

CAPITULO IX

FUNDAMENTOS DEL RIEGO

INTRODUCCION

A fin de asegurar un uso eficiente del agua de riego, recurso fundamental, pero escaso y caro hoy en día, se requiere incorporar tierras nuevas a la agricultura a través de proyectos viables de riego y drenaje y mejorar los sistemas y prácticas de riego existentes. Esto con la finalidad de tener continúa productividad de las áreas irrigadas.

Ahí donde la disponibilidad del recurso agua es limitado, como en la costa árida y la sierra semiárida peruana, el uso agrícola de este recurso debe ser eficiente. Al respecto, es fundamental convertir el riego de los cultivos - *práctica antigua, estática y tradicional* - en una **técnica racional, moderna y dinámica de producción**, en donde el riego general a los campos debe ser eliminado para dar paso, al riego parcial y seleccionado de unidades dentro del área de riego, lo cual es posible mediante el conocimiento de las propiedades del sistema suelo - agua en relación con las condiciones del clima, crecimiento de las plantas y manejo del agua de riego.

9.1 CONCEPTO DE RIEGO

Las definiciones clásicas de riego establecían de un medio de aplicar agua artificialmente a los cultivos para complementar la acción de la lluvia. El estudio de las relaciones hídricas en el suelo y de los parámetros que intervenían en el riego, llevaron a la conclusión de que esta definición era muy general, pues había, además que poner el agua a disposición de la planta para que está pudiera aprovecharla eficientemente. Así surge una definición más concreta del riego, como un medio artificial de aplicar agua a la zona radicular de las plantas cultivadas de forma que la utilicen al máximo.

La práctica del riego, por tanto, debe dar respuesta a cuatro preguntas fundamentales que permitan el uso eficiente y racional del agua:

- ***Qué beneficio se espera, irrigando las tierras?***
- ***Con qué frecuencia se deben repetir los riegos y cuál es el criterio que determina esta frecuencia?***
- ***Durante cuánto tiempo o con cuánta agua debe regarse un área agrícola?***
- ***En qué forma debe aplicarse el agua al suelo?***

Es decir, debe responderse a preguntas de: ***Por qué regar?***, ***Cuándo regar?***, ***Cuánto regar?*** y ***Cómo regar?*** Si se encuentra respuesta a estas preguntas, la productividad de las tierras se incrementará apreciablemente, obteniendo así justificación las inversiones de las obras hidráulicas que se realice.

El riego puede ser definido como la aplicación oportuna y uniforme de agua a la zona de raíces, para reponer el agua consumida por los cultivos entre dos aplicaciones sucesivas.

Por definición, el agua se aplica al suelo y no a la planta, reponiendo lo gastado. Esta agua es consumida por las plantas en un período comprendido entre dos aplicaciones sucesivas. Por ello, es importante el estudio del suelo desde el punto de vista físico. Asimismo, se aplica agua a la zona de raíces y no se riega la superficie del suelo. Un buen riego es aquél que humedece adecuadamente la zona radicular. Por otro lado, la aplicación debe ser oportuna de tal manera que las plantas no sufran por déficit, ni por exceso de humedad. Por ello, la cantidad de agua que se incorpore al perfil del suelo debe corresponder al agua consumida por el cultivo. Además el riego

debe realizarse mediante una técnica adecuada que permita humedecer uniformemente la zona de raíces, evitando excesos al inicio de la zona regada y déficit al final. **Si la aplicación de agua al suelo no cumple estos requisitos pueden surgir los siguientes problemas:**

- **Menores rendimientos de los cultivos por exceso (riegos muy extensos) o déficit de humedad (riegos cortos o demasiado rápidos).**
- **Pérdida de agua durante el proceso: por escurrimiento superficial, percolación profunda, evaporación, etc. que determina una baja eficiencia en el aprovechamiento del recurso.**
- **Lavado de nutrientes, ocasionado por riegos aplicados durante tiempos muy largos.**
- **Mal drenaje y salinización de los suelos, resultando tierras improductivas y finalmente abandonadas.**
- **Erosión del suelo.**

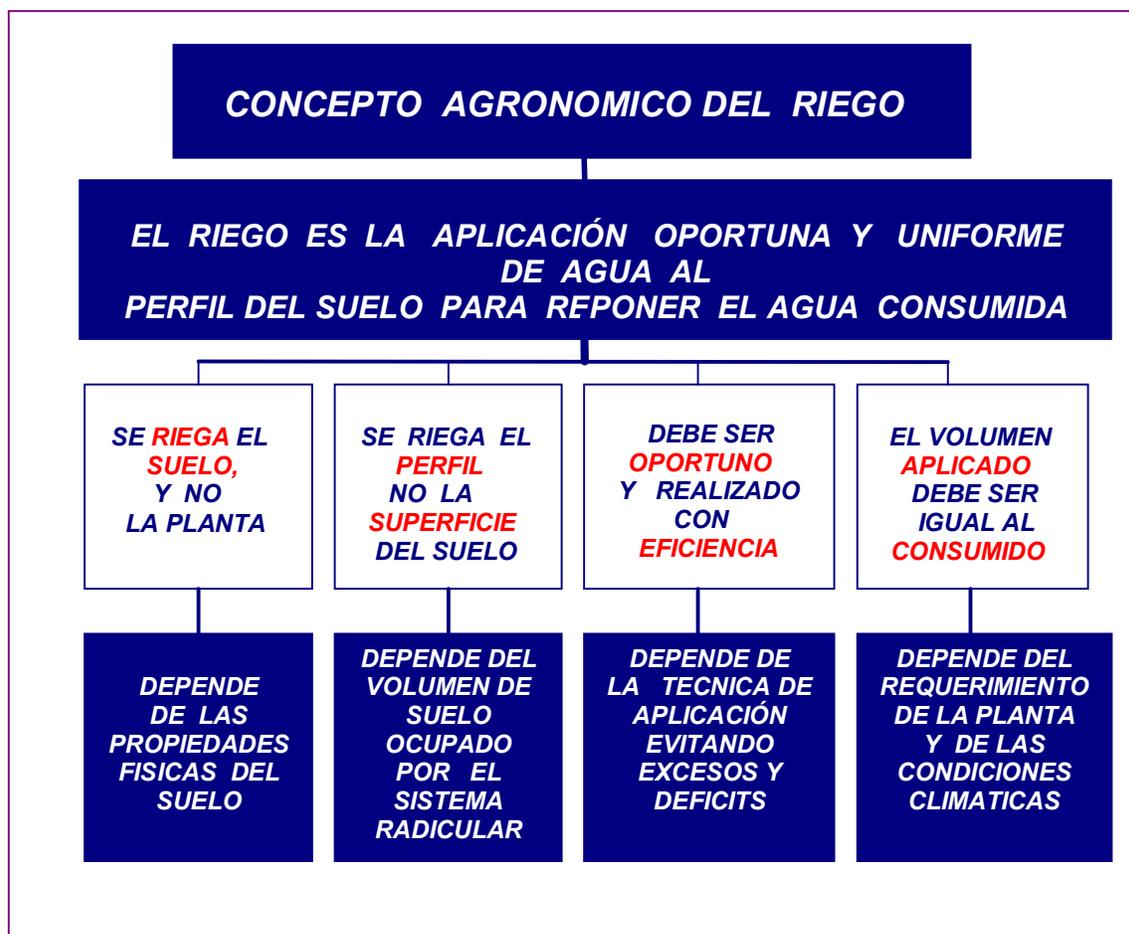


Figura 9.1 Concepto agronómico del riego

Los problemas que surgen de la práctica deficiente del riego como: Disminúa eficiencia en el aprovechamiento del recurso hídrico (debido a las pérdidas por escurrimiento y percolación profunda). Disminución significativa de la fertilidad del suelo (lixiviación de nutrientes). Pérdida de la porción superficial del suelo (permanente erosión laminar). Incremento de los problemas de salinidad, alcalinidad y mal drenaje y la disminución de los rendimientos de los cultivos, se presentan siempre en diferente magnitud en las áreas irrigadas, donde el factor limitante de la producción agrícola es paradójicamente el riego.

Figura 9.2 Criterios y respuestas para hacer un uso eficiente y racional del agua



El objetivo principal de un adecuado manejo del riego es el de maximizar los requerimientos de mano de obra y capital para un determinado sistema de irrigación y, al mismo tiempo, mantener un medio ambiente favorable para el crecimiento de las plantas cultivadas con la finalidad de maximizar los rendimientos.

