}$  = La media del caudal de descarga del 25% de los emisores con caudal más bajo.

$q_a$  = Caudal medio de todos los emisores.

En la fase de diseño no es posible contar con los datos de descarga de los goteros medidos en el campo, por lo que la variación que se espera de los caudales de emisión se debe estimar utilizando procedimientos analíticos, aunque es preciso hacer la consideración que no resulta posible incluir en una sola expresión matemática todos los factores que influyen en la uniformidad como presencia de obstrucciones totales o parciales, cambios en la temperatura del agua, envejecimiento de los goteros, etc.

No obstante lo anterior, se puede obtener información acerca de la relación presión - caudal y de la variación de fabricación del gotero, estos

datos suelen ser proporcionados por el fabricante, también a través de mediciones de campo o estudios de planos con gran precisión, se puede obtener información topográfica del terreno y el análisis de la red de tuberías propuesta, con la que se puede determinar la variación de presión esperada.

La determinación del CU en base a datos de campo se detalla en el capítulo IX.

Los conceptos básicos y fórmula usadas para uniformidad de emisión fueron propuestos inicialmente por Keller y Karmeli. La base de estas fórmulas es la relación entre el caudal de emisión más bajo y el caudal promedio en la subunidad.

Para estimar el CU en la fase de diseño, se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$CU = 100 \left( 1 - 1.27 \frac{v}{\sqrt{N_p}} \frac{q_n}{q_a} \right)$$

Donde:

CU = Uniformidad de emisión de diseño %

$v$  = Coeficiente de variación de fabricación del gotero provisto por el fabricante o calculado.

$N_p$  = Número de goteros por planta

$q_n$  = Caudal de emisión computado a partir de la presión mínima en el sistema

$q_a$  = Caudal de diseño promedio

La relación entre  $q_n$  y  $q_a$  expresa la relación entre caudales de emisión promedio y mínimo que resulta de las variaciones de presión dentro de la subunidad.

### **Variación de carga permisible ( $\Delta H_s$ )**

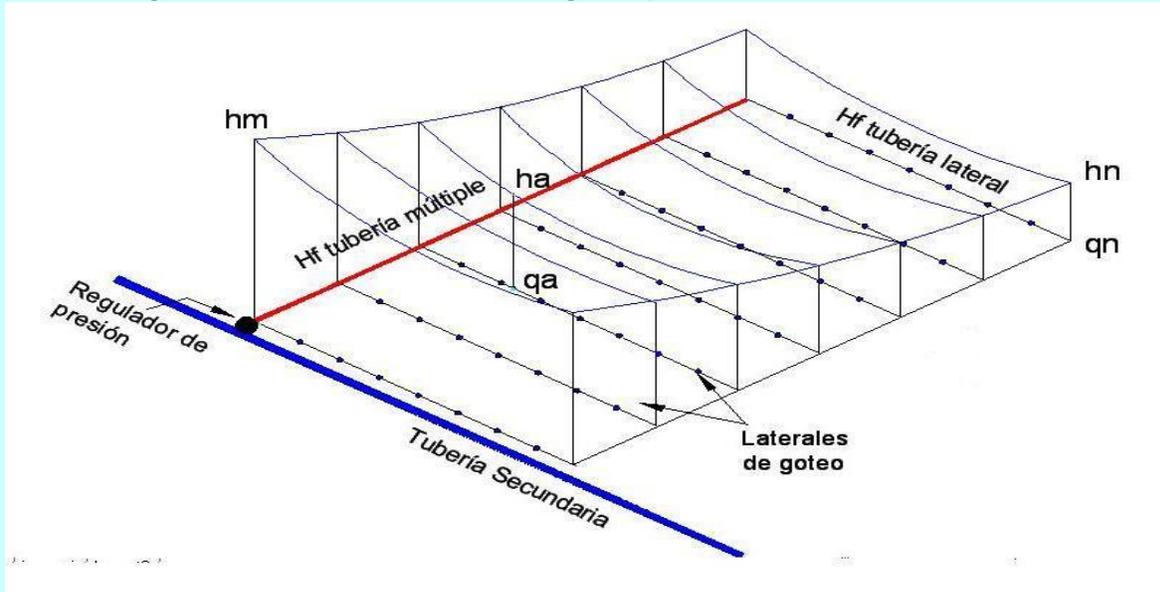
La variación de la carga permisible es la máxima variación de presiones permisible dentro de una subunidad de riego, para que los emisores se encuentren trabajando con una uniformidad igual a la uniformidad de diseño seleccionada. Y viene definida por la siguiente ecuación:

$$\Delta h_s = 2.5 (h_a - h_n)$$

Donde:

$\Delta h_s$  = Variación de la carga permisible en la subunidad

Figura 70. Distribución de la carga de presión en una subunidad



Ejemplo de cálculo:

Datos:

Ecuación del gotero:  $q = 0.5833h^{0.5351}$

Cu = 90 % (criterio de diseño)

v = 0.05

Np = 2.67

qa = 2.0 lph

Determinar qn

$$CU = 100 \left( 1 - 1.27 \frac{v}{\sqrt{N_p}} \frac{q_n}{q_a} \right) \text{-----}$$

$$90 = 100 \left( 1 - 1.27 \frac{0.05}{\sqrt{2.67}} \frac{q_n}{2.0} \right) \text{-----}$$

qn = 1.87 lph

Calcular hn

$$1.87 = 0.5833h_n^{0.5351}$$

$$1.87 / 0.5833 = h_n^{0.5351}$$

$$3.21 = h_n^{0.5351}$$

$$h_n = 8.84 \text{ m}$$

Cálculo de qn

$$q_n = 0.5833 (8.84)^{0.5351}$$

$$q_n = 1.87 \text{ lph}$$

$$CU = 100 \left( 1 - 1.27 \frac{0.05}{\sqrt{2.67}} \frac{1.87}{2.0} \right) \text{-----}$$

CU = 90 %

Calcular Δhs

$$\Delta h_s = 2.5 (10.0 - 8.84)$$

$$\Delta h_s = 2.5 \times 1.16$$

$$\Delta h_s = 2.90 \text{ m}$$

La selección del CU ideal requiere de un análisis de los siguientes cuatro aspectos: a) Costo de los sistemas para distintos valores de CU; b) Costos del agua y costos relacionados con el agua; c) Sensibilidad del rendimiento y calidad del cultivo a un riego no uniforme y d) Valores de mercado del cultivo. Un análisis económico de estos aspectos permite determinar el CU óptimo en una situación específica. No obstante, generalmente no existen suficientes datos para este análisis. Para propósitos de diseño, los rangos recomendados de valores de CU a ser utilizados son los siguientes:

Para goteros en cultivos permanentes con espaciamiento amplio:

Topografía uniforme: 90 < CU < 94

Topografía irregular u ondulada: 88 < CU < 92

Para goteros en cultivos permanentes:

Topografía uniforme: 86 < CU < 90

Topografía irregular u ondulada: 84 < CU < 90

## Tuberías laterales

### Características de los laterales

Las características de los laterales como la disposición en el terreno, la longitud, el caudal, diámetro y pérdidas totales son de mucha importancia en el riego por goteo.

### Disposición

Cuando los laterales se colocan en terrenos con pendientes menores a 3%, generalmente resulta más económico disponer los laterales a ambos lados de cada múltiple; en esta disposición los laterales se denominan par de laterales. El lateral se debe colocar de tal forma que a partir de una conexión común con el múltiple, las presiones mínimas en el par de laterales sean iguales (a cada lado del múltiple). En consecuencia sobre terrenos a nivel el par de laterales debe tener igual longitud. Cuando los laterales se extienden solos a partir de un múltiple se conocen como laterales simples, de longitud (l).

### Longitud

La longitud de las tuberías laterales está condicionada entre otros factores, por la topografía del terreno, siendo menor la longitud del lateral cuando la pendiente es ascendente pudiéndose aumentar a medida que la pendiente es menor y se hace descendente. Evidentemente, al variar los datos técnicos (diámetro de la tubería, caudales y presiones) las longitudes máximas de los laterales serán distintas.

En aquellos terrenos que presentan una pendiente muy elevada, se aconseja seguir la norma de instalar laterales siguiendo aproximadamente las curvas de nivel, y las tuberías múltiples siguiendo la pendiente, disponiendo reguladores de presión en aquellos lugares donde se requieran. En caso de que la pendiente sea muy acusada o irregular, habrá que recurrir a utilizar goteros autocompensantes, con el objeto de mantener constantes la presión de trabajo del emisor y el caudal suministrado. Así, usando emisores autocompensantes e independientemente de la longitud del terreno, se pueden ampliar las longitudes máximas de los laterales de riego.

Siempre que sea posible, a la tubería múltiple debe suministrarse el agua en su punto más alto, de forma que las pérdidas de carga se vean compensadas por la pendiente.

Debido a las pérdidas de carga y a la pendiente del terreno, en cada una de las subunidades de riego se producirán diferencias de presión entre los distintos emisores de las tuberías laterales. Por lo tanto, la presión de entrada en la subunidad de riego debe ser tal que el emisor que está sometido a menor presión reciba la suficiente para suministrar el caudal adecuado. Para que la presión de entrada en cada subunidad sea similar y no varíe durante el riego, es preciso instalar un regulador de presión al principio de cada múltiple.

Otros factores que hacen variar la longitud del lateral de riego es su diámetro, que por lo general se acostumbra utilizar de 16 y de 20 mm. A mayor diámetro se reducen las pérdidas de carga, por lo tanto se podría aumentar la longitud de los laterales, pero el costo de la instalación se eleva.

El caudal del emisor también condiciona la longitud del lateral, cuanto mayor sea el caudal del emisor, menor será la longitud del lateral.

La distancia entre emisores también condiciona la longitud del lateral, de tal manera que cuanto más distanciados estén los emisores, mayor longitud podrá tener la tubería lateral.

A manera de ilustrar sobre el efecto de los diferentes factores sobre la longitud del lateral, se incluye en la figura 71 una tabla (parcial) que muestra la longitud máxima de un lateral en función de las características técnicas de una tubería lateral comercial, que debe ser proporcionada por el fabricante para un buen diseño de la instalación.

**Figura 71. Influencia de las características técnicas en la longitud de los laterales**

Emitter Type: Tuffit (Brown) – 2 lph							
Maximum Recommended Dripline Length (m)							
Emitter Spacing (m)	Slope (%)	Pipe Diameter (mm)					
		16/13.6		17.8/15.2		20/17.4	
		7.5%	10%	7.5%	10%	7.5%	10%
0.2	-2	35	41	41	48	47	57
	-1	40	46	47	54	58	66
	0	45	50	55	61	69	77
	1	49	54	61	67	78	86
	2	53	58	66	72	86	94
0.3	-2	43	50	48	57	55	66
	-1	50	57	59	68	71	82
	0	58	65	71	79	89	100
	1	65	72	80	89	104	115
	2	71	77	88	96	116	126
0.4	-2	48	57	54	64	60	73
	-1	58	67	68	78	80	94
	0	70	78	85	95	107	120
	1	80	88	98	108	128	141
	2	87	95	110	119	145	157
0.5	-2	52	63	58	70	63	79
	-1	65	76	75	88	89	105
	0	81	90	98	110	123	138
	1	93	103	116	127	151	165
	2	103	112	130	141	172	186

### **Caudal del lateral (ql)**

El caudal del lateral puede computarse con la siguiente fórmula:

$$q_l = \frac{l}{S_e} \times q_a = n_e \times q_a$$

Donde:

ql = Caudal del lateral (lph)

l = longitud del lateral (m)

Se = Espaciamiento de goteros sobre el lateral (m)

qa = Caudal promedio del gotero (lph)

ne = Número de goteros a lo largo del lateral

### **Presión de entrada**

La presión promedio del gotero (ha), es la carga que va a producir el caudal promedio o caudal nominal de diseño (qa). La localización general del gotero que va a descargar el caudal promedio se encuentra entre  $x/l = 0.60$  a  $0.62$ , donde x es la distancia medida a partir del extremo cerrado del lateral, expresado en m y l es la longitud total del lateral, también en m.

