

RIEGO POR GOTEO Y MICROJET

Dr. Eduardo Holzapfel H.

Facultad de Ingeniería Agrícola
Universidad de Concepción

I. CONCEPTOS GENERALES DE MICROASPERSIÓN Y GOTEO

El riego por goteo o microaspersión se podría definir como la aplicación frecuente de agua filtrada al suelo en pequeñas cantidades a través de una red de tuberías y dispositivos especiales denominadas "emisores", ubicadas a lo largo de la línea de distribución. De esta manera el agua es conducida desde la fuente a cada planta, eliminando totalmente las pérdidas por conducción y minimizando aquellas por evaporación y percolación. Con este método se pretende además controlar, bajo adecuadas condiciones de diseño, operación y manejo, el patrón con que el agua se distribuye en el suelo generando en la zona radicular del cultivo un ambiente con características físicas, químicas y biológicas que permitan mayores rendimientos, productos de alta calidad que incrementen la rentabilidad de la empresa agrícola.

El diseño de los sistemas de riego por microaspersión y goteo, desde un punto de vista ingenieril y agronómico, tiene como objetivo fundamental mantener un volumen de dimensiones adecuadas de la zona radicular de las plantas bajo un nivel de humedad cercano a Capacidad de Campo. La distribución y el nivel de humedad del suelo deben adecuarse de tal forma que la relación entre los factores agua-suelo-planta optimice el uso del recurso, el rendimiento de la planta en términos de producción y desarrollo, y maximice el beneficio neto a la empresa agrícola considerando restricciones medioambientales.

II. VENTAJAS DEL SISTEMA

El riego por goteo y microaspersión presenta numerosas ventajas algunas de ellas son comunes a otros métodos de riego, sin embargo existen algunas que le son exclusivas.

2.1. Eficiencia en el uso del agua

En general las pérdidas que presenta el método son mínimas. Las pérdidas por conducción en un sistema bien instalado son nulas ya que el agua se conduce por tuberías. La evaporación desde el suelo es reducida ya que al estar el emisor sobre el suelo, las fuerzas capilares tienden a absorber el agua muy rápidamente, además que el área humedecida es pequeña como para producir altos niveles de evaporación bajo un diseño adecuado que evite escurrimiento superficial. Finalmente los niveles de percolación profunda son muy pequeños en un sistema bien diseñado, aunque bajo ciertas condiciones se requiere para lixiviar sales. Zona radicular del cultivo permanece la mayor parte del tiempo bajo condiciones óptimas de humedad.

2.2. Topografía y Suelo

El riego por microaspersión y goteo no presenta ninguna restricción de tipo topográfico para su establecimiento. Una de las mayores ventajas que presentan estos sistemas son precisamente el poder utilizarse en áreas con topografía muy heterogénea y con pendientes pronunciadas.

El método de goteo y microaspersión que se diseña y opera de manera adecuada crea las condiciones en el suelo para un buen crecimiento del sistema radicular que permanece relativamente constante en el tiempo. Un correcto manejo debe permitir una buena relación agua-aire en el suelo para que el sistema radicular realice adecuadamente las actividades de crecimiento y extracción de agua y nutrientes. Además se debe proveer de un volumen de suelo humedecido acorde con el potencial de desarrollo del sistema radicular de cultivo o frutal.

El riego localizado permite además utilizar aguas con altos contenidos de sales, ya que al no reducir el contenido de humedad, la concentración de sales en el bulbo húmedo no llegan niveles umbrales para la planta. Es importante mencionar que cuando se riega con aguas de alto contenido salino se requieren normas de manejo y diseño que permitan un riego sustentable en el tiempo.

2.3. Producción y calidad del producto

En general se ha encontrado que bajo riego localizado se obtienen mayores producciones y un incremento en la calidad del producto. Esto se asocia a que bajo riego por goteo y microaspersión se aplican los niveles de agua requerido por el cultivo en forma mas precisa y se pueden controlar los niveles de agua en diferentes estados de desarrollo para lograr los objetivos de calidad y producción esperados que es difícil, por ahora, con otros sistemas de riego.

Diferentes estudios realizados en funciones de producción demuestran que se requiere un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por microaspersión y goteo para lograr rendimientos potenciales para la zona en particular. Operación inadecuada puede producir resultados que afectan seriamente la producción no logrando los niveles que justifican la incorporación de estos sistemas

Finalmente es importante mencionar que la localización de los emisores debe ubicarse de manera tal que apliquen el agua en la zona de mayor extracción radicular, lo que garantizará las producciones esperadas con la calidad requerida.