9.2 RELACION SUELO - AGUA - PLANTA

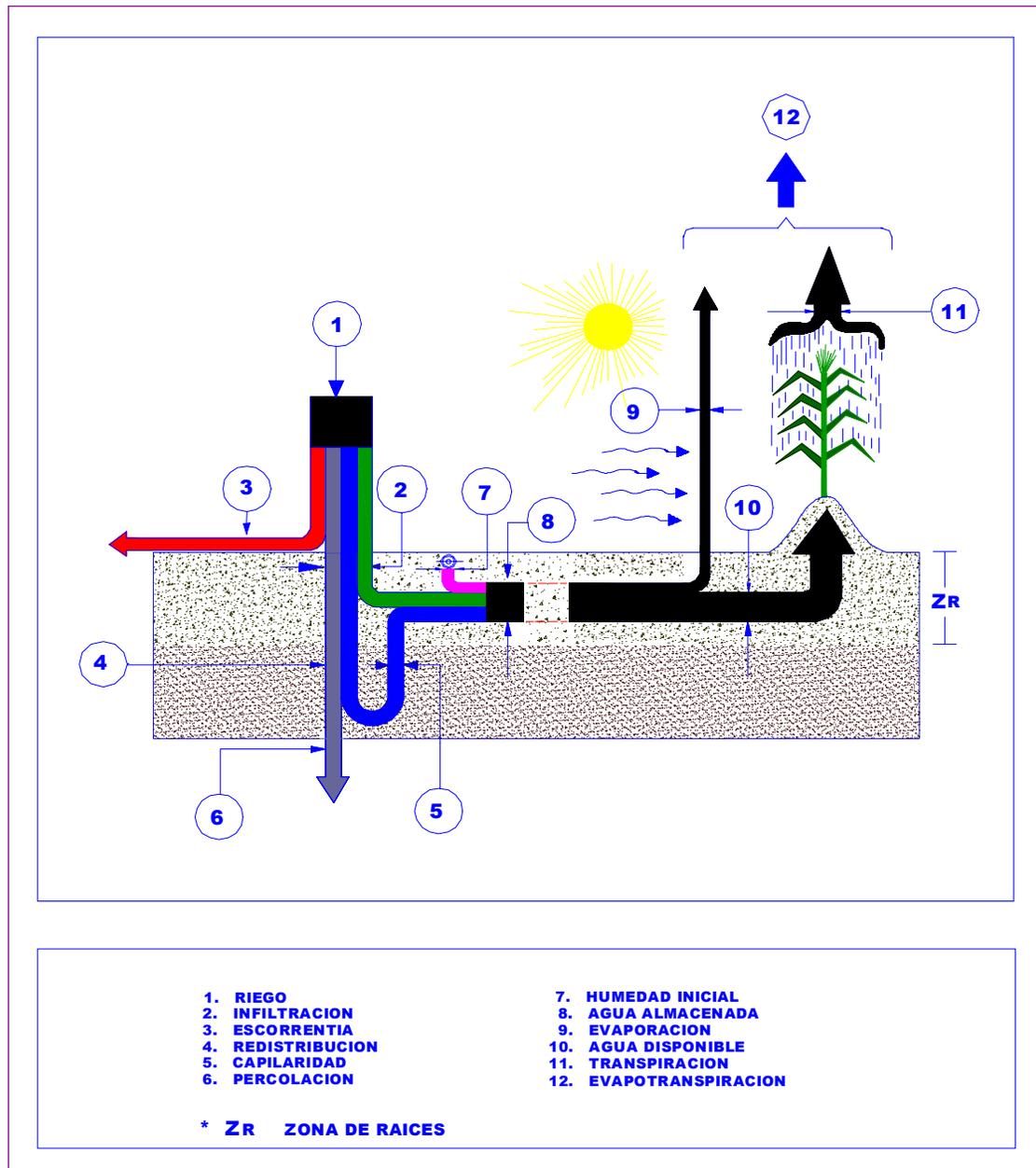
Comprende aquellas propiedades físicas del suelo y fisiológicas de la planta que afectan el movimiento, retención y consumo de agua por los cultivos y que deben ser consideradas en el diseño, instalación, operación y conservación de los sistemas de riego.

Para la planificación de un sistema de riego, debe considerarse algunos factores básicos como son:

- La velocidad de infiltración de agua en el suelo.
- La capacidad de retención de agua del suelo.
- Las características del flujo del agua en el suelo.
- La magnitud en profundidad del sistema de raíces, que es característica de cada especie
- La cantidad de agua que necesita el cultivo para su crecimiento y desarrollo.

El conocimiento de todos estos procesos y de su relaciones mutuas es de fundamentalmente importancia para el uso más eficiente del recurso hídrico y para tecnificar y modernizar la práctica agronómica más importante en la producción de cultivos; el riego.

Figura 9.3 Balance hídrico en el sistema suelo – planta - atmósfera



Cuando la variable tiempo interviene en las relaciones agua – suelo, sobreviene un proceso dinámico llamado flujo de agua en el suelo, que se desarrolla incesantemente, con velocidades y direcciones variables entre diferentes puntos del perfil del suelo. Entre los principales procesos de flujo de agua se destacan: la infiltración o entrada de agua al perfil del suelo, la redistribución del agua entre puntos diferentes del perfil del suelo, el drenaje o percolación profunda, que comprende el paso de agua bajo la zona de raíces, la evaporación o pérdida de agua en forma de vapor fuera del perfil del suelo y la absorción o movimiento de agua desde el suelo hacia las raíces de las plantas y su posterior pérdida por evapotranspiración de las plantas a la atmósfera. Todos estos procesos de flujo que actúan en forma simultánea o secuencial, determinan el contenido de agua en un punto del suelo en un instante dado. Normalmente esta condición no representa una condición de equilibrio.

El conocimiento de las velocidades de flujo de cada uno de estos procesos y su resultante constituyen la evaluación de la economía del agua en el suelo, es decir constituye el balance hidrológico del suelo, balance que indica la posibilidad de la planta de desarrollar actividad productiva (fotosíntesis) a través de la transpiración.

9.2.1 EL SUELO

El suelo es un sistema **heterogéneo** (compuesto de varias sustancias) y **trifásico** (fases: *sólida, líquida y gaseosa*), es decir, es un sistema **complejo**. Este sistema es **particulado** (*partículas sólidas están finamente subdivididas*), **disperso** y **poroso** y, sobre todo, **dinámico**, ya que se encuentra en permanente evolución.

Desde el punto de vista del crecimiento de las plantas, el suelo es un sistema que almacena agua y nutrientes para los cultivos; sirve de anclaje y soporte para las plantas y es un hábitat para múltiples organismos. La cantidad de agua que puede almacenar un suelo, depende de sus características físico-químicas. La importancia de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo se debe a que determina la frecuencia o intervalo de riegos, factor fundamental para el desarrollo de los cultivos.

La fase sólida del suelo está formada por partículas inorgánicas y orgánicas. Las primeras consisten en partículas minerales de tamaño, forma y composición química diferentes. Por su dimensión se denominan: **arena** (*2 - 0.02 mm*), **limo** (*0.02 - 0.002 mm*) y **arcilla** (*menor de 0.002 mm*). Las proporciones relativas de estas tres fracciones minerales, determinan la **textura del suelo**, propiedad fundamental sobre la cual se relacionan múltiples características, directa o indirectamente, tales como: capacidad de retención de humedad, porosidad, aeración, compactación, permeabilidad, fertilidad potencial, etc.

Por otro lado, las partículas primarias del suelo (*arena, limo y arcilla*) se unen formando grupos de **partículas secundarias** o agregados de tamaños, formas y variable resistencia a la ruptura, que constituye la **estructura del suelo** y que juega papel muy importante en la productividad de los suelos, afectando la penetración de raíces, la capacidad de infiltración de agua, su movimiento dentro del suelo y la resistencia a la erosión, según la estabilidad de los agregados.

Tan importante para el óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas, es el equilibrado estado estructural de suelo, como su adecuado régimen hídrico y nutricional.

9.2.2 EL AGUA EN EL SUELO

Debido a que las plantas requieren un suministro constante de agua, a través del suelo en el riego, es fundamental determinar:

- ***Cómo se mueve el agua en el suelo?***
- ***Cuánta agua está disponible para las plantas?***
- ***Cuánta agua puede almacenar un suelo?***
- ***De qué manera es posible reponer el agua del suelo consumida por las plantas?***

Los dos primeros factores están relacionados con la distribución del tamaño de las partículas minerales (*textura*) en relación a su característica de retener agua. El tercer factor, con la profundidad de la zona radicular, y el cuarto, con la tecnología disponible.

MOVIMIENTO DEL AGUA DEL SUELO

El movimiento del agua en el suelo es un proceso muy complejo, debido a que se realiza en estado líquido y gaseoso, y en varias direcciones. Debido a las fuerzas de **gravedad**, el agua se mueve hacia abajo. Las fuerzas de **adhesión y cohesión** determinan el movimiento por capilaridad a

través de los poros finos. Finalmente, el calor vaporiza el agua y las diferentes temperaturas del suelo difunden el vapor a través del aire del suelo. La velocidad con que el agua se mueve hacia abajo, por efecto de la gravedad, está determinada, principalmente, por el tamaño y la continuidad de los espacios porosos.

En suelos de textura gruesa el agua generalmente se mueve libremente a través de los poros grandes. En suelos de textura fina el agua se mueve lentamente debido a la resistencia al flujo en los microporos, al hinchamiento de los coloides y a burbujas o bolsas de aire atrapadas. El movimiento del agua debido a la capilaridad, depende de la distribución de tamaños de las partículas (*textura del suelo*) y, básicamente, de la diferencia de tensión o presión negativa entre láminas de agua de diferentes espesores alrededor de las partículas del suelo. El movimiento se produce de láminas más gruesas a más delgadas, de un área de baja tensión (*mucha agua*) hacia un área de alta tensión (*poca agua*).

Por otro lado, la solución del suelo (*agua + iones*) contiene determinada cantidad de sales, como consecuencia desarrolla una fuerza (*presión osmótica*) que retarda la absorción de agua por las raíces de las plantas. Por lo tanto, la facilidad de absorber agua por las plantas depende de la tensión de la humedad del suelo (*potencial mátrico*) y de la presión osmótica de la solución suelo (*potencial osmótico*).

CLASIFICACIÓN DEL AGUA DEL SUELO

Para diseñar un sistema de riego y efectuar recomendaciones técnicas de su uso en general, es importante conocer qué cantidad de agua del suelo está disponible para las plantas. El suelo es un "**reservorio**" que contiene cierta cantidad de agua, de la cual sólo una parte está disponible para las plantas. Esta capacidad se encuentra limitada por el agua retenida entre los niveles de humedad denominados capacidad de campo (*CC*) y punto de marchites permanente (*PMP*).