La presión de entrada y final para un lateral simple de diámetro constante, colocado sobre pendiente uniforme se pueden determinar mediante las siguientes fórmulas:

$$h_l = h_a + 0.73 H_{fl} + 0.5 H_{el} \quad y$$

$$h_c = h_a - (0.27 H_{fl} + 0.5 H_{el})$$

Donde:

hl = Presión de entrada al lateral (m)

hc = Presión en el extremo cerrado del lateral (m)

Hfl = Pérdida por fricción en el lateral (m)

Hel = Presión equivalente a la diferencia de elevación a lo largo del lateral, (-) para laterales a favor de la pendiente y (+) para laterales en contra pendiente (m).

### **Diferencia de presión ( $\Delta h_l$ )**

La diferencia de presión en el lateral es importante para conocer el valor del CU de la subunidad. El valor de  $\Delta h_l$  debe ser igual a  $0.5 \Delta h_s$  o menor.

### **Tuberías múltiples**

#### **Características de las múltiples**

Las características de las tuberías múltiples como la disposición en el terreno, la longitud, el caudal,

diámetro y pérdidas totales son de mucha importancia en el riego por goteo.

### **Disposición**

En campos donde la pendiente promedio en la dirección de los múltiples es menor del 3%, generalmente resulta mas económico instalar múltiples a ambos lados de la entrada de agua, en esta disposición los múltiples se denominan par de múltiples.

El múltiple se debe colocar de tal forma que a partir de una conexión común, las presiones mínimas en el par de múltiples sean iguales (a cada lado de la entrada de agua). En consecuencia sobre terrenos a nivel el par de múltiples debe tener igual longitud (Lm).

Otra disposición considera la entrada del agua en el extremo superior del múltiple, en este caso se trata de un múltiple simple.

Cuando los múltiples se extienden en dirección de la pendiente, transversales a las hileras de los cultivos, la entrada de agua al múltiple se debe colocar arriba del centro, con el objeto de acortar el múltiple de arriba y alargar el múltiple de abajo, de tal manera que la combinación de pérdidas por fricción y diferencias de elevación se compensen.

### **Longitud**

La longitud de un par de múltiples es igual a:

$$L_p = [(nr) p - 1] S_r$$

Donde:

Lp = Longitud de un par de múltiples (m)

(nr) p = Número de espaciamentos entre hileras (o laterales) servidos a partir de un punto de entrada común.

Sr = Espaciamiento entre hileras (m).

La longitud de un múltiple simple es igual a:

$$L_m = (nr - \frac{1}{2}) S_r$$

Donde:

Lm = Longitud de un múltiple simple (m)

nr = Número de espaciamentos entre hileras (o laterales) servidos a partir de un múltiple.

### **Posición de la entrada**

Para un diseño hidráulico óptimo, la entrada a los pares de múltiples se debe ubicar de tal forma que la presión mínima del múltiple en contra de la pendiente debe ser igual a la presión mínima del múltiple a favor de la pendiente. No obstante, la ubicación de los múltiples y las entradas a los múltiples está definida por los límites del terreno, caminos, características topográficas. Asimismo la entrada se deben ubicar de tal forma de balancear los caudales del sistema.

En el caso de los múltiples simples, la entrada ocupa una posición fija.

### **Caudal del múltiple (qm)**

$$q_m = n_l \times q_l$$

Donde:

$n_l$  = número de laterales alimentados por el múltiple

### **Presión de entrada al múltiple**

Como regla general los puntos de control de presión se encuentran a la entrada de los múltiples. En consecuencia, se debe conocer las presiones de entrada al múltiple para un manejo apropiado del sistema y para determinar las cargas dinámica total del sistema.

La presión de entrada al múltiple para subunidades con laterales de un solo tamaño, se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$H_m = h_c + 0.73 H_{fm} + 0.5 H_{em}$$

Donde:

$H_m$  = Presión de entrada al múltiple (m)

$h_c$  = Presión en el extremo cerrado del lateral (m)

$H_{fm}$  = Pérdida por fricción en el múltiple (m)

$H_{em}$  = Presión equivalente a la diferencia de elevación a lo largo del múltiple, (-) para múltiples a favor de la pendiente y (+) para múltiples en contra pendiente (m).

### **Diseño de la subunidad**

El diseño de la subunidad de riego por goteo consiste en el dimensionamiento de las longitudes y diámetros de las tuberías múltiples y laterales, así como los caudales de estas tuberías, manteniendo un régimen de presiones en la subunidad.

### **Condición de diseño:**

$$H_{tl} + H_{tm} < \Delta h_s$$

Donde:

$H_{tl}$  = Pérdidas de carga totales en el lateral

$H_{tm}$  = Pérdidas de carga totales en el múltiple

y:

$$H_{tl} = H_{fl} + H_{el}$$

$$H_{tm} = H_{fm} + H_{em}$$

De donde:

$$H_{fl} + H_{el} + H_{fm} + H_{em} < \Delta H_s$$

### **Cálculo de tuberías**

#### **Selección del diámetro de la tubería**

Tanto para sistemas con tuberías de PVC, PEBD o PEMD, se deberán cumplir los siguientes criterios de diseño, siendo imprescindible el tercero y aconsejables los restantes:

- Que la velocidad del agua sea no mayor que 2.5 m/seg, salvo excepciones.
- La velocidad mínima recomendable es de 0.6 m/seg, velocidades inferiores dan oportunidad a la sedimentación.
- Norma fundamental del riego: que la pérdida de carga en el lateral debido a la fricción mas el desnivel existente entre el primero y último gotero de dicho lateral no debe superar el 50 % de la pérdida de carga permisible en la subunidad.
- La pérdida permisible en el múltiple se estima en el 5% de la presión de trabajo del gotero, o la diferencia entre el valor de  $\Delta H_s$  y las pérdidas por fricción en el lateral.

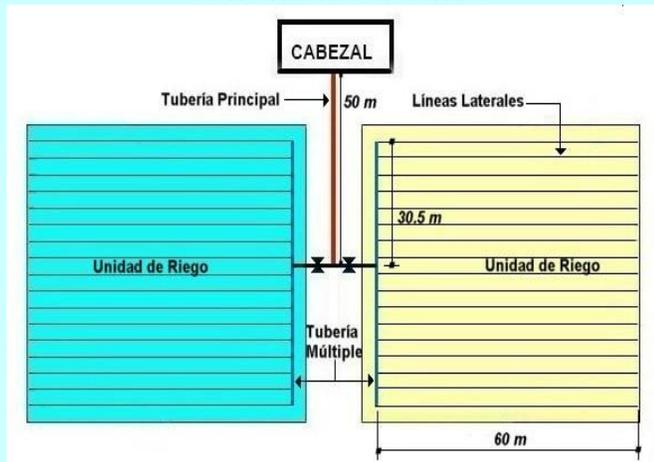
De acuerdo a los criterios anteriores se pueden utilizar las siguientes relaciones para el cálculo de las tuberías de riego por goteo.

Ejemplo basado en el esquema mostrado en la figura 72.

#### **Diámetro de laterales**

Criterio: Las pérdidas de carga totales en el lateral ( $H_{tl}$ ) no deben ser mayores que el 50% de la pérdida de carga permisible en la subunidad.

**Figura 72. Disposición de tuberías con múltiple con entrada al centro**



Proceso de cálculo

- Número de goteros a lo largo del lateral (ne)

$$ne = LI/se$$

Donde:

LI = Longitud del lateral

Se = espaciamiento entre goteros

Ejm:

Lateral de 60.0 m y espaciamiento entre goteros de 0.40 m

$$ne = 60 / 0.40$$

$$ne = 150 \text{ goteros}$$

- Caudal del lateral (ql)

$$ql = ne \times qa$$

Ejm:

$$qa = 2.0 \text{ lph}$$

$$ql = 150 \times 2.0 \text{ lph}$$

$$ql = 300 \text{ lph}$$

$$ql = 0.30 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Pérdida de carga admisible el lateral (Htal):

Criterio: Htal No mayor que 50% Δhs

Ejm:

$$\text{Ecuación del gotero: } q = 0.5833h^{0.5351}$$

$$Cu = 90\%$$

$$v = 0.05$$

$$Np = 2.67$$

$$qa = 2.0 \text{ lph}$$

Determinar qn

$$CU = 100 \left( 1 - 1.27 \frac{v}{\sqrt{Np}} \frac{qn}{qa} \right) \dots$$

$$90 = 100 \left( 1 - 1.27 \frac{0.05}{\sqrt{2.67}} \frac{qn}{2.0} \right) \dots$$

$$qn = 1.87 \text{ lph}$$

Calcular hn

$$1.87 = 0.5833hn^{0.5351}$$

$$1.87 / 0.5833 = hn^{0.5351}$$

$$3.21 = hn^{0.5351}$$

$$hn = 8.84 \text{ m}$$

$$\Delta hs = 2.5 (10.0 - 8.84)$$

$$\Delta hs = 2.5 \times 1.16$$

$$\Delta hs = 2.90 \text{ m}$$

Luego:

$$Htal = 1.45 \text{ m,}$$

- Pérdidas por fricción admisible en el lateral (Hfal)

Considerando Hel = 0.50 m

$$Hfal = 1.45 - 0.50$$

$$Hfal = 0.95 \text{ m}$$

Y el gradiente de pérdida de carga por fricción admisible (Jal) es:

$$Jal = 0.95/60$$

$$= 0.016 \text{ m/m}$$

El Hfal calculado se refiere a una tubería con salidas múltiples; sin embargo, la ecuación de Hazen William proporciona las pérdidas en tubería con una salida; para llevarlo a esta condición hay que ajustar el valor obtenido aplicando el coeficiente de Christiansen.

$$Hfal = 0.95 \text{ m} / f$$

$$Hfal = 0.95 \text{ m} / 0.354 \text{ (150 salidas } f=0.354, \text{ cuadro 25)}$$

$$Hfal = 2.68 \text{ m}$$

- Selección del diámetro del lateral (DI)

Dado que las pérdidas se calculan con la ecuación de Hazen William, se despeja el diámetro de la misma ecuación.

$$DI = \frac{1}{\left[ \frac{H_{fal}}{1.131 \times 10^9 (Q/C)^{1.852} \times L} \right]^{1/4.87}}$$

$$DI = \frac{1}{\left[ \frac{2.68}{1.131 \times 10^9 (0.30/150)^{1.852} \times 60.0} \right]^{1/4.87}}$$

DI = 12.89 mm

Comprobación: Determinando Hfal en un lateral de 12.89 mm

Hfl = 1.131x10<sup>9</sup>x(0.30/150)<sup>1.852</sup> x (1/12.89)<sup>4.87</sup> x 60  
Hfl = 2.68 m

El diámetro obtenido es un valor indicativo, para seleccionar el diámetro a utilizar, es necesario referirse a los diámetros disponibles en el mercado, para el presente ejemplo es recomendable usar un lateral con diámetro de 16 mm.

Calculando para este nuevo diámetro las Hf se tiene:

Hf lateral de 16 mm  
= 0.93 (sin salidas),  
= 0.33 m con salidas

Htl = 0.33 m + 0.5  
Htl = 0.83 m

= 28.6 % Δhs y 28.6 % < 50% Δhs cumple.

**Diseño tubería múltiple**

El múltiple es una tubería con múltiples salidas, que normalmente es de PVC o polietileno.

Proceso de cálculo

- Caudal del múltiple (qm)

qm = nl x ql

Donde:

nl = número de laterales alimentados por el múltiple

Ejm: Múltiple de 30.50 m de longitud de diseño con laterales espaciados cada 1.0 m

qm = Lm/So x ql  
qm = 30.50 m/1.0m x 300 lph  
qm = 9150 lph  
qm = 9.15 m<sup>3</sup>/h

- Pérdida totales admisibles en el múltiple (Htam):

Criterio: Criterio: Htm = (50% Δhs) - Htl

Htam = 2.90 m – 0.83 m  
Htam = 2.07 m

- Pérdidas por fricción admisible en el múltiple (Hfam)

Considerando Hem = 0.50 m

Hfam = 2.07 – 0.50  
Hfam = 1.57 m

Y el gradiente de pérdida de carga por fricción admisible (Jal) es:

Jal = 1.57m/30.5m  
= 0.051 m/m

El valor de Hfam calculado, se refiere a una tubería con salidas múltiples; sin embargo, la ecuación de Hazen William proporciona los datos de pérdida de carga en tubería con una salida, para llevarlo a esta condición hay que ajustar el valor obtenido aplicando el coeficiente de Christiansen.