2.4. Condiciones Agronómicas

El riego por goteo fundamentalmente y microjet y microaspersión presentan una serie de ventajas para la labores agronómicas de los cultivos y frutales. Una de las que tiene mayor importancia es el hecho que el riego no interfiere con la aplicación de productos químicos, la cosecha, poda y otras series de labores culturales. Algunos especialistas han determinado que el mantener con bajo contenido de humedad la entre hileras controla malezas. Sin embargo, la mayor impacto que tiene el no regar la entre hilera es prevenir la compactación del suelo, permitido una adecuada aereación y estructura.

En la actualidad los sistemas de riego localizado permite aplicar fertilizantes y otros productos químicos en forma efectiva y en base a las necesidades parciales del cultivo o frutal.

III. DESVENTAJAS DEL SISTEMA

Los sistemas de goteo y microaspersión pueden presentar serios problemas en su operación y manejo si el diseño es inadecuado y no se consideran todos los antecedentes de calidad de agua, tipo de suelo y característica de los emisores.

3.1. Taponamiento de emisores

El taponamiento de los emisores, que es el problema más común en estos métodos de riego, se deben fundamentalmente a causas físicas, químicas y biológicas del agua de riego, a los sistemas de filtrado, el tipo de emisores. Por lo expuesto, un preciso análisis de la calidad del agua de riego es un factor importante para establecer un adecuado sistema de filtraje y la selección del tipo de emisor correcto.

Los problemas más críticos de taponamiento de emisores son por causas biológicas y químicas, se presentan con bastante posterioridad al establecimiento del sistema y deben efectuarse acciones paliativas que, bajo ciertas condiciones, son de un costo elevado.

3.2. Salinización zona radicular

La salinidad en zona radicular puede aumentar sustancialmente bajo inadecuadas condiciones de diseño y manejo. La planta extrae agua del suelo y la mayoría de las sales en solución no son absorbidas, lo que va provocando un paulatino aumento de la concentración de sales en la periferia del bulbo húmedo, que al evaporarse el agua deja una costra salina. Esta situación se puede evitar con aplicaciones mayores que las requeridas y regar en períodos de precipitaciones. Este problema prácticamente no se presenta en zonas húmedas.

3.3. Mala distribución de Humedad

Los sistemas de riego localizados sólo humedecen un porcentaje del volumen radicular que fluctúa entre 30 a 60 por ciento. El área humedecida por los emisores dependerá de la descarga, el volumen aplicado en el riego y el tipo de suelo. Es importante poner de relieve que existe una zona de alta extracción de agua por el sistema radicular del cultivo y frutales donde se recomienda aplicar el agua; ya que una inadecuada distribución de humedad puede afectar seriamente los rendimientos del cultivo o frutal.

3.4. Elevado Costo Inicial

Una de las principales y mayores desventajas que presenta el método es su alto costo inicial debido a que toda la instalación es de carácter permanente y requiere de una gran cantidad de accesorios para su adecuado funcionamiento. Sin embargo, si se considera la vida útil del equipo su costo anual es prácticamente insignificante al compararlo con otros costos de operación del proceso productivo.

3.5. Requerimientos Técnicos

Los sistemas de riego por goteo y microaspersión requieren de una mayor capacidad técnica que otros métodos de riego, ya que las instalaciones modernas aplican agua y fertilizantes en forma simultánea. La mayoría de los actuales sistemas utilizan elementos electrónicos que requieren de cierta preparación del operador para obtener el máximo provecho de los niveles de automatización.

IV. COMPONENTES DEL MÉTODO DE RIEGO POR GOTEO Y MICROASPERSIÓN

4.1. Cabezal de control

El cabezal del sistema consiste en una serie de dispositivos para entregar a la red hidráulica agua presurizada, de calidad adecuada, en el momento oportuno y en la cantidad requerida. El cabezal de control se compone, en general, de medidores de flujo, válvulas de control, inyector de productos químicos, filtros, manómetros, sensores especiales, controles automáticos o computadoras y equipo de bombeo (optativo) (Figura 1). Normalmente, el cabezal de control está localizado en o cerca de la fuente de agua y/o energía.

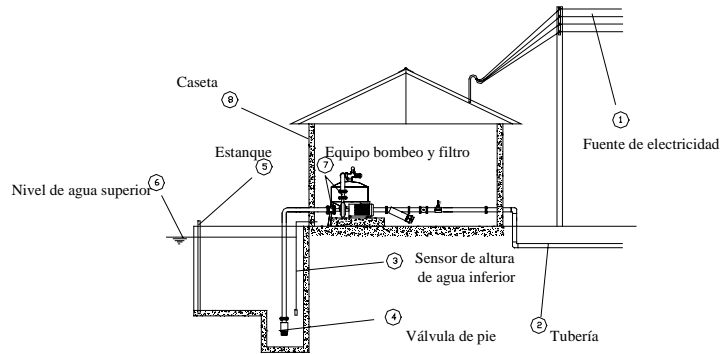
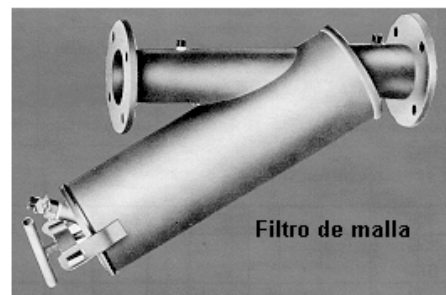


FIGURA 1. Cabezal de control de un sistema de riego por goteo, microjet o microaspersión.