La **capacidad de campo** es la máxima cantidad de agua retenida por un suelo con buen drenaje y el **punto de marchites permanente** es el contenido de humedad del suelo al cual las plantas no logran extraer agua para compensar sus necesidades de transpiración. Ambos permiten establecer la cantidad de agua del suelo aprovechable para las plantas, la cual **depende básicamente de dos factores**:

- **La capacidad de retención del agua por unidad de volumen del suelo.**
- **La profundidad de suelo que alcancen las raíces de las plantas.**

En la actualidad existen algunas controversias en la utilización de los conceptos de capacidad de campo y punto de marchites, sobre todo en el campo científico. Si bien el fundamento es válido, la utilización de estos conceptos con buen criterio técnico, y teniendo en cuenta sus limitaciones, son de importancia fundamental en las prácticas de riego.

9.2.3 VELOCIDAD DE INFILTRACION DEL AGUA

El proceso a través del cual el agua ingresa al suelo, se denomina **infiltración**. En otras palabras, es la capacidad del suelo para absorber el agua aplicada mediante el riego o en forma natural, mediante la lluvia.

Este concepto es uno de los más importantes en la práctica del riego porque interviene en la determinación de "**cuánta agua**" se debe aplicar al suelo. Por otro lado, la **velocidad de infiltración del suelo** es un factor fundamental en el diseño de los diferentes sistemas de irrigación, ya sean estos gravitacionales (*surcos, melgas, etc*), a presión (*aspersión, micro aspersión, goteo o exudación*). De este factor depende el **tiempo de riego** y la planificación del predio en relación al riego, ya que de acuerdo a estas variaciones se establecen las unidades de riego, cada una de las cuales tendrá un diseño diferente en el campo.

La **velocidad de infiltración** indica la capacidad del suelo de absorber agua. Al principio (*cuando el suelo está más seco*) la velocidad de infiltración es más rápida, luego disminuye hasta que llega un momento en que se hace más o menos constante. En la (Tabla 9.1) se presentan los valores referenciales de la velocidad de infiltración en función de la textura del suelo.

Tabla 9.1: Valores referenciales de la velocidad de infiltración en función de la textura del suelo (mm/h)

ARENOSO	20 - 25
FRANCO ARENOSO	15 - 20
FRANCO	10 - 15
FRANCO ARCILLOSO	8 - 10
ARCILLOSO	< 8

FACTORES QUE INFLUENCIAN LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

Los factores que influyen la velocidad de infiltración son aquéllos que afectan las propiedades del suelo:

- **Compactación del suelo.-** La labranza del suelo (*aradura, rastras, etc.*) realizada en condiciones húmedas, produce compactación en la zona donde no llegan los implementos. Las capas duras e impermeables impiden el movimiento del agua y reducen la velocidad de infiltración.
- **Contenido de humedad del suelo.-** El nivel de humedad del suelo en el momento del riego, influencia significativamente la velocidad a la cual el agua ingresa al suelo. El suelo absorbe rápidamente el agua al comienzo del riego. A medida que la aplicación de agua continúa, la superficie del suelo se satura, produciendo el hinchamiento de arcillas expandibles, lo que provoca una gradual disminución de la velocidad de infiltración hasta que se alcanza un valor prácticamente constante llamada velocidad de infiltración básica o estabilizada.
- **Sellamiento superficial.-** La formación de una capa fina y compacta en la superficie del suelo reduce rápidamente la velocidad de infiltración. Este sello superficial resulta del deterioro del estado estructural del suelo.
- **Preparación del suelo.-** El pasaje de rastras, arado o cultivador incrementa la velocidad de infiltración. Sin embargo, el efecto dura sólo mientras el terreno vuelva a su condición inicial de densidad como consecuencia del mismo riego.
- **Enmiendas orgánicas y rotación de cultivos.-** La materia orgánica humificada, al favorecer y mantener la porosidad del suelo, evita que la velocidad de infiltración se altere y más aun que disminuya, debido a la influencia de otros factores. Asimismo, es positiva la rotación de cultivos al incrementar el contenido de materia orgánica del suelo.
- **Salinidad del suelo y del agua.-** Las sales de sodio, principalmente carbonatos y bicarbonatos, son extremadamente nocivas para la permeabilidad del suelo y, por lo tanto, de la velocidad de infiltración. Si la concentración de sodio es elevada, la estructura del suelo se destruye al dispersarse los coloides, dando como resultado un suelo impermeable.
- **Perfil del suelo.-** La estratificación de las diferentes capas u horizontes en el perfil tiene gran influencia en la velocidad de infiltración, aunque evidentemente este factor no es manejable por el hombre, sobre todo en las capas sub-superficiales.
- **Hidratación de los coloides y otros.-** El incremento en el tamaño de partículas coloidales por hidratación, sella parcialmente el espacio poroso, disminuyendo la velocidad de infiltración.

Por otro lado, el contenido de humedad del suelo, las variaciones en la temperatura del suelo y del agua del suelo y la acción microbiana sobre la materia orgánica, modifican y por tanto generan alteración.

Figura 9.4 Proceso de infiltración del agua en el suelo. Factores que lo condicionan



El contenido de humedad del suelo en el momento del riego, influencia enormemente la velocidad a la cual el agua penetra al suelo. El suelo absorbe rápidamente el agua al comienzo del riego. A medida que la aplicación de agua continua, la superficie del suelo se satura, produciendo el hinchamiento de la fase coloidal, lo que provoca una gradual disminución de la velocidad de infiltración hasta que ésta alcanza un valor prácticamente constante, que se denomina velocidad de infiltración básica o estabilizada.

SELECCIÓN DEL MÉTODO DE RIEGO SEGÚN LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

Valores críticos en la velocidad de infiltración limitan el uso de los diferentes métodos de riego. Así, valores por encima de 7.0 cm/h hacen muy difícil el establecimiento de estos métodos, determinando surcos o melgas muy cortos, lo que dificulta y aumenta los costos de operación. Además, se presentan pérdidas de terreno por exceso de acequias y desagües; también es difícil controlar las pérdidas de agua producidas por escorrentía (una alternativa a este problema es la irrigación

con sistemas modernos a presión). Por otro lado, velocidades de infiltración por debajo de 0.6 cm/h, fijan el límite inferior para el establecimiento de riego gravitacional. Bajo estas condiciones, el tiempo de riego es excesivo y prácticamente imposible de lograr, obteniéndose una insuficiente penetración de agua al suelo.

La planificación del predio en relación al riego, considera como base las variaciones de la velocidad de infiltración en los diferentes sectores del área bajo riego. De acuerdo a estas variaciones se establecerán unidades de riego, cada uno de los cuales tendrá un diseño diferente. Si el objetivo fundamental del riego es humedecer la zona de raíces óptimamente, esto se logra conociendo el tiempo de riego adecuado para cada unidad, el cual depende de su velocidad de infiltración.

MEDICION DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACION

Varios métodos son utilizados para medir la velocidad de infiltración. Las mediciones realizadas, en la mayoría de los casos presentan bajos grados de confianza respecto de la velocidad de infiltración real (*el dato debe relacionarse con la superficie que se desea representar y la variabilidad del perfil*).

La heterogeneidad del suelo, aún dentro de áreas comparativamente pequeñas, origina un rango amplio de resultados en las mediciones experimentales. Normalmente solo coinciden para las condiciones iniciales, razón por la cual se han utilizado parámetros físicos del suelo y enfocar el problema a través del uso de modelos matemáticos (*empíricos, semi - analíticos y analíticos*) que representan de algún modo el proceso físico de la infiltración. El método a usar, ya que no existe un procedimiento estándar, depende del experimentador, de las condiciones físicas del suelo y de la disponibilidad de equipo, materiales y servicios. En general todos los métodos se basan en el empozamiento de agua en la superficie, y en medidas de entrada y salida de agua por surcos. Los enfoques empíricos no proporcionan una interpretación cabal del fenómeno físico. Los enfoques semi - analíticos y analíticos en cambio permiten interpretar y describir cuantitativamente las pruebas experimentales.

▫ CILINDROS INFILTROMETROS

Son los instrumentos más usados en el estudio de la velocidad de infiltración del suelo. Dobles cilindros (*con el objeto de minimizar el flujo lateral del cilindro central*), con una determinada lámina de agua, instalados en diferentes lugares del predio según las variaciones de suelo, permiten el movimiento de agua en dirección descendente. La lámina de agua medida en el cilindro central a diferentes tiempos permite la determinación de la velocidad de infiltración. Los resultados que se obtienen indican casi siempre una considerable variación en los valores de infiltración real, aún en áreas aparentemente uniformes. La limitación más seria de este método, se encuentra en la alteración de las condiciones naturales del suelo, al momento de instalar los cilindros (*destrucción del estado estructural del suelo*). El aire atrapado en la columna de suelo, debajo del cilindro central, es otra importante limitación (*el ingreso de agua, por acción de flujo de masas, origina que el aire no pueda ser liberado del suelo en condiciones de flujo saturado cerrado, impidiendo el movimiento vertical del agua*).

Los cilindros infiltrómetros han sido ampliamente utilizados para obtener valores de infiltración que permitan el diseño de métodos de riego por inundación, por lo que, estos valores no pueden utilizarse en el diseño y operación de otros sistemas de riego.

▫ SURCOS INFILTROMETROS

El método consiste en la medición de los caudales de entrada y de salida del agua que escurre a través de un surco. La diferencia entre estos caudales corresponde al volumen del agua infiltrada en una unidad de tiempo. En este caso, solo una parte del suelo se encuentra en contacto con el agua; la infiltración total del suelo regado dependerá tanto de la infiltración vertical como de la infiltración lateral entre surcos consecutivos.