Hfam = 1.57 m / f  
Hfam = 1.57m / 0.368 (30 f=0.368, cuadro 25)  
Hfam = 4.27 m

- Selección del diámetro del múltiple (Dm)

Dado que las pérdidas se calculan con la ecuación de Hazen William, se despeja el diámetro de la misma ecuación.

$$D_m = \frac{1}{\left[ \frac{H_{fam}}{1.131 \times 10^9 (Q/C)^{1.852} \times L} \right]^{1/4.87}}$$

$$D_m = \frac{1}{\left[ \frac{4.27}{1.131 \times 10^9 (9.15/150)^{1.852} \times 30.5} \right]^{1/4.87}}$$

$$D_m = 37.37 \text{ mm}$$

La velocidad obtenida con este diámetro es de 2.32 m/seg.

Comprobación: Determinando las H<sub>fam</sub> en un múltiple de 37.37 mm

$$H_{fm} = 1.131 \times 10^9 \times (9.15/150)^{1.852} \times (1/37.37)^{4.87} \times 30.5$$

$$H_{fm} = 4.27 \text{ m}$$

El diámetro obtenido es indicativo; para seleccionar el diámetro a utilizar hay que consultar los diámetros disponibles en el mercado. Para el presente ejemplo se ha seleccionado un tubo de PVC de 11/4" de diámetro nominal equivalente a 38.90 mm de diámetro interno (SDR 26). Como puede observarse el diámetro seleccionado es un poco mayor que el calculado; eso no se lleva a tener menores pérdidas.

Calculando para este nuevo diámetro las H<sub>f</sub> se tiene:

H<sub>f</sub> múltiple de 38.90 mm

$$= 3.51 \text{ m (sin salidas)}$$

$$= 1.29 \text{ m (con salidas)}$$

La velocidad del agua es de 2.14 m/s

Luego:

$$H_{tm} = 1.29 \text{ m} + 0.5 \text{ m}$$

$$H_{tm} = 1.79 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la subunidad

$$H_{tl} + H_{tm}$$

$$= 0.83 \text{ m} + 1.79 \text{ m}$$

$$= 2.62 \text{ m}$$

$$2.62 \text{ m} < 2.90 \text{ m} \quad \text{Cumple}$$

### Diámetro del principal (D<sub>p</sub>)

Criterio: Velocidad del agua no mayor de 2.0 m/seg

- Cálculo del caudal de la tubería principal (q<sub>p</sub>)

$$q_p = A \times 2.0 \text{ m/seg}$$

Donde:

q<sub>p</sub> = Caudal del principal (m<sup>3</sup>/seg)

A = Área de la sección de la tubería (m<sup>2</sup>)

$$= 0.785 \times D_p^2$$

$$A = q_p / 2.0 \text{ m/seg}$$

$$0.785 \times D_p^2 = \frac{q_p}{2.0 \text{ m/seg}}$$

$$D_p = \sqrt{\frac{q_p}{2.0 \text{ m/seg} \times 0.785}}$$

q<sub>p</sub> = q<sub>m</sub> x No de múltiples operando simultáneamente, para el caso del ejemplo el principal alimenta dos múltiples simples.

$$q_p = 2 \times q_m$$

$$q_p = 2 \times 0.0025 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$q_p = 0.005 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$D_p = \sqrt{\frac{0.005}{2.0 \text{ m/seg} \times 0.785}}$$

$$D_p = 0.056 \text{ m}$$

$$D_p = 56 \text{ mm}$$

El diámetro obtenido es indicativo, para seleccionar el diámetro a utilizar hay que consultar los diámetros disponibles en el mercado, para el presente ejemplo se recomienda utilizar un tubo de PVC de 2" de diámetro nominal equivalente a 57.39 mm de diámetro interno (SDR 41). Como puede observarse el diámetro seleccionado es un poco mayor que el calculado; eso nos lleva a tener menores pérdidas.

Velocidad: 1.93 m/seg

1.93 m/seg < 2.0 m/seg Cumple

## VII Mantenimiento de sistemas de riego por goteo

### Generalidades

El correcto y continuo mantenimiento de las instalaciones de riego por goteo, asegurará su confiable operación por varios años.

En general, un programa de mantenimiento incluye como medidas preventivas las siguientes: limpiar los filtros, lavar las líneas, agregar cloro e inyectar ácidos al sistema. La observación de estas medidas preventivas, puede evitar la necesidad de hacer reparaciones mayores, como reemplazar las partes dañadas y se puede extender la vida del sistema. El propósito del mantenimiento preventivo es evitar que los emisores se tapen, ya que los sólidos suspendidos, la precipitación de magnesio y calcio, los óxidos y el sulfuro de manganeso-hierro, las algas, las bacterias y las raíces de las plantas pueden tapar los emisores.

Es importante asegurarse que el sistema tenga un medidor de caudal y un par de medidores de presión (manómetros), se recomienda colocar un manómetro antes de los filtros y otro después de los filtros. También es importante conocer las características del agua para que se pueda anticipar problemas.

### Medidas generales de mantenimiento

#### Control visual

Este control se realiza de acuerdo con la experiencia del encargado del sistema. Por lo general, en cada ciclo de riego se examina una parte del sistema, de manera tal que al final de cada semana se haya revisado todo el equipo.

Cuando el sistema está recién instalado, el control se hace con mucha frecuencia y a medida que el operario adquiere experiencia, la frecuencia se reduce.

#### Comprobación de los laterales de riego a lo largo de los múltiples

Se debe comprobar la salida del agua por los primeros goteros de cada línea, lo que indica que el agua penetra en todos los laterales. Si se detecta una avería, es necesario examinar el segmento entre el primer gotero y el múltiple.

#### Comprobación de los finales de línea

Comprobar la llegada del agua a todos los finales de línea, lo que indica que no hay líneas cortadas ni estranguladas. Si se detecta una avería es necesario revisar en todo lo largo del lateral para encontrarla y repararla.

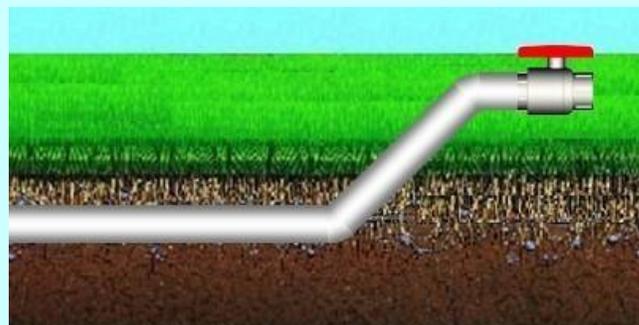
#### Lavado de la red de tuberías

Es necesario lavar la tubería de distribución. Este punto debe ser tenido en cuenta en el momento de preparar el diseño hidráulico, para poder preparar la tubería y facilitar el lavado, dejando válvulas de purga o lavado en los extremos. Si se trabaja con aguas muy sucias y con un alto contenido de sólidos en suspensión, el lavado debe realizarse varias veces durante la temporada.

Las tuberías múltiples se lavan antes de conectarlas con los laterales de goteo, abriendo los finales de tubería y dejando correr el agua sin regular la presión, o sea a la presión más alta que el equipo permita (no más que la tolerable, para no dañarlo).

Para conseguir una mayor presión, se sugiere lavar los tubos por secciones y no todo el equipo al mismo tiempo. Inmediatamente después del lavado, se cierran los finales de las tuberías y se conectan los laterales.

Figura 73. Válvula de lavado de tuberías



Los laterales de goteo se lavan con la misma frecuencia que la tubería múltiple. Después de haberlos conectado con los múltiples y con los extremos finales abiertos, se deja correr el agua con la máxima presión posible (sin dañar la tubería). El agua debe fluir por los finales abiertos durante unos minutos, hasta que salga limpia y sin impurezas. Luego se comienza a cerrar los laterales, sin interrumpir el flujo del agua, para impedir la entrada de impurezas. Si es necesario,

según el tipo de agua que se utilice, se repite el lavado durante la temporada tantas veces como se requiera. Si el equipo de goteo está enterrado, hay que prever en la etapa del diseño las operaciones de lavado que se requiera realizar durante su vida útil.

Un modo muy utilizado para simplificar el lavado de laterales cuando estos están enterrados es el establecimiento de colectores de drenaje reuniendo todos los finales de laterales en el lado opuesto. Aun cuando el equipo riegue una plantación de frutales u otro cultivo plurianual, en los que no se requiere quitar los tubos cada temporada, también deberá procederse al lavado de las tuberías.

Las partículas muy finas pasan por los filtros y pueden tapar los emisores. Mientras que la velocidad del agua sea alta y haya turbulencia en el agua, estas partículas permanecerán suspendidas. Si la velocidad del agua se vuelve más lenta o si hay menos turbulencia en el agua, estas partículas se sedimentarán. Esto normalmente ocurre en las puntas distantes de las líneas laterales. Si estas no se lavan, los emisores se tapan y la línea eventualmente se llenará con sedimento empezando desde la punta final hacia adentro. Los sistemas deben ser diseñados para que las líneas principales, los múltiples y las líneas laterales puedan ser lavadas.

**Figura 74. Lavado de líneas laterales**



## **Mantenimiento de los filtros**

El filtro es importante para el éxito del sistema. El agua debe ser filtrada para remover los sólidos suspendidos. Como se ha descrito en el apartado correspondiente, hay tres tipos principales de filtros: filtros hidrociclón (separadores centrífugos); filtros de arena, y filtros de malla y disco. Una práctica común es instalar una combinación de filtros para que estos funcionen efectivamente.

### **Mantenimiento de filtros hidrociclón**

Estos filtros requieren poco mantenimiento, pero requieren lavados frecuentes. La cantidad de sedimento que entra al filtro, la cantidad de agua usada y la capacidad de recolección del depósito determinarán con qué frecuencia y por cuánto tiempo tienen que operarse las válvulas de lavado.

El sedimento recolectado en el filtro se puede eliminar en forma manual o automáticamente. En el primer caso, se debe abrir y cerrar la válvula del fondo del filtro a intervalos regulares. Una válvula electrónica programada por un controlador puede abrir el filtro automáticamente. La operación de la válvula automática se debe revisar por lo menos cada dos días durante la temporada de riego.

### **Mantenimiento de filtros de malla y disco**

Los filtros pequeños de malla usan un colador o una bolsa de nylon, la cual se debe quitar e inspeccionar en forma periódica para determinar si no hay perforaciones (roturas) pequeñas. Las válvulas de lavado controlan el retroflujo de los filtros de malla y se puede operar manual o automáticamente.

Se recomienda lavar los filtros cuando la presión entre los dos manómetros baje de 5 PSI. Los filtros automáticos usan un aparato llamado "interruptor de diferencial de presión" para detectar una reducción de presión entre los filtros. Otros sistemas utilizan un cronómetro, que usualmente se fija por el operador.

El lavado se puede sincronizar según la hora de riego y la calidad del agua. El tiempo entre lavados se puede ajustar para tomar en cuenta las diferencias de presiones entre los filtros. Los aparatos automáticos de lavado se deben inspeccionar por lo menos cada dos días en los sistemas grandes.

**Figura 75. Lavado del filtro de anillos**



### **Mantenimiento de filtros de arena**

En estos filtros la tarea más importante es ajustar la válvula que restringe el retroflujo. Si el nivel de retroflujo es demasiado alto, la arena del filtro se lavará completamente. Si es demasiado bajo, las partículas contaminantes nunca se lavarán del filtro.

El operador debe ajustar el flujo más adecuado de retrolavado. El crecimiento bacteriano y la química del agua pueden causar que la arena se cimente, la cementación de los filtros de materia arenosa puede causar canales en la arena, los cuales pueden permitir que agua contaminada pase hacia el sistema de riego, reduciendo la eficiencia del filtrado. La mejor manera de corregir el problema es por medio de la cloración.