Es esencial utilizar aguas limpias para un buen trabajo del método de riego por goteo y por ello los filtros son una parte importante del cabezal. La mayoría de los filtros son equipos sencillos, pero deben cumplir con ciertas características como permitir limpieza automática y ser eficientes en el control de materias que provoquen obturación de los emisores (Figura 2).



Filtros de arena



Filtro de malla

FIGURA 2. Tipo de filtro.

El sistema de filtro debe tener la capacidad para transportar el caudal requerido y remover las partículas finas, de tamaño varias veces menor que el diámetro del elemento dentro del emisor. Normalmente las partículas que se filtran deben tener un tamaño igual o mayor a un octavo del área de flujo del emisor.

La mayoría de las instalaciones incluyen dos tipos de filtros: de arena y de malla, que evitan la obturación de los emisores con material extraño. Es recomendable utilizar desarenadores en la zona adyacente al pozo de captación para proteger la bomba y sacar del flujo hacia el equipo de partículas de tamaño mayor.

Los equipos modernos de riego presurizado tiene normalmente incorporado un módulo para inyectar fertilizantes y otros productos químicos al sistema a través de pequeñas bombas, estanques presurizados que operan por diferencia de presión, de un venturi o una válvula de variación de presión (Figura 3).

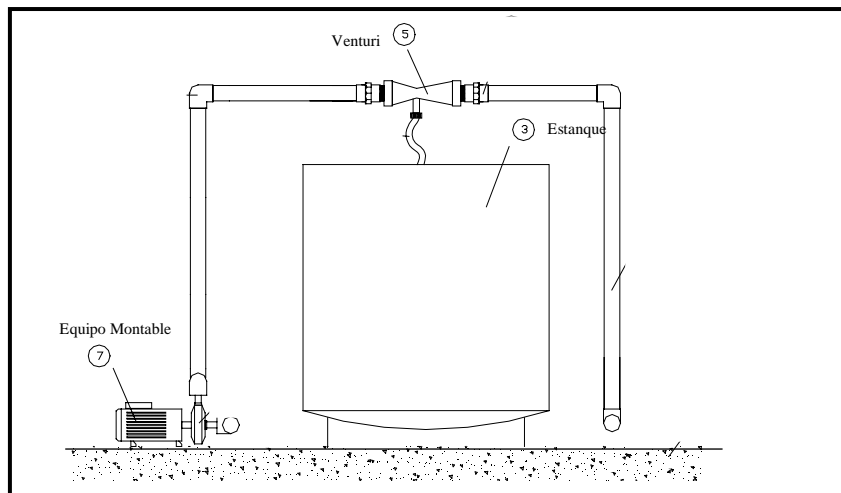


FIGURA 3. Croquisde un equipo de inyección de productos químicos (Fertilizantes).

Cuando se inyectan productos químicos al sistema de riego es conveniente incluir en la unidad central una válvula de control de devolución de flujo. Por razones de seguridad se debe garantizar que elementos contaminantes no regresen hacia la fuente de agua. Junto con esta

válvula es importante establecer un sistema para el control del golpe de ariete que provocaría serios danos al equipo si este se ubica en partes mas bajas que la zona de riego del sistema.

Bajo ciertas condiciones del riego por goteo o microaspersión, se requiere de reguladores de presión. Dichos reguladores son utilizados para el control de la presión deseada en diferentes partes del sistema.

Además, se utilizan en el cabezal, válvulas que controlan la apertura y cierre de la sección del sistema en general. Dichas válvulas están conectadas directamente a un "control o computador" que determina el tiempo de riego o volumen de agua que debe entregar a cada sección o al sistema en general, dependiendo del tipo de diseño.

4.2. Tuberías de distribución

La línea principal transporta el agua desde el cabezal de control a la línea de distribución, ya sean secundarias, auxiliares o laterales, dependiendo del diseño que se haya realizado. Normalmente se utilizan materiales como PVC, asbesto-cemento, o polietileno.

Las tuberías de toda la línea de distribución deben poseer las características establecidas en el diseño referentes al diámetro nominal e interno y la capacidad de soportar los niveles de presión calculados para cada sección del sistema.