Este método proporciona valores promedio de un rango de infiltración y solo se adapta a suelos regados por el método por surcos.

En general todos los métodos usados para medir la infiltración de agua en el suelo en condiciones de campo proporcionan una gran variabilidad de resultados para un mismo lugar, incluso, cada método produce resultados puntuales, que no representan a toda el área considerada. Por esta razón, su aplicación e interpretación merece mucha atención y criterio.

9.2.4 EXTRACCIÓN DE AGUA POR LAS PLANTAS

En el diseño de un sistema de riego eficiente, se debe conocer las características de extracción de agua por los cultivos. La cantidad de agua a aplicarse a un suelo depende, entre otros factores, de la profundidad de enraizamiento.

El tipo de sistema radicular que desarrolla una planta es carácter hereditario (*cada especie tiene su propio hábito de crecimiento*) sin embargo, puede ser alterado por capas duras, arenas, gravas o pedregosidad en el perfil del suelo. Asimismo, las raíces no crecen en suelos secos (*humedad cercana al punto de marchites*), los estratos secos, debajo de la superficie, limitan la profundidad radicular. También suelos con problemas de drenaje, con napas freáticas altas limitan el crecimiento radicular y eventualmente causan daños irreversibles. Finalmente, las deficiencias nutricionales en el suelo limitan la profundidad de penetración de las raíces de las plantas.

La mayoría de las especies cultivadas, desarrollan sistemas radiculares, que se encuentran activas entre los 20 - 60 cm. de profundidad. En especies perennes las raíces pueden crecer a niveles más profundos del perfil del suelo, sin embargo, fisiológicamente han perdido funcionalidad debido al crecimiento secundario que da como resultado la ruptura y la pérdida eventual de la endodermis, corteza y epidermis, estructuras del crecimiento primario de una raíz (*el crecimiento secundario genera raíces suberificadas con poca capacidad de absorción de agua y de nutrientes*).

A medida que las raíces extraen agua, se produce un aumento de la tensión de humedad alrededor de las partículas del suelo (*disminuye el potencial del agua del suelo*), generándose un movimiento de agua hacia estos puntos de absorción. Sin embargo, la velocidad en el movimiento de agua a través del suelo hacia las raíces, es muy bajo para mantener un satisfactorio balance de agua en plantas transpirantes a ritmo normal.

Por tanto, el fenómeno de la extensión de los sistemas radiculares y su continua ramificación, es el factor principal que produce el contacto agua – raíz. El desarrollo de un buen sistema radicular, que ocurre durante periodos de crecimiento favorables, permitirá que la planta pueda extraer agua y nutrientes de estratos más profundos del suelo.

Así, la gran porción del sistema radicular que se encuentra en la parte superior del suelo, que presenta un disminuido contenido de humedad (*muchas veces por debajo del porcentaje de marchites permanente*), no alterará significativamente el crecimiento, ya que las necesidades de la planta podrán aún ser satisfechas, a expensas de la porción de raíces que han crecido en estratos inferiores, que presenten niveles adecuados de fertilidad, humedad y aireación.

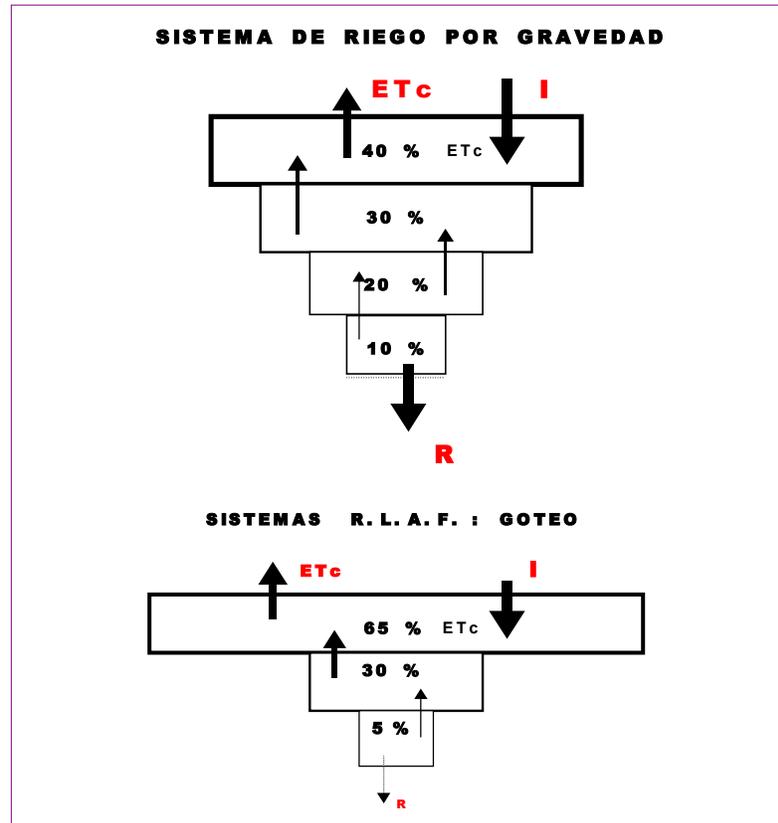
NIVELES DE EXTRACCIÓN EN EL PERFIL DEL SUELO

La mayoría de cultivos presentan una mayor concentración de raíces en los estratos superiores del perfil del suelo. Así, la extracción de humedad es lógicamente mayor en esta zona. Sin embargo, esta zona se encuentra sujeta a fuertes fluctuaciones de humedad, lo cual limita el crecimiento normal. Del sistema radicular, sobre todo en el riego por gravedad; en cambio, en suelos uniformes y con un suministro constante de humedad (*sistema de riego localizado de alta frecuencia*) las plantas extraen agua más rápidamente de los estratos superiores del suelo.

En el riego por surcos, un esquema para muchos cultivos, de su *patrón de extracción de humedad*, es la siguiente: para una profundidad dada de desarrollo radicular, la planta extrae aproximadamente **40%** de agua del cuarto superior, **30%** del segundo cuarto, **20%** del tercer cuarto

y **10%** del último. Bajo riego localizado de alta frecuencia (*goteo, exudación*), la planta extrae **65%** o más del cuarto superior y **30%** del segundo cuarto. En la *Figura 9.5* se muestra la diferencia en los patrones de extracción de humedad del suelo, bajo dos sistemas de riego, donde *I* es el requerimiento de riego ($ET_c + \text{Fracción de lavado}$) y *R* es la fracción de lavado.

Figura N° 9.5 Patrón de extracción de humedad del suelo bajo condiciones de riego por gravedad y de riego localizado de alta frecuencia.



9.2.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET_c)

La *evapotranspiración* o necesidad (*consumo*) de agua por los cultivos se refiere al agua usada por las plantas en la transpiración más la evaporada directamente desde la superficie del suelo. Normalmente se mide en *mm/día* o *mm/mes*, y depende de la interacción entre factores climáticos, botánicos, edáficos y de manejo del cultivo. En un período de 24 horas la evapotranspiración varía de acuerdo a como se comportan los factores que influyen en ella.

La evapotranspiración es baja en los primeros estadios de la etapa de crecimiento de la planta; se incrementa a medida que la planta crece en altura, y en área foliar, hasta alcanzar un máximo en la etapa de fructificación y luego disminuye progresivamente hasta la etapa de cosecha.

El promedio de la evapotranspiración (ET), durante 7 a 10 días de máximo uso de agua en la estación de máximo crecimiento se denomina, "*evapotranspiración máxima*" (*período PEAK*). La importancia de este concepto radica, en que se refiere al valor que debe utilizarse en el diseño de cualquier sistema de riego. Se deduce por lo tanto, que la evapotranspiración del cultivo (ET_c) varía fundamentalmente según el cultivo el clima.

Formulas matemáticas (*Thornthwaite – 1948, Penman – 1948, Hargreaves – 1956, Jensen y Haise – 1963, Turc – 1954, etc.*) o la evaporación directa del Tanque clase A, permiten estimar la evaporación potencial (ET_p), mediante la cual es posible aproximarse a la estimación correcta de la evaporación máxima del cultivo (ET_c máxima), para una condición edáfica y climática determinada, en función de la magnitud del área foliar evapotranspirante. El volumen efectivo de agua evapotranspirada hacia la

atmósfera por el cultivo se denomina Evapotranspiración real (ET_r) o evapotranspiración del cultivo (ET_c) y su magnitud está determinada por las características del sistema integrado suelo – planta – atmósfera, así como, por la disponibilidad efectiva de agua en el perfil del suelo (*agronomía del riego*).

La absorción de agua por las plantas se produce en respuesta a gradientes de energía entre el suelo, la planta y la atmósfera. Esta gradiente, es función del nivel de humedad en el suelo y de la intensidad de la demanda atmosférica (poder evaporante). El agua fluye a través de la planta en estado líquido, desde el suelo a las hojas, evaporándose en las cavidades sub- estomáticas y es liberada a través de los estomas hacia la atmósfera en forma de vapor de agua.

La transpiración ocurre principalmente a través de estomas de las hojas. La apertura estomática, está regulada por factores ambientales, principalmente luz, déficit de presión de vapor entre la hoja y la atmósfera y temperatura ambiental y, por la concentración salina interna a nivel de vacuola de las células. El cierre estomático está influenciado por el bajo contenido de humedad del suelo (bajos potenciales de agua del suelo) y puede ocurrir, aún durante el día, como consecuencia de un severo déficit hídrico.