### **Obturaciones**

La obturación de los elementos de un sistema de riego localizado es el principal y más delicado problema que se presenta en este tipo de instalaciones, ya que su solución no es nada fácil. Cuando se producen obturaciones, el caudal de los emisores disminuirá en función del grado de obturación, por lo que las necesidades de agua del cultivo pueden quedar en algunos casos sin cubrir. Además, el grado de obturación no afectará de forma homogénea a todos los emisores del sistema. Lo que originará diferencias en los caudales emitidos, esta variación de caudales producirá una disminución de la uniformidad y eficiencia de riego, que afectará de forma negativa el desarrollo homogéneo de todo el cultivo y con ello su rendimiento.

La mejor lucha contra la obturación de los componentes de un sistema es la prevención, ya que normalmente se detecta cuando el grado de obturación es bastante avanzado. En estos casos una limpieza de emisores y conducciones puede resultar muy cara y a veces el daño en el cultivo puede ser irreversible.

La sensibilidad de los emisores a las obturaciones es muy importante para su selección y prevención de futuras obturaciones. El riesgo de obstrucción de un emisor depende de factores tales como el diámetro mínimo de paso, la velocidad del agua y el propio diseño del emisor, entre otros. Además la aplicación de fertilizantes con el agua de riego también aumenta el riesgo de obturaciones, por ello, el equipo de riego debe estar bien dimensionado para impedir el paso de partículas cuyo diámetro sea tal que pueda provocar la obturación y su elección se debe hacer en función de la calidad del agua de riego. Es necesario que exista al menos un filtro de malla o anillos entre la salida del equipo de fertirriego y la conducción general.

Cuando un emisor se obstruye es mejor cambiarlo por uno nuevo antes que intentar desatascarlo con la ayuda de un alambre o algún objeto similar (el emisor podría quedar seriamente afectado). Si es autocompensante jamás debería introducirse un alambre por el agujero de salida del agua por que se corre el riesgo de perforar la membrana o dispositivo que produce el efecto autocompensante y romper definitivamente el emisor.

Los emisores de bajo caudal, es decir aquellos con un caudal menor de 16 litros/hora, presentan mayor riesgo de taponamiento por tener diámetros de paso del agua más pequeños. Según el diámetro mínimo, la sensibilidad a obturaciones en los emisores será la que aparece en el siguiente cuadro:

Cuadro 26. Riesgo de obturación de los emisores

<b>Diámetro mínimo (mm)</b>	<b>Sensibilidad a la obstrucción</b>
Menor de 0.7	Alta
Entre 0.7 y 1.5	Media
Mayor de 1.5	Baja

**Figura 76. Obstrucción de laberinto de goteros**



### **Origen de las obturaciones**

#### ***Obturaciones de origen físico***

Las obturaciones provocadas por partículas gruesas se pueden evitar con la instalación en el cabezal de riego de un equipo de filtrado adecuado al tipo de agua y a la cantidad de sustancias en suspensión que tenga. Si el agua lleva gran cantidad de sólidos en suspensión será necesario instalar también un equipo de prefiltrado para eliminar parte de los contaminantes antes de su paso por los filtros.

Las obturaciones también pueden producirse por partículas muy finas que atraviesan los filtros y se van depositando en las conducciones y paso de los emisores formando partículas de mayor tamaño.

Para prevenir esto, los filtros deben dimensionarse adecuadamente procurando que el diámetro de paso sea el adecuado. Si las obturaciones se producen por la entrada de partículas sólidas desde el exterior, la mejor prevención es evitar el contacto de la salida de los emisores con el suelo utilizando pinzas u otros elementos adecuados, instalando las tuberías con los orificios hacia arriba, colocando las tuberías y los emisores a una determinada altura, etc. Un posible tratamiento de este tipo de obturaciones es la limpieza de la instalación con agua a presión, siempre que el diseño y las características del sistema de riego lo permitan. Además, deberá realizarse un mantenimiento periódico de limpieza en el sistema de filtrado para impedir el paso de partículas sólidas a la red de riego.

En los sistemas que cuentan con emisores enterrados, se puede prevenir la entrada de raíces con la aplicación de herbicidas usando la propia

red de riego. El uso de esta técnica debe ser controlado por personal especializado para determinar el tipo de herbicida, la dosis del mismo y las condiciones y método de aplicación. También existen en el mercado emisores impregnados de herbicida que van liberando la sustancia activa a lo largo del tiempo. En este mismo tipo de instalaciones, uno de los problemas más importantes es la succión de suciedad por los emisores al dejar de regar. Para que esto no ocurra, la instalación debe dotarse de sistemas de inyección de aire a presión, que se activan en el momento de dejar regar, o elegir emisores que dispongan de dispositivos antisucción.

### ***Obturaciones de origen químico***

#### ***Precipitados de calcio***

Los precipitados se producen sobre todo en forma de carbonatos y en aquellos puntos donde el agua queda en reposo entre un riego y otro, o en la salida de los emisores, donde la concentración de sales aumenta como consecuencia de la evaporación.

El tratamiento preventivo que suele hacerse para evitar la aparición de este tipo de precipitados, es la adicción de ácido al agua de riego en dosis adecuadas para que la precipitación de las sales no tenga lugar. La dosis de ácido que se aplique dependerá de las características del agua, por lo que habrá que determinarla en un laboratorio tras un análisis químico. Puesto que la dosis de ácido variará para cada caso, es necesario consultar con personal calificado.

El ácido convenientemente diluido, puede aplicarse desde el equipo de fertirrigación durante todo el riego o en la última parte de este (unos quince minutos) cuando el volumen de ácido a aplicar no sea muy elevado. Así se consigue que el agua que queda al final en el interior de la red de riego no produzca precipitaciones.

El volumen de agua que se necesita para que el ácido llegue a todos los emisores de la red de riego puede calcularse de una manera muy fácil, midiendo el volumen de la instalación y multiplicando el resultado por dos o tres como garantía. La cantidad de ácido que se añada al agua para los tratamientos preventivos o de limpieza del sistema, estará en función del volumen de agua a tratar. Como dosis orientativas, se recomienda un cuarto de litro por metro cúbico de

agua de riego en casos de tratamientos de prevención, y unos tres litros por metro cúbico para tratamientos de limpieza.

En el tratamiento preventivo contra la formación de precipitados de calcio se pueden utilizar varios ácidos, sulfúrico, clorhídrico o nítrico, siendo el ácido nítrico el más utilizado.

Una vez que se ha producido la precipitación de sales de calcio los tratamientos correctores son de eficacia muy variable dependiendo del grado de obturación y el tipo de emisor. En los tratamientos, normalmente se consiguen despegar las incrustaciones, pero es frecuente que queden pequeñas partículas en el agua y formen de nuevo precipitados que posteriormente den lugar a nuevas obturaciones. Estos tratamientos consisten en la aplicación de ácido a altas concentraciones, hasta que el porcentaje de ácido en el agua de riego oscile entre el 1 y el 4%.

En algunas ocasiones, cuando el grado de obturación es muy elevado, los emisores se deben limpiar individualmente, sumergiéndolos en ácido al 1-2% durante unos quince minutos. Este tratamiento puede ser eficaz en el caso de emisores desmontables, pero supone un importante gasto en mano de obra, por lo que en algunas ocasiones es más rentable limpiar las tuberías y poner emisores nuevos que realizar este tipo de limpieza. Además, una vez obturados los emisores, la limpieza no suele resultar efectiva ya que el ácido no disuelve del todo las incrustaciones si no que las disgrega, quedando pequeñas partículas de calcio circulando por el emisor que pueden volver a causar obturaciones.

El tratamiento de limpieza de obturaciones implica la utilización de altas concentraciones de ácido, lo que lo hace un proceso muy delicado que debe realizarse por personal especializado. Los ácidos son corrosivos y extremadamente peligrosos. Hay que manejarlos con guantes, gafas etc., incluso cuando se encuentran diluidos.

### ***Precipitados de hierro***

Se producen en aguas ácidas que llevan hierro disuelto, el que al oxidarse precipita y forma depósitos en filtros y goteros que toman un color marrón. Con menor frecuencia pueden aparecer problemas similares con el manganeso. La prevención de estos precipitados consiste en evitar la entrada de hierro en la red de riego, para lo que generalmente se realiza una agitación mecánica

que provoca la oxidación y precipitación del hierro antes de su paso por los filtros de arena, que retendrán las partículas de precipitado.

Si la aireación del agua de riego no es posible, por ejemplo por que se bombea directamente desde un pozo a la red de tuberías, se puede aplicar un agente oxidante como hipoclorito sódico, que provoca la oxidación y su precipitación. En el caso que el problema éste causado por la presencia de manganeso, se debe tener cuidado al aplicar el hipoclorito porque el manganeso se oxida más lentamente que el hierro y su precipitación puede producirse después del filtro de arena. En cualquier caso se debe realizar un análisis del agua para determinar la dosis de oxidante a aportar.

El tratamiento para eliminar precipitados de hierro en la red de riegos se realiza con ácido. El procedimiento es el mismo que en el caso de los precipitados de calcio pero en este caso se utilizará ácido sulfúrico. Éste disolverá los sedimentos que se hayan formado por la precipitación del hierro y al mismo tiempo, mantendrá en solución el que haya en el agua para que no precipite.

### ***Precipitados procedentes de fertilizantes.***

En sistemas de riego por goteo, el riego y la fertilización suelen hacerse de forma conjunta. El principal inconveniente de esta práctica es la obturación de los emisores por la precipitación de los fertilizantes, producidas por una mala disolución o incompatibilidad de estos al preparar la solución nutritiva, o reacciones con algún elemento propio del agua de riego. Para corregir esto se deben seguir algunas normas en la preparación de las soluciones fertilizantes y en su aplicación. Además se debe instalar un filtro de malla o anillos después del equipo de fertirrigación.

Los tres principales puntos a tener en cuenta para evitar obturaciones en el sistema son:

- a) Utilización de abonos totalmente solubles.
- b) Mezcla de abonos adecuados. Es importante conocer los fertilizantes que se van a mezclar ya que no todas las combinaciones son compatibles.
- c) Manejo apropiado de la fertirrigación, inicio y finalización del riego solo con agua.

Cuando las medidas preventivas no son suficientes y aparecen obturaciones por precipitación, el tratamiento para eliminarlas será, como en los casos anteriores a base de ácido. El tipo de ácido

que se utilice dependerá de la naturaleza del precipitado que se forme, es decir se aplicará ácido nítrico, fosfórico o sulfúrico, según el caso.

### Obturaciones de origen biológico

Las obturaciones biológicas están causadas principalmente por la acumulación de algas, bacterias, o algún resto vegetal en la red de riego.

Si el agua de riego permanece estancada en los reservorios o depósitos antes de pasar a la red de riego, se desarrollarán algas con facilidad gracias a las condiciones de reposo, iluminación, temperatura etc.

Para prevenir la aparición de estas algas es conveniente cubrir el depósito con una malla de sombreo o tratar con algún alguicida.

El sulfato de cobre, hipoclorito sódico o permanganato potásico se recomiendan para este fin, frente a otros alguicidas que darán el mismo resultado aunque a mayor precio. Además, el permanganato potásico no deja residuos tóxicos en el agua de riego. El tratamiento preventivo con alguicida deberá hacerse cada vez que se renueve el agua, al menos una vez a la semana en verano y una vez al mes en invierno. Las dosis de alguicidas recomendadas son las que aparecen en el siguiente cuadro.

Cuadro 27. Prevención y tratamiento de algas en embalses

	Sulfato de cobre	Hipoclorito de sodio (*)	Permanganato de potasio
Prevención	2-3 gr/m <sup>3</sup>	0.015 - 0.02 l/m <sup>3</sup>	1-3 gr/m <sup>3</sup>
Limpieza	4-5 gr/m <sup>3</sup>	0.1 – 0.2 l/m <sup>3</sup>	2-4 gr/m <sup>3</sup>

(\*) 100 g de cloro activo por litro

Cuadro 28. Prevención y tratamiento de algas y bacterias en la red de riego

	Hipoclorito de sodio 100 g de cloro activo por litro
Prevención	0.015 - 0.02 l/m <sup>3</sup>
Limpieza	0.1 – 0.2 l/m <sup>3</sup>

El cloro disuelto en el agua actúa como un potente agente oxidante, que ataca vigorosamente a microorganismos tales como bacterias o algas, destruyendo la materia orgánica. Así, la cloración

es una solución efectiva y económica al problema de obstrucción de los componentes de la instalación por acumulación de microorganismos.