Los laterales distribuyen el agua desde el principal, secundario o auxiliar a los emisores que se encuentran conectados a él y es la última parte de la tubería de distribución que conduce el agua al cultivo. Los emisores se colocan a lo largo de esta línea en los puntos que se desea distribuir el agua. Los laterales son por lo general de polietileno y tienen diámetros que fluctúan entre 12, 16, 20 ó 25 mm. Los laterales se pueden enterrar, dejar descansar directamente sobre el suelo, o bien levantar para no interferir ciertas labores del cultivo. Es conveniente mencionar que diferentes experiencias demuestran que la mayor vida útil de la tubería lateral se obtiene cuando esta se emplaza directamente sobre el suelo, evitándose de esta manera deformaciones o contricciones de la tubería que afectan el flujo.

4.3. Emisores

El elemento más importante de un sistema de riego por goteo o microaspersión es el emisor, ya que afectará directamente los posteriores criterios de diseño. Los emisores son estructuras que reducen la presión prácticamente a cero, aplicando de esta manera el agua a la forma de una gota en la superficie del suelo o asperjada en finas gotas con microjet y microaspersores. Los emisores varían en tipo y modelo, desde tubos perforados, microtubos y bandas perforadas, a complicados diseños. Los microaspersores son de tipo rotativo o de jet. En general la clasificación de los sistemas de riego localizado se basa en el tipo de emisor utilizado.

El caudal que entregan los emisores es función de la presión en la línea, normalmente en goteo varía entre 2 a 10 litros por hora y para microaspersión entre 15 a 60 litros horas.

En general existen en el mercado variados tipos de emisores. En goteros, se encuentran de larga trayectoria, vortex, laberinto y compensados. En el caso del microaspersión existen los fijos y rotatorios.

Para la selección del emisor es importante conocer sus características de presión y caudal. En general el caudal con la presión se relacionan.

$$q_c = K P_e^x$$

donde K es coeficiente de proporcionalidad y x el exponente de descarga. Este último es muy importante pues es determinante en el diseño del equipo.

V. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS Y NÚMERO DE EMISORES

5.1. Requerimiento Hídricos

El proceso de diseño del método de riego por goteo y microaspersión requiere evaluar cuidadosamente las condiciones agronómicas, de suelo, climáticas, de disponibilidad de aguas, hidráulicas y de energía.

5.2. Determinación de los requerimientos de agua

Existen varias aproximaciones para determinar los requerimientos de huertos frutales u otro cultivo regado por goteo y microjet. Sin embargo, recientes resultados demuestran que la relación que mejor predice los requerimientos es la que sigue :

$$ETa = Eb * 0.8 * [P + \frac{1}{2} (1 - P)]$$

para valores de $P \geq 0.5$ donde ETa es la evapotranspiración actual en mm por día, Eb es la evapotranspiración de bandeja en mm por día y P es el porcentaje de sombreado al mediodía expresado como factor. Si el $P < 0.5$, entonces:

$$ETa = Eb * 0.8 * P$$

Si existen antecedentes de función de producción del lugar, es mejor tomar los requerimientos entregados por ellos ya que son más precisos.

De esta manera para establecer el volumen de agua que requieren los cultivos o frutales podemos utilizar la siguiente relación:

$$V_r = ET_a * S_p * S_h$$

donde V_r es el requerimiento de agua en litros por día por árbol, S_p es el espaciamiento de los árboles o cultivos en la hilera en m, y S_h es el espaciamiento entre hilera en m. El volumen total (V_t) a aplicar será:

$$V_t = \frac{V_r}{E_a}$$

donde E_a es la eficiencia de aplicación como factor.

Es de alta conveniencia determinar la capacidad de almacenamiento de agua del suelo en la zona de extracción radicular. Esto es importante porque si el volumen aplicado es superior a la capacidad de almacenamiento del suelo se producirán grandes pérdidas por percolación y se afectará la producción del cultivo, ya que no se estaría cumpliendo con los requerimientos. De esta manera se determinará la frecuencia máxima del riego que es de un parámetro importante para el diseño del sistema.

5.3. Selección de tipo y número de emisores

5.3.1. Selección de los emisores

Un análisis de los tipos de emisores se entregó en la sección precedente, cuyos precios son también muy variados.

El número de emisores por planta varía en un amplio rango, dependiendo del tipo de cultivo, desde de 1 o menos hasta 8 o más en árboles adultos. El volumen de suelo humedecido en riego por goteo es por lo general menor que el humedecido por otros métodos de riego y fluctúa entre 10 y 60% del área total. La forma y el tamaño del volumen humedecido es una función del arreglo y número de emisores, del programa de riego y las características del

movimiento de agua del suelo. Bajo riego por microjet el área humedecida es mayor dando una distribución más amplia del agua.