Una deshidratación moderada de los tejidos, sin que el cierre de estomas se produzca, es requisito indispensable para mantener el flujo de agua desde el suelo a las raíces, y a través de los vasos xilemáticos, a las hojas y posteriormente a la atmósfera. Sin embargo, la disminución de la disponibilidad de agua del suelo, hasta un valor crítico (para la mayoría de las especies cultivadas, este valor se presenta a tensiones de humedad por encima de 4 bars), reducirá la velocidad de flujo de agua a las raíces, hasta un nivel que no pueda sustentar la demanda evaporativa de la atmósfera, ocurriendo el cierre de estomas, proceso indispensable para el mantenimiento de la economía hídrica de la planta, a niveles que no alteren su crecimiento y desarrollo (figura 9.11).

El manejo agronómico del riego tiene como principal objetivo, la reposición exacta del agua y su almacenamiento en la zona de raíces, agua que ha sido consumida por efecto del poder evaporante de la atmósfera, entre dos eventos consecutivos de riego, evitando así condiciones de disponibilidad hídrica restringida. Así, si la ET real (*para un cultivo dado, es el producto de una determinada condición suelo – clima y de su área foliar efectiva*) está en equilibrio dinámico con la velocidad de aporte de agua (*equilibrio que rara vez se presenta en campo*), la tecnología de riego habrá logrado un régimen óptimo, estableciendo frecuencias y tiempos de riego que eviten que el agua no sea el factor limitante de la producción de plantas.

Actualmente existen muchas fórmulas a través de las cuales se puede estimar la evapotranspiración potencial. Todas ellas requieren de información climática y de cálculos más o menos complicados. Un método con el cual se está obteniendo resultados excepcionales, es el de relacionar la ET del cultivo con la evaporación de una superficie libre de agua en el tanque de evaporación tipo A.

TANQUE DE EVAPORACION CLASE A

Es un estanque circular de 121 cm de diámetro y 25.5 cm de profundidad. El material utilizado para su confección es hierro galvanizado de 0.8 mm de espesor. Está montado sobre un marco de madera de 15 cm. de altura sobre la superficie del suelo. Una vez instalado el marco, debe rellenarse con tierra, de manera tal que quede un espacio de aire de 5 cm. entre la base del tanque y el terreno levantado. En la *Foto 9.1* se aprecia un Tanque de Evaporación Tipo A.

El tanque debe quedar bien nivelado y debe llenarse con agua hasta una altura de 5 cm. del borde superior y no debe permitirse que su nivel disminuya más allá de 7.5 cm. del borde.

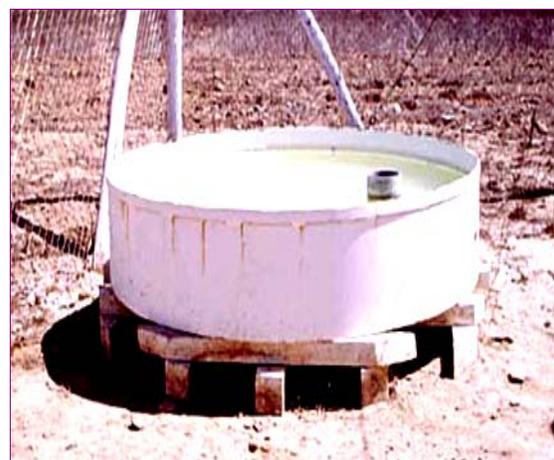


Foto 9.1 Tanque de Evaporación Tipo A

Ello implica que la altura de agua no debe variar más allá de 2.5 cm, lo que significa que durante los días de intenso calor, éste debe ser llenado muy frecuentemente. A su vez, el agua debe ser renovada con regularidad con el objeto de eliminar la turbidez. Estos aparatos deben pintarse

anualmente con pintura de aluminio. El lugar en que se instale debe estar rodeado de pasto corto hasta un radio de 50 m. El método del tanque de evaporación tiene la ventaja de ser un excelente integrador de los parámetros climáticos: temperatura, humedad relativa, radiación, vientos, etc.

Figura 9.6: Relaciones entre la Evapotranspiración Potencial, Evapotranspiración de Referencia y la Evaporación del Tanque clase A

- LA **EVAPOTRANSPIRACIÓN** ES LA CANTIDAD DE AGUA TRANSPIRADA POR EL CULTIVO Y EVAPORADA DESDE LA SUPERFICIE DEL SUELO EN UN ÁREA CULTIVADA. CONSTITUYE EL **USO CONSUNTIVO** DE AGUA POR LAS PLANTAS Y ES EL FACTOR BÁSICO PARA DETERMINAR EL REQUERIMIENTO DE AGUA DEL CULTIVO Y ES EL PRINCIPAL FACTOR LIMITANTE DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.
- LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEPENDE DE LA INTERACCIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS, BOTÁNICOS, EDAFICOS Y CULTURALES. ES BAJA AL INICIO DEL CRECIMIENTO, AUMENTA A MEDIDA QUE EL CULTIVO INCREMENTA MATERIA SECA Y ÁREA FOLIAR, ES MÁXIMA EN EL PERÍODO DE FRUCTIFICACIÓN Y DISMINUYE POSTERIORMENTE, AL FINAL DEL CICLO DE CRECIMIENTO.
- LA EVAPOTRANSPIRACIÓN ES VARIABLE FUNDAMENTAL EN ESTUDIOS DE ECONOMÍA DE AGUA Y BALANCE HÍDRICO PARA UNA REGIÓN DETERMINADA Y UN MOMENTO DADO.
- LA FALTA ABSOLUTA DE MEDICIONES DE ESTE TÉRMINO OBLIGA A ESTIMACIONES A PARTIR DE DATOS DEL TANQUE DE EVAPORACIÓN Tipo A o MODELOS MATEMÁTICOS QUE TOMEN EN CUENTA EL **FACTOR AERODINÁMICO** (Humedad Atmosférica y Viento) Y EL **FACTOR ENERGÉTICO** (Temperatura, Horas Sol, Radiación Solar), QUE GOBIERNAN EL PROCESO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN.
- CINCO FORMULAS MATEMÁTICAMENTE PRECISAS ESTIMAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN: **THORNTHWAITE** (EEUU - 1948), **PENMAN** (REINO UNIDO - 1948), **HARGREAVES** (EEUU - 1956), **JENSEN y HAISE** (EEUU - 1963) y **TURC** (FRANCIA - 1954).

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ET_p)

EVAPORACIÓN Y TRANSPIRACIÓN DE UN CAMPO CULTIVADO CON COBERTURA TOTAL Y SIN LIMITACIONES DE HUMEDAD, LO CUAL AISLA LOS FACTORES CLIMATOLÓGICOS DE TODOS LOS DEMÁS QUE AFECTAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_o)

EVAPORACIÓN Y TRANSPIRACIÓN DE UN CAMPO CON UN CULTIVO DE REFERENCIA (generalmente alfalfa) DE PORTE BAJO (10-30 cm), CON COBERTURA TOTAL Y SIEMPRE BIEN ABASTECIDO DE AGUA.

EVAPORACIÓN DEL TANQUE TIPO A (E_o)

EVAPORACIÓN DE UNA SUPERFICIE LIBRE DE AGUA, INTEGRADOR DE LOS PARÁMETROS CLIMÁTICOS, DE EXCELENTE CORRELACIÓN CON LA ET POTENCIAL O DE REFERENCIA.

$$ET_p \cong ET_o \cong E_o$$

"La excelente correlación que existe entre la evapotranspiración potencial o de referencia y la evaporación del Tanque Clase A, es la razón de que se use de forma rutinaria en la determinación de cuándo regar y cuánta agua es necesario aplicar al cultivo"

9.2.6 NECESIDAD DE AGUA DE LOS CULTIVOS

La necesidad de agua de riego (NR), corresponde a la cantidad de agua que debe ser aplicada a la unidad de riego, en los niveles que los cultivos puedan absorberla con facilidad, de acuerdo a sus requerimientos, asegurando su penetración y almacenamiento en la zona radicular.

Si el riego es la única fuente de agua, la necesidad de agua de riego será, como mínimo, igual a la evapotranspiración y normalmente debe ser mayor, con el fin de suplir posibles pérdidas durante el riego, como la necesaria para el lavado de sales, percolación profunda o por distribución desuniforme, tal como se aprecia en la *Figura 9.7*. En otros términos, el concepto de **necesidad de agua de riego**, considera la eficiencia de aplicación de agua de riego y las necesidades adicionales por concepto de lavado de sales, si fuere necesario. Por otra parte, si la planta está recibiendo parte del agua a través de otras fuentes, como la lluvia, agua almacenada en el suelo o de napas freáticas, la necesidad de riego puede considerarse menor que la de evapotranspiración.

La siguiente fórmula es utilizada para relacionar la evapotranspiración de un cultivo en un determinado período, se adapta excelentemente bien a cualquier método de riego ya sea por bordos, surcos, aspersión, goteo, microaspersión etc. lográndose siempre economía de agua, de mano de obra y buenos rendimientos.

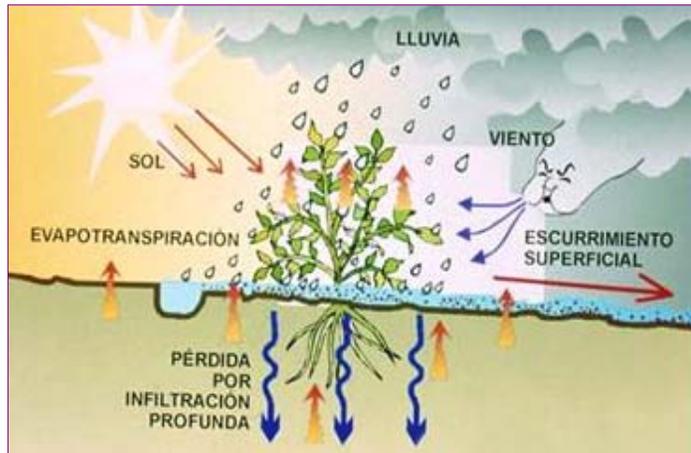


Figura 9.7 Esquema de las pérdidas de agua en el Sistema suelo – agua - planta

$$ETa = Kc \times Eo$$

- ETa** : Evapotranspiración actual (mm/día).
- Eo** : Evaporación del tanque Clase A (mm/día).
- Kc** : Coeficiente específico para cada cultivo. Varía con el estado fenológico para un cultivo determinado.