La mejor medida de prevención de la aparición de algas y bacterias en la red de riego es la cloración del agua con hipoclorito sódico. Este tratamiento puede ser continuo o intermitente según el fin que se proponga. Si el objetivo es controlar el crecimiento biológico en filtros, tuberías y emisores, tratamientos intermitentes serán suficientes, pero si el agua es más rica en hierro, la cloración deberá ser continua. Los tratamientos preventivos con hipoclorito sódico se deben hacer siempre antes de la entrada de los filtros para evitar el desarrollo de algas en el interior de los mismos: habrá que tener especial precaución cuando el aporte de cloro se realice al regar cultivos sensibles a este elemento.

Si se detectan obturaciones en la red de riego por el desarrollo de microorganismos, el tratamiento con hipoclorito sódico será más intenso, en cuyo caso se recomienda realizarlo cuando no haya cultivo. Si esto no fuera posible, tras el tratamiento es necesario realizar una aplicación importante de agua para diluir el cloro en el bulbo húmedo.

Es muy importante tener en cuenta que no pueden mezclarse los tratamientos de hipoclorito sódico con tratamientos con ácidos, debido a que el cloro se desprendería como gas, resultando muy venenoso.

### Bacterias producidas por el hierro y el manganeso.

Los problemas más serios relacionados con las bacterias ocurren en aguas que contienen óxido de hierro o hierro soluble, manganeso, o sulfuro. Las concentraciones de hierro mayores de 0.1 ppm y las concentraciones de manganeso mayores de 0.15 ppm pueden promover el crecimiento bacteriano que obstruye los emisores. El crecimiento bacteriano producido por el hierro se mira rojizo mientras que el crecimiento bacteriano por el manganeso se mira negro. Estas bacterias oxidan el hierro y el magnesio del agua de riego. Usualmente se combate el problema inyectando cloro, usando filtros de retroflujo y a veces removiendo con una pala las capas de arena de la superficie de los filtros. Es difícil eliminar estas bacterias, pero se pueden controlar inyectando cloro en el pozo una o dos veces durante la temporada de riego. Puede

que también sea necesario inyectar cloro y ácido antes de los filtros. Cuando el agua contiene mucho hierro, una parte del hierro alimentará las bacterias y otra parte será oxidada por el cloro formando óxido (o hierro insoluble, óxido férrico).

El óxido férrico precipitado se filtra hacia fuera durante el retrolavado. Si la concentración del hierro es alta y los problemas persisten, puede que se necesite airear el agua de riego para oxidar el hierro y permitir que el sedimento se asiente, esto consiste en airear el agua al bombearla hacia un depósito para después rebompearla con una bomba centrífuga al sistema de riego.

Los problemas de sulfuro de fierro y manganeso se pueden resolver con una combinación de cloración, acidificación y aireación. Los sulfuros pueden formar un precipitado negro, insoluble. Resulta útil emplear un equipo de muestreo para piscinas para tomar muestras de agua para determinar el cloro libre o residual al final de la línea lateral.

Es preciso recordar que alguna porción del cloro que se inyectó se encuentra en reacciones químicas o ha sido absorbido por la materia orgánica del agua. Si la inyección es continua, un nivel de 1 ppm de cloro libre residual en las puntas de los laterales será suficiente para eliminar casi todas las bacterias. Si la inyección es intermitente, la concentración debe de ser de 10 a 20 ppm durante 30 a 60 minutos.

Se debe esperar varios días entre tratamientos. Si los emisores ya se encuentran parcialmente tapados por materia orgánica, se puede necesitar un tratamiento de "supercloración". En este caso inyectar de 200 a 500 ppm de cloro y debe dejarse en el sistema durante 24 horas. Se debe inyectar un poco de cloro extra para compensar por el cloro que se encuentra atado con el agua.

## Tratamiento con ácido

El tratamiento con ácidos tiene como fin diluir sedimentos calcáreos (carbonatos, hidróxidos, fosfatos, etc.) en el sistema de riego. Este tratamiento no resuelve problemas de sedimentos orgánicos.

Los tubos de polietileno y de PVC son resistentes a los diferentes ácidos - pero los tubos de aluminio, acero, cemento o asbesto (amianto) no lo son. Por eso, sí este tipo de tubos forman parte de las

conducciones principales, se recomienda inyectar los ácidos en las cabeceras de parcela y no en el cabezal principal (por lo general en las secciones hay sólo tubería de polietileno o de PVC). Además, de esta manera se evita que los ácidos desprendan

los sedimentos en los tubos conductores de mayor diámetro.

Antes del tratamiento con ácidos, es necesario lavar todos los tubos componentes del sistema. Los ácidos de uso industrial tales como el clorhídrico, el nítrico y el fosfórico son adecuados para este fin. Estos ácidos se venden en distintos grados de concentración y difieren en su valencia. La concentración recomendada de ácido en el agua depende de su concentración y valencia.

Concentración recomendada de ácido en el agua	Tipo de ácido	Concentración del ácido en el mercado
0.6%	Clorhídrico (HCL)	33-35%
0.6%	Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	65%
0.6%	Nítrico (HNO <sub>3</sub> )	60%
0.6%	Fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	85%

Si se utiliza un ácido de diferente concentración, debe corregirse su concentración en el agua. Por ejemplo: Si se utiliza ácido sulfúrico al 98 %, la corrección será:  $65 / 98 \times 0.6 = 0.4 \%$

La duración de la inyección del ácido en el sistema es de aproximadamente 15 minutos. Al finalizar la inyección del ácido, hay que seguir regando durante una hora como mínimo, con agua limpia, para asegurar que todo el ácido inyectado haya salido por los emisores sin dejar residuos en las tuberías. De la misma manera, hay que dejar que fluya agua limpia por el sistema inyector para limpiarlo.

El ácido debe inyectarse con una bomba fertilizante, resistente a estas sustancias. Es de suma importancia calibrar el caudal real de la bomba inyectora y conocer el caudal real que pasa por las diferentes secciones de riego. Esto permite aplicar la inyección con la concentración correcta.

Los ácidos son tóxicos y peligrosos para el ser humano. Antes de usarlos lea atentamente las instrucciones de seguridad del fabricante. Todas las instrucciones para el tratamiento con ácidos

deben supeditarse a la legislación vigente en cada país y a las instrucciones del fabricante. El contacto del ácido con la piel puede causar quemaduras, su contacto con los ojos puede provocar ceguera, la ingestión de ácidos o la inhalación de sus vapores pueden ser fatales. Para la manipulación de ácidos es necesario protegerse con gafas, guantes, mangas y pantalones largos, botas, etc. Hay que permanecer en el terreno durante todo el transcurso del tratamiento y se debe alejar del sitio a personas no autorizadas.

### Calibración en el campo

- Preparar un recipiente con 10 litros de agua de irrigación.
- Llenar una herramienta de medida o un inyector con el ácido que se vaya a usar.
- Gotear lentamente el ácido en el agua mientras se mezcla, agregando cada vez  $0.5 \text{ cm}^3$  de ácido.
- Medir el nivel de pH en la solución con un medidor digital o papel de tornasol, hasta que se alcance el valor deseado.
- La cantidad de ácido en  $\text{cm}^3$  disueltos con 1 litro de agua = la cantidad de ácido en litros requerida para todo  $\text{m}^3$  de agua.

Ejemplo - después de inyectar  $11 \text{ cm}^2$  de ácido clorhídrico en un cubo de 10 litros de agua de irrigación, se mide un pH de 2 en la solución. Eso significa que con 1 litro de agua, se diluyeron  $1.1 \text{ cm}^3$  de ácido, por lo tanto se debe inyectar 1.1 litros Hcl a  $1 \text{ m}^3$  de agua.

El sistema de irrigación tiene el caudal de  $12 \text{ m}^3/\text{h}$ . Por lo tanto, debe ser inyectado con 13.2 ( $12 \times 1.1$  litros Hcl).

### Precauciones:

- Los ácidos son materiales peligrosos. Por lo tanto, se deben leer y seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante.
- Cuando se diluye, el ácido debe ser añadido al agua, no lo contrario.
- Se debe prevenir la penetración del agua con ácido en el sistema de agua potable.
- El material no reaccionará de un modo peligroso con sales y otros químicos presentes en el agua de irrigación.

### Tratamiento de cloración

El cloro activo es un fuerte oxidante y, como tal, es útil para:

- Impedir el depósito de residuos orgánicos y la consiguiente obstrucción.
- Destruir y descomponer las bacterias quicio autótrofas (bacterias azufre y bacterias hierro), así como el tapiz bacteriano en el sistema.
- Mejorar la eficiencia de la filtración y ahorrar agua de retrolavado.
- Limpiar el sistema de sedimentos orgánicos (la inyección de cloro no influye en los sedimentos inorgánicos).

En el mercado hay diversas fuentes de cloro activo: la lejía (hipoclorito de sodio), el cloro gaseoso, el cloro sólido (hipoclorito de calcio - Percloron) y el cloro ligado a compuestos orgánicos. El producto más común es el hipoclorito de sodio.

### Aplicación de cloro

Se aplica inyectando cloro activo en el sistema de riego durante el funcionamiento y en una concentración determinada. Si se aplica cloro líquido, es posible hacerlo a través del sistema de aplicación de fertilizantes (siempre que sea resistente a ese producto).

Pueden emplearse dos métodos:

- Continuo, en dosis reducidas en cada ciclo de riego o
- Intermitente, en dosis mayores y en dos o tres ciclos de riego en el transcurso de la temporada.

Es importante tener en cuenta que la concentración de cloro residual en el agua del riego es inversamente proporcional al tiempo y a la distancia. En consecuencia, la menor concentración se encuentra en el punto más alejado del punto de inyección.

Sobre la base del conocimiento del sistema y sus necesidades, y a partir de la medición de la concentración de cloro que llega al final de las líneas, se puede decidir inyectar el cloro en un punto central y de allí distribuirlo por todo el sistema o aplicarlo en el cabezal de cada sección por separado.

Cuando la cloración tiene por objeto mejorar los resultados de la filtración (filtros de arena), se recomienda inyectar el cloro en la proximidad del centro de filtrado, asegurando una distribución uniforme entre los filtros. La concentración de cloro a continuación de la batería de filtrado no debe ser

menor que 1-2 ppm en cloración continua y el triple en cloración intermitente.

Para el control de algas se recomienda utilizar las concentraciones especificadas en los cuadros 26 y 27.

El cloro no es efectivo para prevención o descarga de sedimentación o sarro.

La eficiencia del cloro se devalúa en el agua con altos niveles de pH.

En agua con pH sobre 7.5 es recomendable bajar el nivel mediante inyección de ácido.

Es recomendable inyectar el cloro en el punto más cercano a los laterales de goteo. En caso de obstrucción, un tratamiento no será suficiente y deberá ser repetido.

Se debe revisar la sensibilidad de las plantas al cloro. No es recomendable clorinar cuando la concentración de hierro disuelto en el agua es sobre 0.4ppm

### Requerimientos de caudal

El caudal requerido de las soluciones de cloro que se inyectan, como el hipoclorito de sodio o cloro sólido disuelto, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$q = (Cl \times Q) / (CO \times 10)$$

Donde:

q = Caudal de la solución inyectada de cloro (l/h).

Cl = Concentración deseada de cloro activo en el agua de riego ( ppm).

Q = Caudal del sistema (m<sup>3</sup>/h).

CO = Porcentaje de cloro activo en la solución.