La selección del emisor debe considerar los siguientes factores:

1. Descarga nominal del emisor
2. Presión nominal de operación del emisor
3. Relación descarga presión del emisor, de preferencia la curva de descarga versus presión.
4. Tamaño de la sección normal de flujo del emisor.
5. Angulo vertical del chorro de agua en microjet y microaspersores.
6. El diámetro de mojado de un solo emisor.
7. El patrón de humedecimiento de un emisor y de un grupo de emisores.
8. Espaciamiento y posición de los emisores a lo largo y entre los laterales.
9. Costos del emisor
10. Velocidad de aplicación del emisor y su relación con la velocidad de infiltración del suelo.
11. Facilidad de limpieza o susceptibilidad a taponamiento.
12. Facilidad de reemplazo en la línea lateral.}

5.3.2. Patrón de humedecimiento

Normalmente como se ha expresado previamente, sólo parte del área de influencia del cultivo o frutal es humedecida. Por ello está claro que el área humedecida (AH) debe ser una cierta parte del área total e investigaciones recientes han demostrado que como mínimo se debe humedecer entre un 35 a 45 % de la zona radicular para no provocar estrés en los árboles o cultivos. Este factor se debe establecer definitivamente en función del tipo de suelo y sistema radicular del cultivo y frutal. Lo expuesto expresa que el volumen humedecido debe considerar el tipo de crecimiento radicular del cultivo y las restricciones que presente el suelo para su desarrollo.

Es importante poner de relieve que un mayor área humedecida produce un menor riesgo contra fallas del sistema a déficit de agua, sin embargo puede encarecer su implementación por

un mayor número de emisores y caudal total. Indudablemente esta situación es de menor importancia en áreas con un nivel medio de precipitaciones.

En cultivos hilerados densos es conveniente humedecer la banda, no así en frutales de gran espaciamiento donde una gran ventaja es concentrar la aplicación de agua en el sector de mayor extracción en un círculo cercano al tronco.

Existen diferentes arreglos de emisores para establecer un patrón de humedecimiento, y se debe siempre tener en cuenta no humedecer el tronco para evitar enfermedades de tipo fungoso. Algunos ejemplos de arreglos en la ubicación de emisores y su patrón de humedecimiento se muestran en la Figura 5.