El riego no es un fin en si mismo, sino una medida para satisfacer las necesidades de humedad de la planta, cuando en forma natural no se logre un balance entre el agua disponible y la demanda. Las necesidades de riego dependen del desequilibrio que existe entre el agua disponible en el suelo y el agua que la planta consume. Esto sucede cuando la disponibilidad del agua es menor que el requerimiento de la planta.

La necesidad de agua de riego depende básicamente de:

a. CANTIDAD DE AGUA ABSORBIDA POR LOS CULTIVOS: factor cultivo

La frecuencia de riego, que se refiere al intervalo de tiempo o días que deben suceder entre dos riegos sucesivos, para obtener un óptimo rendimiento y calidad del producto de un determinado cultivo, depende de varios factores. Principalmente, depende del **tipo de cultivo**, existiendo

plantas que se afectan con mayor facilidad que otras cuando se produce déficit de humedad en el suelo. Asimismo, depende del **estado de desarrollo vegetativo del cultivo**. Las deficiencias de humedad en el suelo afectan los rendimientos, especialmente cuando suceden en periodos críticos para la planta (*germinación, floración y polinización*). Estos periodos críticos son específicos para cada cultivo. Por otra parte, el desarrollo del sistema radicular tiene enorme influencia en la capacidad de absorción de agua para un determinado cultivo. El tipo de sistema radicular que desarrolla una planta, está determinado por el genotipo. Cada especie tiene su propio hábito de crecimiento.

Sin embargo, depende en gran parte de las condiciones del suelo:

- ***La estratificación del perfil del suelo.***
- ***Presencia de agua freática cerca de la superficie.***
- ***Suelos compactados y/o presencia de estratos densos.***
- ***Suelos superficiales y/o gravosidad o pedregosidad en el perfil.***

Así, la demanda de agua se incrementa, conforme el cultivo alcanza diversos estados fenológicos, durante los cuales el incremento en área foliar de la planta hará aumentar también la capacidad de transpiración, progresivamente desde la germinación hasta el momento de máxima acumulación de materia seca y expansión foliar del cultivo.

En los cultivos anuales se distinguen cuatro etapas básicas:

▪ **PRIMERA ETAPA**

Etapa Inicial o de establecimiento del cultivo. Desde la siembra y hasta que el cultivo queda plenamente establecido en el campo: en esta etapa se han desarrollado las primeras hojas verdaderas y el cultivo cubre un 10% de la superficie. El consumo de agua por transpiración es limitada, en cambio, las pérdidas por evaporación desde la superficie del suelo pueden alcanzar cantidades significativas.

▪ **SEGUNDA ETAPA**

Etapa de rápido crecimiento del cultivo. Desde el final de la etapa inicial y hasta que el cultivo cubre efectivamente la superficie del suelo, aproximadamente un 80%. El consumo de agua por transpiración se incrementa progresivamente y está en función del aumento del área foliar transpirante, en cambio, la evaporación desde el suelo disminuye conforme el cultivo incrementa su cobertura.

▪ **TERCERA ETAPA**

Etapa de pleno crecimiento y de máxima evapotranspiración. Comprende desde la fase final del crecimiento rápido hasta el inicio de la maduración del cultivo. Se manifiesta por el inicio en la senectud del follaje (*se inicia generalmente por las hojas basales*) por translocación de fotosintatos. En muchos cultivos, los mm/día de agua evapotranspirados (*evapotranspiración real o del cultivo*) puede superar a la evapotranspiración potencial o de referencia (*evaluada en base a la evaporación del Tanque clase A o en base a modelos matemáticos*). En esta etapa se presenta, el momento de máximo consumo de agua. Se conoce como **periodo crítico del ciclo del cultivo**. En el cultivo de maíz se ocurre al momento de la polinización. En papa, desde la floración hasta 3 - 4 semanas antes de la cosecha. En el frijol y en muchas leguminosas de grano, al momento de formación de vainas.

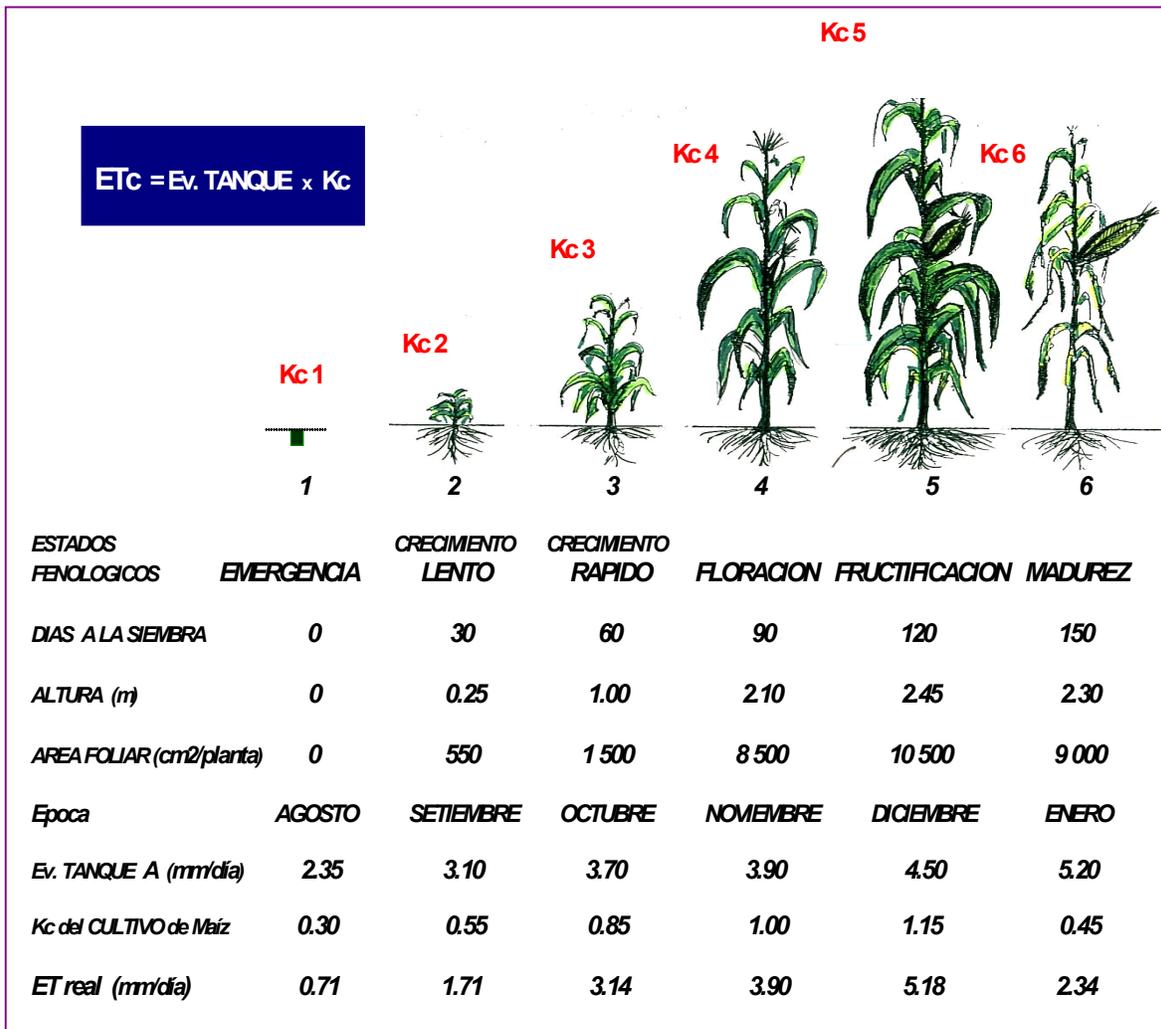
▪ **CUARTA ETAPA**

Etapa de maduración del cultivo hasta cosecha. Durante esta etapa, el consumo de agua disminuye significativamente hasta su término. El follaje se seca totalmente en cultivos de crecimiento determinado.

En el cultivo de maíz, los estados fenológicos son: emergencia, crecimiento lento (8 hojas), crecimiento rápido (totalidad de hojas), floración, polinización, llenado de grano y madurez. Cada uno de estos estados es muy

sensible en sus requerimientos hídricos (Kc) y nutricionales. Así, el requerimiento hídrico de este cultivo durante su ciclo vegetativo está entre 450 - 750 mm. Lo cual significa, que una hectárea de este cultivo necesita, en promedio una lámina de 600 mm. Esta lámina tiene un volumen de 600 mm x 10000 m² = 6000 m³/ha (1 mm de precipitación o de riego = 10m³/ha = 1l/m²). Si una hectárea de maíz tiene una densidad de 50,000 plantas, la necesidad promedio de agua de cada planta será igual a 6000:50000 = 0.12 m³ = 120 litros, durante su ciclo vegetativo.

Figura 9.8 Determinación de la Evapotranspiración del Cultivo de Maíz en base a sus valores Kc y a la Evaporación del Tanque clase A.