Ejemplo:

Caudal del sistema: Q = 125 m<sup>3</sup>/h

Porcentaje de cloro activo en la solución: CO = 10%

Concentración deseada Cl = 8 ppm

$$q = (8 \times 125) / (10 \times 10) = 10 \text{ l/h.}$$

El cálculo precedente es adecuado para cualquier solución de cloro. En caso de utilizar cloro gaseoso, el cálculo para el mismo ejemplo es el siguiente:

$$q = Cl \times Q = 8 \times 125 = 1000 \text{ g/h.}$$

Donde:

q =cantidad necesaria de cloro gaseoso por hora.

Una vez introducida la cantidad en la escala del clorador, debe medirse la concentración del cloro en el agua. La medición de cloro activo en el agua se realiza mediante el equipo de prueba para cloro libre y total.

### Fertilización y cloración simultáneas

La presencia de amonio o urea en el agua de riego reduce la eficiencia de la cloración. Por ello, se recomienda evitar la aplicación simultánea de estos productos.

Las soluciones activas de cloro son peligrosas para los animales y los seres humanos. Hay que observar rigurosamente las instrucciones del fabricante.

Evitar el contacto con la piel y los ojos. No ingerir la solución ni inhalar sus vapores. Al manipular cloro, se deben proteger los ojos y el cuerpo utilizando gafas e indumentaria adecuada. Antes de llenar un recipiente con solución de cloro, asegúrese de lavarlo de modo que esté absolutamente limpio de fertilizantes.

El contacto directo del cloro con el fertilizante podría provocar una reacción térmica con peligro de explosión.

### Pasos para efectuar la clorinación

- a) Elegir la concentración deseada del cloro.
- b) Calcular el caudal requerido de la solución de cloro.
- c) Elegir una bomba compatible para inyección del cloro diluir cloro y agua según el caudal de la bomba.
- d) Enviar el agua al área de cultivos y enjuagar correctamente el sistema, incluyendo líneas principales, líneas secundarias y laterales de goteo.
- e) Confirmar que la presión en el sistema esté estabilizada.
- f) Dejar fluir el cloro en el sistema.
- g) Revisar la concentración del cloro restante al final del sistema.
- h) Verificar que la concentración de cloro sea de acuerdo al nivel requerido. Si la concentración es demasiado baja, debe añadirse más cloro en la mezcla.

- i) Al final de la inyección, cerrar el agua en el área y esperar unas pocas horas, enjuagar correctamente la bomba.
- j) Después de unas pocas horas, enjuagar correctamente con agua limpia las líneas y los laterales de goteo.

## VIII Instalación de sistemas de riego por goteo

### Generalidades

Cada sistema de riego por goteo, como solución de ingeniería, tiene características propias por lo que no se puede indicar una metodología única, sin embargo la experiencia ha demostrado que existen fases o etapas en común que se puede aplicar a cualquier sistema de riego.

### Planificación de la instalación

- a) Obtener los planos de diseño del sistema y las especificaciones técnicas de los componentes del sistema.
- b) Identificar en el campo y marcar en los planos los componentes del sistema y los recursos disponibles y los necesarios para implementar el sistema (fuente del agua, fuente de electricidad, caminos, carreteras, almacén y otras necesidades pertinentes del área).
- c) Elaborar los planos de detalle que hagan falta para optimizar el funcionamiento del sistema.
- d) Revisar la lista de cantidades de obra y hacer los ajustes de acuerdo a las modificaciones del Preparar la lista inicial de materiales basándose en el diseño.
- e) Indicar las especificaciones de los materiales y equipos.
- f) Distribuir la lista de los materiales con las especificaciones a los vendedores, para obtener los distintos precios, garantías y fechas de entrega.
- g) Ordenar los materiales a los vendedores.

### Equipo y herramientas

- a) Guardar un buen abastecimiento de herramientas necesarias para la instalación, palas, sierras manuales y eléctricas, limadoras, palancas llaves de tuerca y destornilladores, taladros, brocas, etc.
- b) Un vehículo para transportar los materiales, herramientas, pegamentos, etc.

- c) Una bomba portátil (achicadora) para remover el agua de las áreas inundadas y facilitar las reparaciones.

### Entrega de materiales

- a) Preparar un lugar para el almacenamiento de materiales, incluyendo una caseta para las tuberías de goteros, pegamentos, etc.
- b) Revisar las órdenes de entrega y especificaciones de los materiales, de acuerdo con la orden de pedidos.
- c) Colocar los tubos en un sitio cercano al centro de trabajo.

Para almacenar los tubos de PVC deben seleccionarse por diámetros, el almacenaje se recomienda realizarse según se indica en la figura 64, apoyando la primera línea de tubos sobre polines, los cuales deben tener una separación no mayor a 1.5 m.

**Figura 77. Almacenaje de tubos de PVC**



### Ensamblaje de piezas

- a) Asignar un lugar para el ensamblaje de las piezas especiales (cabezales parcelarios, válvulas de purga, venturis, múltiples del cabezal, etc.) y bien equipada.
- b) Colocar el equipo de ensamblaje. (mesas, herramientas, pegamentos, rollos de teflón, llave de tuercas, sierra, etc.) en el área de trabajo.

### Trazo y excavación de zanjas

- a) Trazar las rutas de las líneas de riego principales, secundarias y múltiples, los límites del terreno, localización del subsuelo adecuado para introducir los cables y las tuberías de las conexiones eléctricas, trazo de caminos internos del área de riego. etc.
- b) Excavar las zanjas que seguirán las tuberías principales, secundarias y múltiples.

## Ensamblaje de las tuberías

- a) Distribuir los tubos de las tuberías principales, secundarias y múltiples a usar colocándolas al lado de las respectivas zanjias.
- b) La tubería principal y secundaria, normalmente se colocan enterradas, esta labor debe hacerse a una profundidad suficiente para que las labores culturales o paso de maquinaria no las dañen.
- c) Si las tuberías múltiples son instaladas permanentemente, ellas deben estar colocarse a una profundidad adecuada para no dañarlas. Si se van a quitar después de cada cosecha, deben ser puestas a la orilla del surco casi en la superficie tapándolas con poca tierra. Esto permitirá que los equipos utilizados para el laboreo del cultivo tengan mejor acceso para trabajar los surcos.
- d) Si se usa tubería plana (Lay - Flat) como tubería múltiple, éstas pueden quedar en la superficie o enterradas.
- e) Al ensamblar las tuberías principales y secundarias usar el pegamento de forma adecuada.
- f) Existen varias clases de pegamento para los distintos tipos de tubos. El pegamento debe aplicarse sin exceso, utilizando brocha o isopo, y en sentido longitudinal del tubo y de la pieza a unir; "nunca en sentido giratorio", ya que al introducir el tubo en la pieza o campana de otro tubo, expulsaría la totalidad del pegamento, produciéndose fugas de agua.
- g) Antes de aplicar el pegamento, es conveniente limpiar las piezas hasta que queden exentas de suciedad, y una vez limpias, frotarlas con un trapo humedecido en disolvente para PVC. El efecto del disolvente es doble: por un lado limpia las partes a unir y por otro acondiciona las macromoléculas que componen el PVC, dejándolo preparado para su pegamento.
- h) Durante el manejo de los tubos durante la instalación debe de tenerse cuidado que no entre tierra a la tubería principal ni a la secundaria o múltiple durante la instalación.
- i) Antes de proceder a la unión de tubos entre si, es conveniente ponerlos verticales, para que salga la suciedad que se pudiera haber introducido.
- j) Al introducir el tubo este debe ser forzado hasta que llegue al fondo de la campana. Si rebosa pegamento de la unión, hay que limpiarlo con el trapo ya que el exceso de pegamento debilita al tubo o a la pieza con el paso de los años.
- k) En áreas de alta humedad debe tenerse cuidado para prevenir que el pegamento de PVC absorba la humedad, pues puede perder su efectividad. Cuando existe duda acerca de la calidad del pegamento, es mejor no utilizarlo.
- l) Los tubos expuestos a la luz del sol se expanden y se contraen durante la noche. Este proceso puede reducir la vida útil del tubo, separar las uniones y causar otros problemas. Las tuberías permanentes deben colocarse en la zanja y cubrirlas lo más pronto posible.
- m) Cortar los tubos PVC cuidadosamente para que haya un buen corte. Cortar los tubos de diámetro pequeño (10 cm. o menos) con un cortador de tubos. Cortar los tubos más grandes con una sierra eléctrica. Una sierra de cortar metales es la herramienta menos adecuada para los tubos con diámetro mayor de 10 cm.
- n) En el caso de la unión de accesorios se procede de forma similar a la unión entre tubos, haciendo resaltar, que para unir dos piezas entre si (excepto piezas con reducción), es necesario utilizar un trozo de tubo del mismo diámetro.
- o) En los casos de reducciones incorporadas es conveniente pegar esta en el interior de la pieza a reducir y después continuar con el tubo.
- p) Los terminales de rosca macho, es conveniente roscarlo a la pieza hembra que se trata de unir, antes de pegarlos a la tubería. De esta forma se les podrá apretar a fondo sin debilitar el tubo.
- q) Los terminales rosca macho que sirven de unión entre la tubería y las electroválvulas, válvulas manuales o de paso, contadores de agua, etc., deberán estar protegidos en su parte roscada con 8-10 vueltas de cinta teflón, a fin que se obtenga una estanqueidad absoluta, sin goteos, chisperos, etc. Se aconseja no utilizar estopa, pues aumenta el volumen al contacto con el agua y puede agrietar el PVC.

## Relleno parcial de zanjias

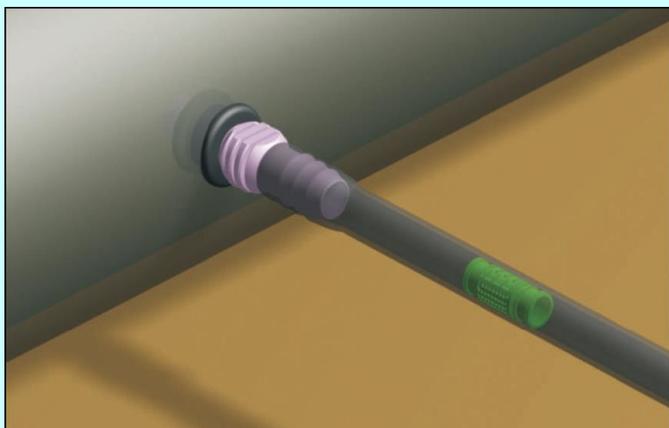
Rellenar parcialmente las zanjias después de colocar las tuberías. Hay que llenar todos los lugares bajos tan pronto como sea posible, durante la época de lluvia.

## Instalación de líneas laterales

La instalación de las líneas laterales debe realizarse posterior al lavado de las líneas principales, secundarias y múltiples.

- a) Colocar las tuberías laterales en el campo, pero sin conectar a las líneas secundarias. Mantener los extremos de las laterales cerradas para evitar la entrada de tierra, insectos, etc.
- b) Cerrar todas las válvulas de control secundario.
- c) Abrir el sistema. Llenar la línea principal. Abrir las llaves de paso para que salgan los materiales extraños de las tuberías.
- d) Cerrar las válvulas y comprobar la presión
- e) Mantener el sistema activo por al menos 2 horas. Si se desarrolla una fuga de agua en la línea principal, cerrar el sistema inmediatamente, reparar la tubería y comprobar de nuevo.
- f) Repetir los pasos b) a e) para cada línea secundaria y múltiple.
- g) Con los terminales de las líneas laterales abiertos, conectar las tuberías laterales a las múltiples.
- h) Para conectar la línea múltiple de la zanja con las líneas laterales en la superficie cuando se usa cinta de goteo, se usan elevadores de tubo de polietileno y una conexión polietileno – cinta, como se muestra en la figura 65.
- i) Permitir que el agua fluya por las líneas laterales.
- j) Cerrar los extremos de las líneas laterales.
- k) Ajustar las presiones de las tuberías secundarias. Si existen fugas de agua, marcarla, cerrar el sistema y arreglarlas.