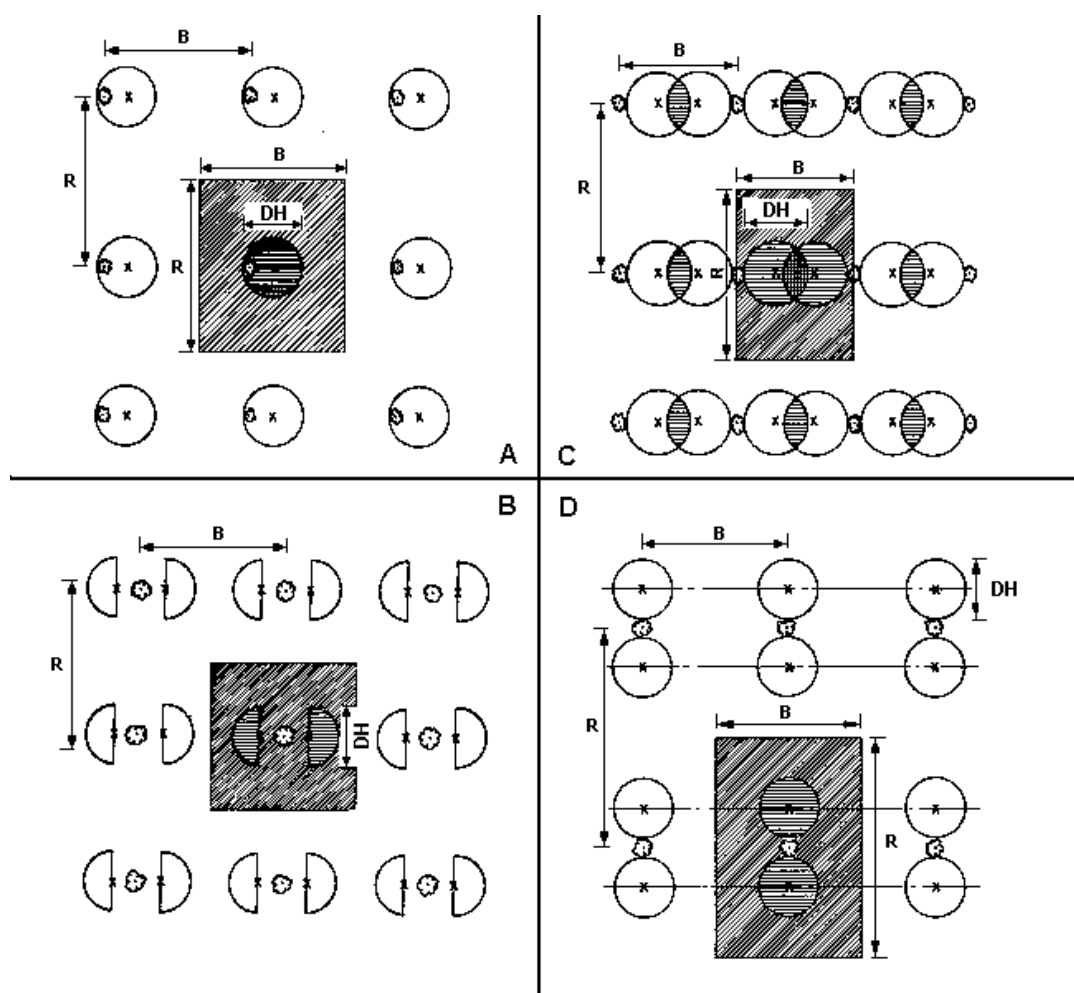


FIGURA 5. Patrón de humedecimiento en microaspersión o microjet para diferentes arreglos.

El patrón de distribución de humedad bajo microaspersores se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$AH = \pi (DH) / 4$$

Cuando se produce traslape entre los microaspersores o microjet como se muestra en la Figura 3 existe, para cada caso una ecuación que determinan el área humedecida y que se entregan a continuación.

$$\Delta H = N_e \frac{\pi (\Delta H)^2}{4 * B * R} * \frac{\alpha}{360} * 100 \quad \text{Ec.N}^\circ 2$$

$$\text{para } \alpha = 360 \text{ y } N_e = 1$$

$$\Delta H = N_e \frac{\pi (\Delta H)^2}{4B * R} * \frac{\alpha}{360} * 100 \quad \text{Ec.N}^\circ 3$$

$$\text{para } \alpha = 18 \text{ y } N_e = 2$$

$$\Delta H = \frac{\pi (\Delta H)^2}{4} * \left[N_e - \frac{(N_e - 1) \text{Ar} \cos \left(\frac{B}{N_e - DH} \right)}{180} \right] * \frac{100}{B * R} \quad \text{Ec.N}^\circ 4$$

$$\Delta H = \frac{\pi (\Delta H)^2}{4} * \left[2 - \frac{\text{Arcoen} \left(\frac{R}{2DH} \right)}{180} \right] \frac{100}{B * R} \quad \text{Ec.N}^\circ 5$$

El patrón de humedecimiento para riego por goteo depende de la descarga del emisor, el tipo de suelo y el espaciamiento entre emisores. En la Figura 4 se muestra un gráfico de base empírica, que relaciona el perímetro humedecido con la descarga del emisor, para diferentes tipos de suelo. Conocido el perímetro humedecido, el área humedecida se puede calcular de la misma manera que para los microaspersores.

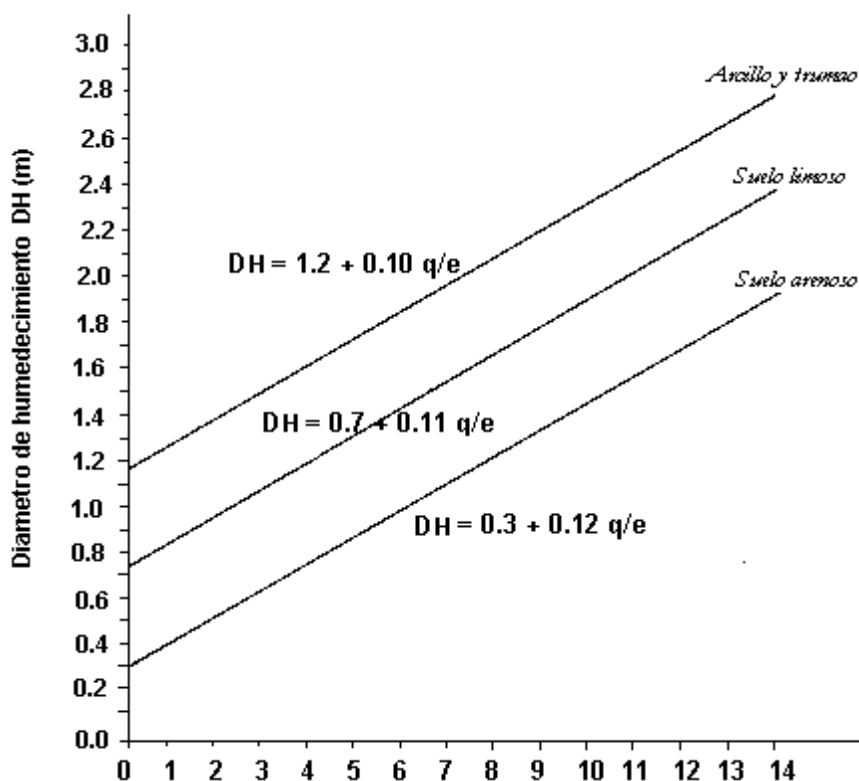


FIGURA 6. Patrón de humedecimiento versus descarga para diferentes texturas tipos de suelo.