Localidad: La Molina – Lima. Altitud: 238 m.s.n.m. Clima: Desierto Tropical Árido Caluroso. Cultivo: Maíz Amarillo Duro.

b. DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO: factor suelo

La disponibilidad de agua en el suelo depende de la distribución porcentual de las partículas de arena, limo y arcilla (*textura*) y del tamaño, forma y grado de agregación de las mismas (*estructura*). El agua del suelo se encuentra alrededor de estas partículas. La *capacidad de retención* de agua del suelo está directamente relacionada con la superficie específica o interna, que es inversamente proporcional al tamaño de partículas. En otras palabras, un suelo arcilloso, o de textura fina, retendrá más agua que un suelo arenoso. Por otro lado, el agua se mueve más fácil y más rápidamente en un suelo arenoso y en un suelo con estructura estable. Por ello, estos suelos deben regarse con más frecuencia y en cantidades más pequeñas para evitar pérdidas de agua por percolación por debajo de la zona de raíces.

La determinación de la **capacidad de almacenamiento de agua** en un suelo es fundamental para estimar la lámina de agua que puede estar a disposición de los cultivos. La **lámina disponible** es la máxima cantidad de humedad que puede ser utilizada por las plantas y expresa la cantidad de agua que un suelo puede almacenar entre sus variables hidrodinámicas; capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PM) *Tabla 9.1*. La primera está en función de la naturaleza física del suelo y la segunda de la fisiología, morfología y anatomía de las plantas.

Tabla 9.1. Capacidad de Retención de Agua Disponible Para las Plantas y Coeficientes hidrodinámicos en Tres suelos tipo.

SUELOS	CC (% Vol)	PM (% Vol)	H. A. (Volúmenes disponibles)	Da (gr/cm ³)
Arenoso	8	3	5	1.75
Franco	30	14	16	1.50
Arcilloso	46	32	14	1.35

- CC : Contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (%)
- PM : Contenido de humedad del suelo a punto de marchitez (%)
- H.A. : Humedad aprovechable (%)
- da : Densidad aparente del suelo (gr/cm³).

Así mismo, una gran diversidad de factores influye en la disponibilidad del agua del suelo, tales como la distribución, profundidad y actividad de los sistemas radiculares, evapotranspiración, tensión de humedad, permeabilidad, etc.

La práctica del riego consiste en aprovechar la capacidad de retención de agua del suelo y su almacenamiento, para reponer periódicamente el agua que las raíces de las plantas extraen en forma continua. La capacidad del suelo para almacenar agua depende de dos factores: la capacidad de retención de agua por unidad de volumen de suelo y la profundidad de suelo ocupado por la mayor proporción de raíces fisiológicamente activas.

En **riego**, el contenido de humedad del suelo es expresado en términos de **altura de agua**, que indica la lámina de agua capaz de almacenar por unidad de profundidad de suelo. Esta expresión del volumen de agua a aplicar al suelo, a través del riego, permite la introducción del término **tiempo de riego**, que indica el tiempo (*en horas*) que debe permanecer el agua sobre el suelo para que penetre el volumen de agua necesaria para humedecer la zona radicular del cultivo a regar. Este concepto está relacionado directamente con el concepto de velocidad de infiltración, uno de los más importantes en las prácticas de riego, ya que a través de él se determina **cuánta agua** se va a aplicar al suelo, factor fundamental en el diseño de los métodos de riego ya sean gravitacionales o a presión.

Entre los más importantes fenómenos relacionados con los suelos se encuentran los de naturaleza puramente física, asociados con las propiedades que dependen de las interacciones entre las partículas sólidas y el líquido presente en el espacio poroso. La medición del contenido de agua del suelo tiene fundamental importancia para el riego, con el fin de establecer la frecuencia de riego (¿cuándo regar?) y la lámina a reponer en el suelo durante el riego (¿cuánto regar?). La forma directa y técnica para establecer la frecuencia y la lámina a aplicar, es determinar el contenido de agua que existe almacenada en el perfil del suelo en un momento dado (zona de raíces). En condiciones de campo es necesario la medida directa del contenido de agua, esta se expresa como la relación entre la masa de agua y la masa de suelo seco (0% hum.). Esta expresión gravimétrica (relación de masas), en riego, debe expresarse en términos de volumen (relación entre el volumen de agua y el volumen de suelo), para lo cual, es fundamental la densidad aparente del suelo. Finalmente, cuando se riega, la cantidad de agua aplicada se expresa en términos de carga o lámina de agua, cuyas unidades son de longitud (cm), pues resultan de la relación entre el volumen aplicado y la superficie de terreno que recibe el agua.

La siguiente fórmula es utilizada para calcular la cantidad de agua que puede almacenar un suelo en términos de lámina de agua (La):

$$La = \frac{CC - PM}{100} \times Da \times pr. \times C$$

- La** : Lámina de agua (cm.)
- CC** : Contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (% masa).
- PM** : Contenido de humedad del suelo a punto de marchites (% masa).
- Da** : Densidad aparente del suelo (gr/cm³).
- Pr** : Profundidad de raíces del cultivo (cm).
- C** : Criterio de riego (en riego tecnificado por gravedad y por aspersión: C = 50% de la humedad aprovechable. En riego localizado de alta frecuencia por goteo, microaspersión o exudación: C = 95 - 80% de la humedad aprovechable).

En la *Tabla 9.1* sobre capacidad de retención de agua disponible, se aprecia que para un suelo tipo de textura Franco, el volumen disponible entre **CC** y **PM** es 16, y si el criterio de riego por gravedad (*no válido para riego localizado de alta frecuencia*), es que el riego debe aplicarse cuando se consuma el 50% de la humedad aprovechable, la lámina de agua disponible por centímetro de suelo sería de 0.8 mm. Para una profundidad media de 40 cm. de suelo, (*profundidad del suelo en el que se encuentra la mayor proporción del sistema radicular, fisiológicamente activo en ese estado fenológico del cultivo*), sería de 32 mm = 3.2 cm., es decir de 320 m³/ha.

Esta cantidad de agua aplicada en un riego se conoce como **requerimiento de riego neto** y se refiere a la cantidad neta de agua que debe reponerse al suelo en cada riego y corresponde al volumen de agua que dicho suelo puede almacenar entre el contenido de humedad en capacidad de campo y el contenido de humedad seleccionado como punto de partida para el riego (*50% de la humedad aprovechable, consumida durante un intervalo entre riegos sucesivos*).

La condición ideal es que el riego se ejecute cuando el contenido de agua disponible en el suelo sea lo suficientemente alto, de manera que el suelo pueda suministrar agua con la rapidez necesaria para compensar las exigencias de la planta sin que ésta sufra ningún trastorno que pudiese reducir el rendimiento o calidad del producto a cosechar.

De otro lado, las necesidades reales de riego o **requerimiento de riego bruto**, cantidad de agua que debe aplicarse en cada riego al suelo, de manera de asegurar una infiltración suficiente de agua al perfil del suelo, que permita retener en la zona radicular agua de transpiración de acuerdo a las necesidades del cultivo, está sujeta a pérdidas inevitables determinadas por la desuniformidad en la aplicación del agua en el campo, causadas por evaporación directa, escurrimiento superficial y percolación profunda.

Para un determinado método de riego la **eficiencia de aplicación** depende de la calidad del diseño del sistema de riego, habilidad del regante, características físicas del suelo, nivel tecnológico, calidad de las estructuras de riego, etc. Así, para eficiencias promedio de riego por gravedad, del orden del 40%, el requerimiento de riego bruto, para el ejemplo anterior, sería de 320m³/ha/x 2.5 = 800 m³/ha, volumen que sería necesario disponer para llevar el suelo a su capacidad de campo a 40 cm. de profundidad en ese estadio del ciclo vegetativo del cultivo, y en ese suelo.

c. PODER EVAPORANTE DE LA ATMOSFERA: factor clima

El clima es uno de los factores más importantes que determinan el volumen de las pérdidas de agua por evapotranspiración de los cultivos y, por lo tanto, de las necesidades de riego. La **frecuencia de riego**, está entonces, directamente relacionada con las condiciones climáticas. Así, temperatura alta y humedad relativa baja provocan una mayor demanda de agua por los cultivos, lo que se traduce en la necesidad de disminuir los intervalos entre eventos de riego.

La evapotranspiración anual de los cultivos variará algo en algunos climas de un año a otro, ya que depende de la radiación solar que llega a la superficie del suelo (*la variación se estima en menos del 10%*). En comparación, la evapotranspiración mensual presentará un nivel mayor de variación, debido a la presencia de estaciones secas y húmedas claramente diferenciadas en el mismo mes (*la variación se estima en un 50%*).

Finalmente, la evapotranspiración diaria varía drásticamente, obteniéndose valores bajos en días lluviosos, húmedos, nublados y sin vientos. En cambio los valores altos se presentarán en los días soleados, secos y con fuertes vientos.

9.2.7 REQUERIMIENTO DE RIEGO

El requerimiento de riego neto se refiere a la cantidad de agua que debe reponerse al suelo en cada riego y corresponde al volumen de agua que dicho suelo puede almacenar, entre su capacidad máxima de retención y el nivel de humedad establecido como adecuado para el riego.

El criterio en riego por gravedad por surcos, para determinar este nivel de humedad es considerar un porcentaje de la humedad aprovechable entre **40%** y **60%**. En riego localizado de alta frecuencia, como el goteo, es por encima del **90%** de la humedad aprovechable (*tensiones de humedad por debajo de 0.6 bares*). Por otro lado, la necesidad real de riego o requerimiento bruto, es la cantidad de agua que debe aplicarse en cada riego, de manera de asegurar una cantidad determinada de agua en la zona de raíces, que permita satisfacer las necesidades de riego.