**Figura 78. Conexión de lateral a múltiple**



## Instalación de cinta de goteo

### Distancia de la cinta de goteo al surco

Generalmente es práctico tener la cinta de goteo lo más cercano posible al surco. Un máximo de 15 cm de la cinta de goteo al surco es normal cuando

el sistema es usado para la germinación de la semilla o a 30 cm máximo de distancia cuando se efectuará trasplantes. Esta distancia puede variar de acuerdo a la velocidad de la tierra para absorber el agua. Por ejemplo, puede dejarse un espacio de 45 cm. entre la línea lateral y el surco de plantas en un cultivo en el cual el tipo de tierra de baja velocidad de infiltración y deja que el agua corra y no la absorbe completamente.

Para no interferir en las operaciones de manejo del cultivo (trasplante, poda, colocación de estacas, limpieza) que pueden fácilmente dañar la cinta de goteo, debe instalar la cinta de goteo después de la siembra o poner la cinta de goteo lo más lejos posible para que los trabajadores puedan trabajar sin dañarlas.

En instalaciones de la cinta de goteo en laderas, esta debe ponerse en la parte alta del surco, con lo cual se logra que el agua se acumule en el centro del surco que es donde se necesita.

**Figura 79. Conexión de cinta a múltiple**



### La cinta en la superficie o enterrada

Esta es una decisión importante a la hora de instalar la cinta o las mangueras en el terreno, a continuación se dan algunas ventajas y desventajas de las formas de instalar las tuberías laterales de goteo.

- a) Normalmente teniendo la cinta de goteo en la superficie existe un mayor riesgo de que sea dañada por insectos, o rota por roedores, perros o pájaros así como tiene una mayor exposición a roturas o cortes durante las labores de limpieza del cultivo.

b) Con la cinta enterrada, el problema del efecto del viento, separando la cinta de los surcos o desviando la gota de agua es eliminado.

c) Cuando la cinta o mangueras de goteo se colocan enterradas, hay menos evaporación de agua desde la superficie.

### Orientación de los orificios

Cuando la manguera o la cinta está en la superficie los orificios de salida de agua deben estar apuntados al surco donde esta la planta y hacia arriba.

Si la cinta de goteo es enterrada, los orificios de salida del agua deben estar para arriba. Si la cinta de goteo esta enterrada cerca de la superficie (5 cm) y con tierra suelta, es mejor tener los orificios de salida del agua hacia arriba para evitar problemas de obstrucción y facilitar el lavado, al igual que si la cinta se entierra 8 cm o más es mejor tener los orificios de salida del agua hacia arriba, cuando los orificios de salida del agua están arriba tiende a haber un mejor movimiento de agua en la tierra.

La mayoría de las cintas de goteo son enterradas a poca profundidad (entre 5 y 8 cm aproximadamente). A esta profundidad el agua fácilmente llega a la superficie y las cintas de goteo son fácilmente quitadas después de la temporada de riego.

En algunos casos se puede enterrar la cinta de goteo de 25 a 30 cm de profundidad con el propósito de dejarlas para ser usadas en varias cosechas. En este caso, debe tenerse un mayor cuidado en filtrar y tratar con cloro el agua para disminuir el riesgo de obstrucciones y desinfectarla.

**Figura 70. Forma correcta de instalación de la cinta de goteo**



**Figura 81. Colocación de tuberías múltiples con conexión de laterales en la zanja**



**Figura 82. Cabezal de campo en riego por goteo**



### Comprobar la operación de los controles, las válvulas, filtros y el sistema de riego.

- Una vez que el sistema esté funcionando adecuadamente, tomar la presión y lecturas de las bombas, filtros y válvulas principales.
- Cuando se ha determinado que todos los tubos, piezas, alambres eléctricos y componentes del sistema funcionan adecuadamente rellenar todas las zanjas.
- Durante el llenado de zanjas tener cuidado para evitar derrumbes y evitar golpes y otros daños en los tubos.
- Evaluar el funcionamiento del sistema de riego a fin de establecer el programa de operación definitivo a entregar al propietario del proyecto y capacitar al personal designado para las labores de operación y mantenimiento.

## **IX Evaluación de sistemas de riego por goteo**

### **Generalidades**

Los sistemas de riego bien diseñados y operados garantizan un buen resultado productivo y económico, no obstante tan importante como el diseño y la operación es la conservación de la capacidad de los sistemas, por ello se vuelve de primera importancia el mantener un continuo monitoreo del funcionamiento a fin de detectar y corregir oportunamente las eventuales fallas y deficiencias que puedan presentarse y así evitar riesgos en el desarrollo del cultivo.

### **Objetivos del riego**

El objetivo fundamental del riego es el de suministrar agua a los cultivos, de manera que estos no sufran déficit hídrico en ningún momento que pudieran ocasionar pérdidas de producción cosechable.

Además, el riego debe garantizar que se mantenga el balance de sales; es decir, que no se acumulen en exceso en el perfil del suelo como resultado de la aplicación del agua de riego.

En todos los casos, el riego debe ser controlado para evitar pérdidas excesivas que se traduzcan en problemas medioambientales o en un consumo innecesario que incremente los costes de la explotación y, por tanto, las posibilidades de mejorar su manejo para hacerlo más eficiente.

Hay dos conceptos importantes a considerar en el riego por goteo, para cada sistema, ha de determinarse dos parámetros clave, estos son: a) si se está aplicando la cantidad de agua que necesitan los cultivos, o se está regando en exceso o por defecto, b) conocida la cantidad que se está aplicando, es importante conocer con qué uniformidad se está distribuyendo dentro de la zona regada.

### **Evaluación del sistema de riego**

Es un procedimiento mediante el cual se puede comprobar el correcto funcionamiento del sistema de riego por goteo, de forma que se pueda cumplir con el objetivo primordial del riego, como es la satisfacción de las necesidades de agua del cultivo.

Los principales puntos a tener en cuenta a la hora de realizar la evaluación son:

- a) Comprobar el estado de los diferentes componentes de la instalación y si el manejo de los mismos es el adecuado
- b) Determinar la uniformidad en la distribución del agua de riego
- c) Evaluación del manejo del riego
- d) Determinación de la calidad de las tuberías

### **Evaluación de los componentes**

#### ***Equipos de filtrado***

En el sistema de filtrado es importante evaluar la presión existente a la entrada y a la salida de cada filtro. Esto nos permitirá calcular la diferencia de presión que se produce entre el manómetro de entrada y el de salida, a fin de determinar el momento en el que hay que realizar la limpieza. La limpieza se realizará cuando la diferencia de presión sea superior a 5 a 6 m (a excepción del hidrociclón que su eficiencia no depende de la pérdida de carga).

En los filtros de arena debe verificarse que la capa de arena sea uniforme, con un tamaño de grano igual al diámetro mínimo de paso de agua en el emisor.

Si el filtro es de malla su parámetro es la capacidad de retención, que depende de el tamaño de los orificios de la malla. Se determina mediante el número mesh (Nº de orificios por cada pulgada lineal) este no debe ser de mas de 200 mesh.

Si el filtro es de anillos habrá que comprobar que todas las anillos tengan las mismas características en cuanto al color, tamaño, etc.

La capacidad de filtrado debe corresponder al caudal máximo circulante para que las pérdidas de carga en el filtro no sean elevadas, con una frecuencia de limpieza adecuada. Cuando se instalan varios filtros en serie su capacidad filtrante debe ser la misma en todos ellos. La diferencia entre las pérdidas de carga correspondientes al equipo de filtrado para su caudal de trabajo (obtenidas en catálogo) y las pérdidas de carga observadas durante la evaluación deben reflejar si la frecuencia de limpieza es la adecuada.

La frecuencia y naturaleza de la evaluación de los filtros debe realizarse de la siguiente forma:

Primera evaluación: Número de filtros; localización de los filtros; capacidad de filtrado; tipo de limpieza, automática o manual; presión a la entrada y a la salida; características y estado del elemento filtrante; estado general de los filtros.

Evaluaciones periódicas: Presión a la entrada y a la salida; frecuencia de limpieza de los filtros; fecha de la última limpieza; características y estado del elemento filtrante.

### ***Elementos de control***

En todos los elementos de control es necesario comprobar su buen funcionamiento y el estado de todas las juntas del sistema para evitar posibles fugas, que provoquen el incremento de la cantidad de riego y con su consecuente aumento de costo del sistema.

### ***Unidades de riego***

Para evaluar las unidades de riego se tomará nota del número de unidades y la superficie de cada una de ellas. Es conveniente tener a mano un croquis de la parcela en la que se señale la disposición de las distintas unidades y subunidades de riego. Hay que señalar si al comienzo de la unidad o la subunidad hay instalado algún contador del volumen de agua aplicada y anotar si el control de riego es por tiempo o por volumen, identificar la existencia de manómetros para el control de la presión, tipo, cantidad, capacidad de medición, unidades..

### ***Laterales y emisores***

La evaluación de los emisores consistirá en la toma de datos acerca de su tipo y caudal nominal, del diámetro mínimo de paso de agua y por último de los distintos tratamientos que se realizan para prevenir obturaciones.

La detención de fugas y roturas tanto laterales como en los emisores es fundamental. De igual forma la detención y eliminación de obturaciones en los emisores ayudará a conseguir una mayor uniformidad de aplicación del agua en el cultivo, y por tanto, una mayor producción, homogeneidad de la producción y un mayor rendimiento del cultivo.

### ***Equipo de fertirrigación***

El equipo de fertirrigación debe evaluarse al menos dos veces por campaña. Se realizarán controles periódicos de pH y CE en distintos emisores de la instalación para constatar el correcto funcionamiento de los inyectores de ácido y fertilizantes (si existen). El funcionamiento de los inyectores también deben de evaluarse de una forma directa, comprobando los tiempos de apertura de las electroválvulas del equipo de fertirrigación (no confundirlas con las electroválvulas que dan paso al agua de riego a las distintas fases) . Los tanques de fertilizantes deben limpiarse con agua a presión al menor cada 15 días.

### ***Evaluación de la uniformidad en la distribución del agua de riego***

Un sistema de riego debe distribuir el agua uniformemente en toda la superficie regada, de manera que todas las plantas reciban la misma cantidad y esta sea la adecuada para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo durante el intervalo entre riegos.

Una deficiente uniformidad en la aplicación del agua en riego localizado conduce a un mal reparto de agua y fertilizantes, observándose plantas con encharcamiento y otras secas, así como plantas quemadas o con riesgo de fitotoxicidad por exceso de nutrientes.

Para realizar la evaluación de la uniformidad de un sistema de riego, debe seleccionarse la unidad de riego más representativa que será aquella de tamaño medio, con pendientes representativas del terreno, localizada en la parte central del sistema y con líneas laterales de longitud media en relación al resto de laterales del sistema.

Una vez seleccionada la unidad de riego representativa del sistema de riego, se procederá a realizar la prueba en una subunidad y después se calculará la uniformidad de todo el sistema de riego.

### ***Evaluación de la subunidad de riego***

Para evaluar la uniformidad de la subunidad de riego se utilizan dos coeficientes: El Coeficiente de uniformidad de caudales (CUC) y el Coeficiente de uniformidad de presiones (CUP). De acuerdo a los resultados de ambas evaluaciones se pueden

detectar faltas de eficiencia y se pueden solucionar pequeños problemas con lo cual se mejorará el funcionamiento del sistema.

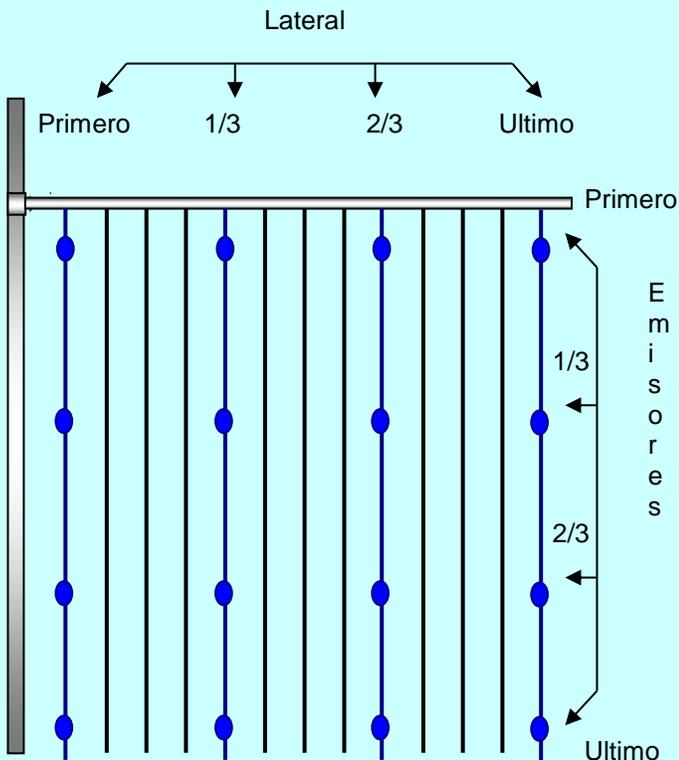
### **Coefficiente de uniformidad de caudales (CUC)**

Para calcular el coeficiente de uniformidad de caudales, se elige un número determinado de emisores distribuidos uniformemente dentro de la subunidad de riego representativa del conjunto de la instalación.