➤ *Relación Presión-Descarga en Emisores*

Las características hidráulicas de un emisor afectan significativamente algunos aspectos relacionados con la forma en que se efectúa el riego, el patrón de humedecimiento, la distribución de agua, la variación de la descarga y la variación de la presión. Además, el flujo de agua en la red de tuberías y su presión de operación están directamente relacionados con la **función presión-descarga** de un emisor.

Para la selección del emisor y el diseño del sistema de riego localizado es importante conocer características de presión y caudal del emisor. En general, el caudal con la presión se relacionan de la siguiente manera:

$$q_e = K P_e^x \quad \text{Ec.N}^\circ 10$$

donde q_e es el caudal, K es coeficiente de proporcionalidad y x el exponente de descarga. Este último es muy importante pues es determinante en el diseño del equipo.

Los valores de K y x en la ecuación 10 se pueden determinar a través de curvas de ajuste obtenidas con datos de campo o desde antecedentes proporcionados por el fabricante. En forma alternativa si se tiene un set de valores de presión y descarga el exponente x se puede determinar conociendo la pendiente de la curva en un gráfico log-log o analíticamente desde

$$x = \log(q_1/q_2)/\log(P_1/P_2) \quad \text{Ec.N}^\circ 11$$

Así el valor de x puede ser usado en ecuación 10 para determinar K .

El valor de x tiene diferentes efectos según el tipo emisor. En general, el valor de x caracteriza el régimen de flujo y la relación presión descarga de un emisor. Para bajos valores de x se observa un menor efecto en la descarga por la variación de presión y viceversa. Es indudable que esta característica del emisor es de gran relevancia en el diseño de laterales y subunidades en el sistema de riego localizado.

Para reducir el efecto de la variación de presión en la descarga de los emisores se han desarrollado una serie de reguladores con diferentes mecanismos que permitan dicho objetivo. En forma idealizada un emisor que tiene una descarga uniforme para diferentes niveles de presión muestra un valor de cero para el exponente x . En la práctica, los emisores autocompensados presentan valores del exponente x en un rango de 0.1 a 0.2.

Las relaciones de presión y descarga más comunes para microaspersores, microjet, y goteros se muestran en las figuras 7, 8 y 9.

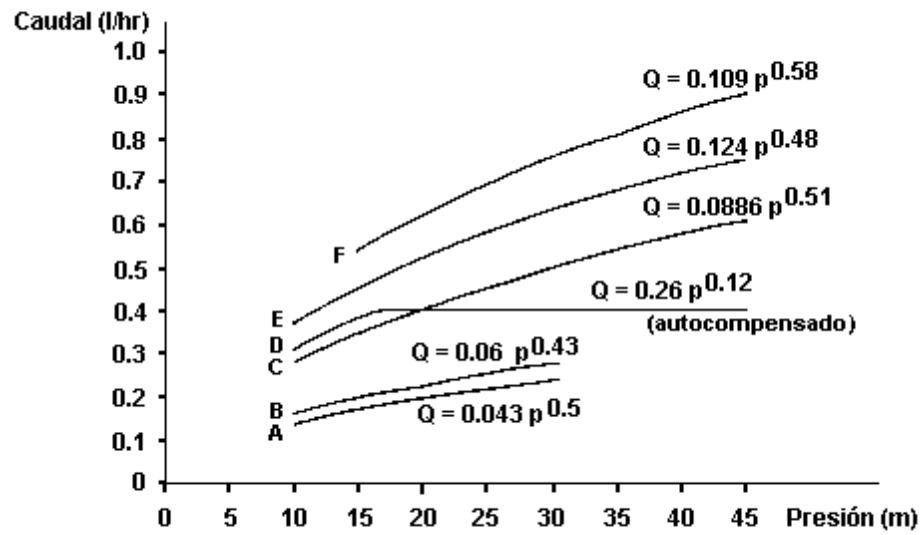


FIGURA 7. Relaciones típicas de descarga y presión para microaspersión.