En general, se recomienda seleccionar 16 emisores para calcular este coeficiente. Para ello, se eligen los laterales mas cercano y mas lejano de la unión del múltiple y la tubería secundaria y los dos intermedios (a 1/3 y 2/3 de la longitud del múltiple medido desde la toma).

En cada lateral se seleccionan 4 emisores siguiendo el mismo criterio, es decir, el mas cercano y el mas lejano de la toma del múltiple. y los dos intermedios (a 1/3 y 2/3 de la longitud del lateral medido desde la toma).

**Figura 83. Distribución de laterales y emisores CUC**



Con una probeta o vaso graduado se medirá el volumen descargado por los emisores que se hayan seleccionado en un tiempo determinado.

Este tiempo será igual para todos ellos, de tres a cinco minutos para goteros y un minuto para cintas y tuberías exudantes, aproximadamente. Con los datos obtenidos se determinará el caudal.

Con los datos de caudal obtenidos en cada uno de los emisores se calcula la media de los caudales de los emisores que representan el 25% con el mas bajo caudal (Q25%) y se calcula la media de todos los emisores (Qm).

**Figura 84. Medición del caudal en los emisores**



Con los resultados se calcula el valor del CUC para la subunidad de riego, aplicando la siguiente fórmula:

$$CUC = 100 \times \frac{Q_{25\%}}{Q_m}$$

Donde:

Q25% = La media del caudal de la descarga del 25% de los emisores con caudal más reducido y  
 Qm = Caudal medio de todos los emisores.

### **Coefficiente de uniformidad de presiones (CUP)**

En forma complementaria a la determinación del coeficiente de uniformidad de caudales se realiza la prueba para determinar el coeficiente de uniformidad de presiones (CUP) que determina la homogeneidad de la subunidad en cuanto a presiones de los emisores. Para determinar este coeficiente se miden las presiones en cada uno de

los emisores seleccionados para la prueba, siempre que de acuerdo a sus características o forma de inserción en el lateral permitan la medición de la presión.

El coeficiente de uniformidad de presiones se calcula de igual forma que el coeficiente de uniformidad de caudales, es decir seleccionando un número determinado de emisores representativos de la subunidad de riego seleccionada, cuyo valor es normalmente 16.

Como en el caso anterior, se medirá la presión en cada uno de los emisores con la ayuda de un manómetro. Con los datos de presión obtenidos en cada uno de los emisores se calcula la media de las presiones de los emisores que representan el 25% con la más baja presión (P25%) y se calcula la media de todos los emisores (Pm).

Con los resultados se calcula el valor de CUP aplicando la siguiente fórmula:

$$CUP = \left[ 100 \times \frac{P_{25\%}}{P_m} \right]^x$$

Donde:

P25% = La media de la presión del 25% de los emisores con presión mas baja y

Pm = Presión media de todos los emisores.

x = Coeficiente de descarga, proporcionado por el fabricante cuyo valor se supone X=1.0 para régimen laminar y X = 0.5 para régimen turbulento.

El coeficiente de uniformidad debido a presiones no es necesario para el cálculo de la uniformidad del sistema. Sin embargo es conveniente conocerlo para detectar las posibles diferencias de presiones que se puedan producir a lo largo de la red de riego y así poder solucionarlas mediante, por ejemplo, la colocación de un regulador de presión. En todo caso esta determinación es imprescindible en la evaluación que debe realizarse en la recepción del sistema de riego para verificar que las dimensiones tanto de la red como de los elementos de regulación son las correctas.

**Figura 85. Tubo pitot y manómetro para medir presiones**



**Coeficiente de uniformidad de la Unidad de Riego**

Una vez conocida la uniformidad de caudales de una subunidad de riego localizado (CUC) se podrá calcular el coeficiente de uniformidad de la unidad (CU) sabiendo que:

$$CU = f_c \times CUC$$

Donde:

f<sub>c</sub> = Factor de corrección que depende de la diferencia entre las presiones de las subunidades de la unidad evaluada.

Para calcular el factor de corrección, habrá que medir la presión más desfavorable en cada tubería múltiple de la unidad. Para realizar estas medidas deberá tenerse en cuenta si la tubería múltiple está situada a favor o en contra de la pendiente:

- a) Si la tubería múltiple está a nivel o en contra de la pendiente, la presión mas desfavorable se medirá al final de la tubería, donde comience el último lateral.
- b) Si la tubería múltiple está colocada a favor de la pendiente, la presión mas desfavorable se podrá medir aproximadamente en los 2/3 de su longitud.

La primera vez que se realice esta prueba es conveniente medir varias veces al final de la tubería múltiple por si acaso el punto situado en los 2/3 no fuera el de menor presión. Si resultara otro punto distinto a este, se marcaría en la tubería, se

tomaría nota en la ficha de evaluación y este sería el punto de referencia para todas las evaluaciones.

Una vez medida la presión mas desfavorable de cada tubería múltiple de la unidad se calcula  $P_{25\%}$  y  $P_m$  siendo:

- $P_{25\%}$  la medida de las presiones medidas en las tuberías terciaria que representa la cuarta parte de mas baja presión.
- $P_m$  la medida de todas las presiones medidas en las tuberías terciarias de la unidad.

Con estos valores,  $fc$  se calcula como:

$$fc = 100 \times \left[ \frac{P_{25\%}}{P_m} \right] \times$$

Teniendo en cuenta que  $x$  es el coeficiente de descarga, el mismo que se ha utilizado para calcular la uniformidad debida a presiones en la subunidad.

Finalmente, la uniformidad del sistema será igual a la uniformidad calculada para la unidad elegida como representativa de la instalación. Es preciso recordar que para que esto se pueda considerar válido, las subunidades y unidades de riego deben ser relativamente homogéneas en cuanto a superficie y forma. No debe caerse, por tanto, en la rutina de hacer la evaluación en una subunidad cualquiera y dar por buena o mala la uniformidad de toda el sistema.

### Calificación de los valores de CU

Calificación del C.U. de caudales de la subunidad.

CUC	Calificación
90 % - 100%	Excelente
80% - 90 %	Buena
70% - 80 %	Aceptable
<70%	Inaceptable

Calificación del C.U. de la unidad:

CUC	Calificación
90% - 100%	Excelente
80% - 90%	Buena
70% - 80%	Aceptable
<70%	Inaceptable

Calificación del CU del sistema

CU	Calificación
Mayor de 94%	Excelente
86 % - 94 %	Buena
80 % - 86 %	Aceptable
70% - 80 %	Pobre
<70%	Inaceptable

Además de las medidas de presión que se realizan para calcular el coeficiente de uniformidad del sistema, será conveniente medir las presiones a la entrada de cada unidad de riego, por ejemplo en el gotero más cercano a la entrada. Si la diferencia de presiones entre dos unidades cualesquiera con respecto a la media entre ambas es mayor del 15%, se considera que dichas unidades riegan muy desigualmente y por lo tanto será necesario:

- Poner reguladores de presión en el inicio de cada unidad de riego, o bien,
- Medir el caudal de al menos 16 emisores en cada unidad de riego, distribuidos de forma homogénea dentro de la unidad y calcular la media para ver el volumen que se está aplicando en cada una de ellas. Si las unidades que evaluadas tienen el mismo cultivo y este se encuentra en la misma fase de desarrollo, las necesidades de agua serán las mismas para todas. Si los caudales medidos son diferentes, habrá que emplear tiempos de riego proporcionales a estos para conseguir el mismo volumen de agua en las unidades evaluadas.

La falta de uniformidad de una instalación de riego localizado se deberá principalmente a:

- Variaciones en el caudal de los emisores. Estas variaciones pueden ser causadas por distintos motivos como la variabilidad que se produce en el proceso de fabricación, defectos a la hora del montaje de los emisores, obturaciones, etc. Un indicador de calidad de los emisores y de su estado de conservación es la diferencia entre el coeficiente de uniformidad de caudales y el de presiones dentro de la misma subunidad.
- Diferencias de presión dentro de la subunidad, debidas a pérdidas de presión a lo largo de la tubería terciaria y de los laterales y también a factores topográficos. El coeficiente de uniformidad debido a presiones es un buen

indicador de las diferencias de presión en la subunidad.

- c) Diferencias de presión entre diferentes subunidades. Estas diferencias se deberán a la ausencia de reguladores de presión a la entrada de cada subunidad, o a su mal funcionamiento y/o mal manejo o mal cálculo de la red secundaria. La importancia de estas diferencias de presión se estima mediante la diferencia entre el coeficiente de uniformidad de la unidad y el coeficiente de uniformidad de la subunidad.
- d) Diferencias de presión entre diferentes unidades, debidas a la ausencia de reguladores de presión a la entrada de cada unidad de riego, al mal funcionamiento y/o mal manejo de los mismos en caso de haberlos, al mal diseño hidráulico de la red primaria o secundaria.

### **Evaluación del manejo del sistema**

La adecuación del manejo por parte del agricultor a las necesidades de la instalación se evalúa en base al manejo de los módulos reguladores, que es la forma en que el agricultor influye en la uniformidad en la aplicación del agua y al mantenimiento y limpieza de filtros (frecuencia de limpieza, aplicación de ácido en la red, sustitución de goteros obturados, etc.).

Un buen manejo de los módulos reguladores, consiste en el ajuste de la válvula de cada módulo, de manera que la presión sea la misma, en todas las subunidades que componen la unidad de riego evaluada. La frecuencia de limpieza del equipo de filtrado es adecuada cuando la pérdida de carga en el mismo no supera sustancialmente a la pérdida de cargas correspondiente a ese equipo de filtrado, para el caudal circulante, cuando el mismo está limpio.

En función de estos indicadores, se puede evaluar el manejo de cada sistema como bueno, normal o inadecuado. La cantidad de agua aplicada debe ser la suficiente para las necesidades hídricas del cultivo; es decir, debe ser la suficiente para compensar la evapotranspiración del cultivo y las necesidades de lavado.

Todo sistema de riego por goteo deberá tener un contador en buen funcionamiento y el agricultor deberá llevar un registro periódico de cuánta agua

aplica por periodos diarios, semanales o, al menos, mensuales.

### **Determinación de la calidad de las tuberías**

Las tuberías que se utilizan en una instalación de riego por goteo son normalmente PVC y PE. La calidad viene determinada por las normas ASTM D 2241 para tubo liso y por la Norma ASTM D 2672, para tubos tipo campana.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Gavande, Sampat. 1980. Física de Suelos, Principios y aplicaciones.

Gómez Pompa, P. 1975. Riegos a presión, aspersión y goteo.

Razuri, L. 1985. Diseño de riego por goteo.

Goldberg, D; Gornat and D. Rimon. 1976. Drip Irrigation: Principles, Design and agricultural practices.

Ingnacio G , y Gregorio B. 2009. Sistemas de riego por goteo.

Mendoza, AE. 1988. El cálculo de los sistemas de riego por goteo (material de enseñanza).

FAO: Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. Publication n° 56..

[www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html)

[www.elriego.com](http://www.elriego.com)

[www.elregante.com](http://www.elregante.com)

---

Este documento **RIEGO POR GOTEO** representa un apoyo técnico-científico para el personal técnico del CENTA. Se permite su reproducción total o parcial, siempre y cuando se mencione su autor.

---