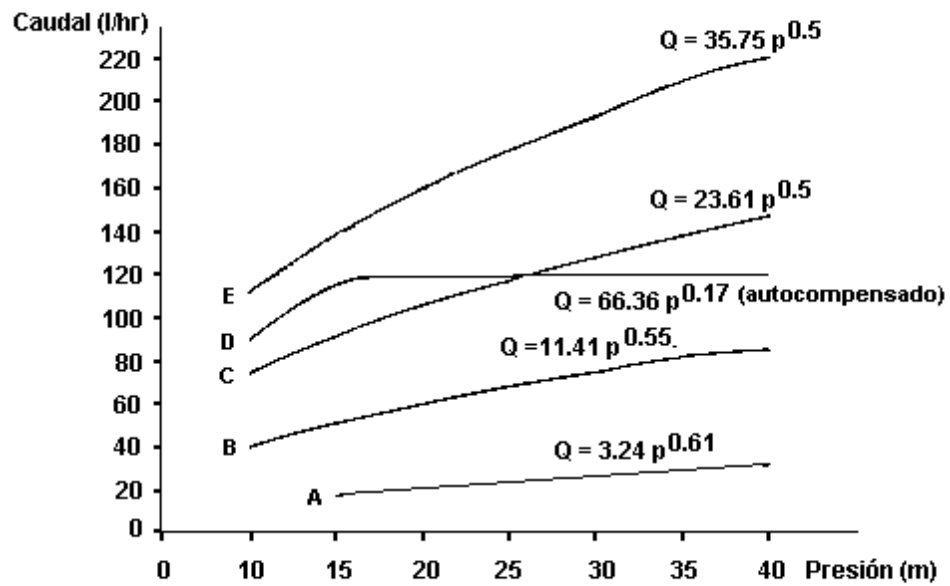


FIGURA 8. Relaciones típicas de descarga y presión para microjet

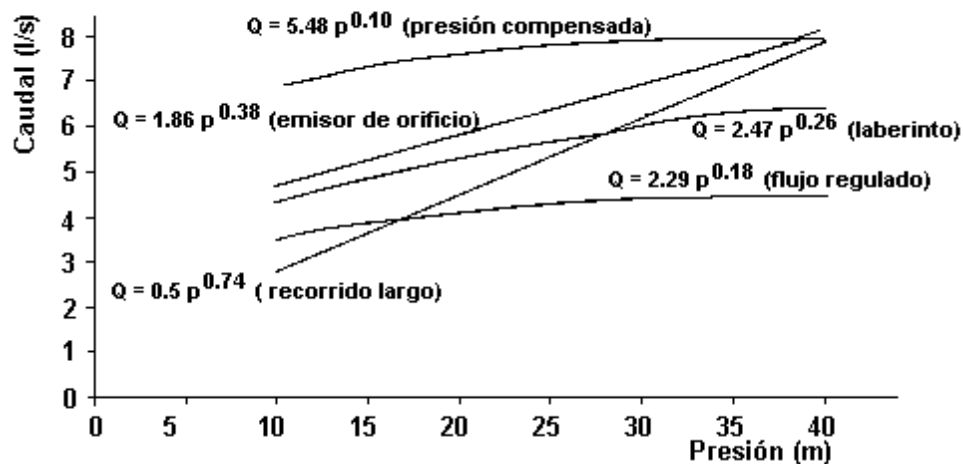


FIGURA 9. Relaciones típicas de descarga y presión en goteros.

En la Tabla 1 se entregan algunos valores típicos del coeficiente de descarga para diferentes tipos de emisores.

TABLA 1. Valores comunes del exponente de descarga (x) para diferentes emisores.

Tipo de emisor	Rango en el valor del exponente de descarga
Microaspersor	0.45 – 0.60
Microjet	0.45 – 0.60
Microaspersores regulados	0.10 – 0.20
Goteros flujo laminar	0.80 – 1.00
Goteros de orificio	0.40 – 0.60
Goteros de laberinto	0.40 – 0.60
Goteros autocompensados	0.10 – 0.30

3.3. Número de emisores por planta

El número de emisores por planta es variable y es función del estado de desarrollo de los cultivos o árboles, de la densidad de plantación, el volumen radicular que se desea humedecer, el volumen total a aplicar, el tiempo de riego y del tipo de gotero.

El número de emisores se puede calcular de la siguiente expresión:

$$N_e = (V_t) / (q_e * HR_s) \quad \text{Ec.N}^\circ 12$$

Donde HR_s es el número de horas de riego por set o subunidades que funcionan en forma simultánea. El número de set por día por el número de horas por set debe ser igual o inferior al número total de horas diarias disponible para riego.

Es importante mencionar que el número de emisores determinados con la ecuación 12 debe cumplir con el requisito de humedecer el área mínima descrita previamente, que evite deterioros de la producción.

CUADRO 3. MATERIAL TOTAL REQUERIDO POR ITEM PARA IMPLEMENTAR SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.

Parámetro	Unidad	Cantidad
Emisores		30.720,0
Tubería lateral	m	22.272,0
Tubería secundaria	m	744,0
Tubería auxiliar	m	360,0
Tubería elevador	m	76,8
Tubería subprincipal	m	288,0
Tees Secundario elevador		128,0
Tees elevador-lateral		128,0
Tees auxiliar-secundario		4,0
Tees auxiliar-subprincipal		4,0
Tapones laterales		256,0
Válvulas con reguladores de presión		4,0
Caudal requerido	lt/seg	11,7
Equipo de bombeo	kw	3,0