No es posible asegurar una eficiencia de riego del **100%**, no toda el agua que ingresa a un campo es retenida en la zona de raíces. Existen pérdidas inevitables causadas por desuniformidad en la aplicación del agua en el campo, por percolación más abajo de la zona radicular, por escurrimiento superficial al final del campo y por evaporación directa de la superficie del suelo y de la planta.

9.2.8 EFICIENCIA DE RIEGO (ER)

En las áreas bajo riego es fundamental el estudio de dos de los recursos más importantes para la sustentación de la agricultura; el suelo y el agua. La eficiencia con que los agricultores riegan depende del **manejo del agua durante el riego** y de las **características hidrodinámicas del suelo**. Esta Interacción es causa de una determinada eficiencia en el uso del agua con fines de riego. Casi siempre se aprecia que los diferentes métodos de riego operan con rangos de eficiencia diferentes con que fueron diseñados.

La eficiencia de los sistemas de riego superficiales, generalmente operan por debajo de su límite inferior, lo cual indica que se producen pérdidas considerables de agua por percolación profunda y por escurrimiento superficial y por tanto, no se proporciona a los cultivos, en forma homogénea, condiciones de humedad edáfica acordes con sus requerimientos. **La eficiencia total de riego (ER) está conformada por la eficiencia de conducción y la eficiencia agronómica, según la siguiente relación:**

$$ER = \text{EFICIENCIA DE CONDUCCION} \times \text{EFICIENCIA AGRONOMICA}$$

EFICIENCIA DE CONDUCCION (EC)

La eficiencia de conducción dependerá del tipo de revestimiento de los canales y del tipo de material en el cual se construyen los canales sin revestir (*en tierra*); un canal revestido de concreto tendrá una eficiencia de conducción de 90-95% y un canal en tierra, de **50-75%**. Las pérdidas por distribución dependerán de las obras y de las reglas de operación del sistema.

EFICIENCIA AGRONÓMICA O DE UTILIZACIÓN (EU)

Considera las eficiencias de **aplicación**, **almacenamiento** y **distribución**, según la relación:

$$EU = Eap \times Eal \times Ed$$

- Eap* : Eficiencia de aplicación.
- Eal* : Eficiencia de Almacenamiento.
- Ed* : Eficiencia de Distribución.

Para un determinado sistema de riego, la eficiencia agronómica dependerá de:

- La viabilidad del diseño.
- La habilidad del regante u operador del riego.
- Las características físicas del terreno.
- Nivel tecnológico.
- La calidad de la infraestructura.

Así, con la finalidad de que la cantidad de agua neta quede retenida en la zona de raíces, es necesario aplicar un volumen mayor de agua al terreno, contrarrestando así las pérdidas durante el riego:

$$\text{REQUERIMIENTO DE RIEGO A NIVEL DE PARCELA} = \frac{\text{REQUERIMIENTO NETO}}{\text{EFICIENCIA AGRONÓMICA}}$$

EFICIENCIA DE APLICACIÓN (Eap)

La **eficiencia de aplicación** es la relación entre el volumen de agua que es necesario reponer en la zona de raíces y el volumen total de agua aplicado al terreno. Para el riego por surcos esta eficiencia está alrededor del 30 al 60%; para aspersión móvil, del 65 al 80%; para aspersión permanente, del 75 al 85%; para micro aspersión, del 80 al 90%; para goteo, del 85 al 95%, y; para exudación, del 95 al 98%.

$$Eap = \frac{\text{Agua almacenada en la zona radicular}}{\text{Agua total aplicada}}$$

La eficiencia con que los agricultores aplican una determinada cantidad de agua al suelo depende de dos factores fundamentales: el manejo del agua durante el riego y de las características hidrodinámicas del suelo que se riega. En el manejo del agua, varios aspectos interactúan en forma determinante en la eficiencia de aplicación del agua de riego: 1) El diseño del sistema de riego (dimensiones y orientación del campo, pendiente, infraestructura de riego, recepción de aguas etc. 2) Los caudales utilizados y la dirección del flujo de agua sobre la superficie de riego 3) La frecuencia de riego y 4) El tiempo de riego o tiempo de contacto del agua con la superficie del suelo. Entre las características hidrodinámicas son determinantes: 1) La velocidad de infiltración del agua, 2) La capacidad de retención del agua por el suelo, 3) La profundidad del suelo y su estratificación y 4) La densidad en volumen de los diferentes estratos del suelo, resultante de complejas interacciones entre la textura y la estructura del suelo.

En el caso de sistemas de riego localizado como goteo la uniformidad en la aplicación del agua depende primordialmente de dos factores: 1 Las características de los emisores (variaciones en la tasa de descarga del emisor por diseño y fabricación, rango posible de presiones de operación, pérdida de presión en los laterales, obturaciones etc.) y 2. El criterio usado en el diseño (eficiencia en el filtrado del agua, relaciones de descarga y presión en el sistema de control, variaciones permitidas en la carga de presión, tratamientos químicos en el agua).

EFICIENCIA DE AMACENAMIENTO (Eal)

En riego por superficie (*surcos, melgas o aspersión*) en algunos casos la eficiencia de aplicación de agua puede ser muy alta, sin embargo, la calidad del riego ser muy baja debido a una insuficiente aplicación de agua al terreno. Por ello, es de gran utilidad el concepto de **eficiencia de almacenamiento** del agua que indica en qué medida ha sido almacenada el agua en la zona radicular.

$$E_{al} = \frac{A_a}{A_n}$$

- Eal** : Eficiencia de almacenamiento.
- Aa** : Agua almacenada en la zona de raíces durante el riego (volumen almacenado).
- An** : Agua que necesita la zona de raíces antes del riego (volumen necesario para llegar a capacidad de campo).

EFICIENCIA DE DISTRIBUCIÓN (Ed)

En la práctica del riego es muy importante que la distribución del agua en la zona de raíces sea uniforme, ya que la respuesta del cultivo está relacionada con el grado de distribución. Una distribución desigual da lugar a que el terreno presente excesos de agua en algunas partes y déficit en otras.

$$E_d = 1 - \left[\frac{Y}{L_a} \right]^{100}$$

- Y** : Promedio de las desviaciones de las láminas de agua aplicada en diferentes puntos con respecto al espesor medio de la lámina aplicada durante el riego.
- La** : Lámina aplicada durante el riego.

Es importante aclarar que una eficiencia de almacenamiento del 100% no siempre es la más conveniente, ni tampoco indica un riego adecuado, ya que es posible llevar la zona radicular hasta la capacidad de campo (cc) pero con pérdidas significativamente altas, por escurrimiento superficial y/o percolación profunda. De igual manera, una eficiencia de aplicación o distribución cercana al 100% no siempre es la más aconsejable, siendo necesario aplicar una o varias veces a lo largo del año, riegos con grandes volúmenes de agua con la finalidad de lavar el exceso de sales por debajo de la zona de raíces. La estimación de la eficiencia de riego (ER), así como de las eficiencias de aplicación (Eap), de almacenamiento (Ea) y de distribución (Ed), se realizan tal como en la *figura 8.9*. En la *figura 8.10* se presenta, gráficamente varios ejemplos de la eficiencia de riego.

Los métodos de riegos superficiales; tradicionales o tecnificados, están diseñados para ser aplicados con una determinada eficiencia, dentro de un rango relativamente corto. Por debajo de su límite inferior, la eficiencia indica que se producen pérdidas considerables de agua por percolación y/o por escurrimiento. Si la eficiencia está sobre el límite superior, indica que el riego es poco adecuado para reemplazar el agua consumida por los cultivos. Por lo tanto, es necesario establecer, un rango de eficiencia para cada método de riego, lo que hace imprescindible definir los componentes de esta eficiencia y analizar su importancia desde el punto de vista agronómico, económico y práctico. En sistemas de riego localizado como goteo, la eficiencia está relacionada con la tasa promedio de descarga por el tiempo que dura el riego. Este parámetro tiene un único significado y no debe ser comparado con los obtenidos en otros métodos de riego. Asimismo, en goteo no se considera la eficiencia de almacenamiento (Ea), debido a que la zona radicular no es completamente humedecida, como si lo es con los sistemas por gravedad y por aspersión. Eficiencias de aplicación del 100% en métodos de riego superficiales son un indicador de un riego agrónomicamente inadecuado. Asimismo, Eficiencias de almacenamiento y distribución muy alta, implican elevados costos de infraestructura, equipos y operación del riego, que casi siempre son superiores a los beneficios derivados de su aplicación.

EFICIENCIA DE RIEGO EN UN SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO

El Término eficiencia es comúnmente utilizado por la ingeniería para expresar la razón de la potencia de salida a la potencia de entrada de un mecanismo. Una alta eficiencia (*cerca de uno*)

indica que existe muy poca potencia perdida dentro de la máquina. Conceptos similares son usados en la evaluación de los sistemas de riego, sin embargo, las cantidades de entrada y salida del sistema son cantidades de agua en lugar de cantidades de potencia. Las eficiencias son definidas de tal manera que un sistema bien diseñado y operado tendrá una alta eficiencia. Los parámetros que definen la eficiencia de un **sistema de riego localizado de alta frecuencia como goteo** están en función de la distribución de agua, la cual a su vez está en función de factores de diseño, operación y edáficos.

En el riego por goteo el agua es transportada y distribuida través de una red de tuberías hasta los puntos donde se infiltra en el suelo. La uniformidad de la aplicación depende completamente de la uniformidad que tenga las descargas de los emisores en todo el sistema.

El objeto de un buen diseño en riego por goteo es proveer una adecuada capacidad de flujo en el sistema para irrigar eficientemente aquellas plantas que recibirán menos cantidad de agua. Por tanto, la relación entre los emisores que descargan el mínimo y los emisores que descargan el promedio de agua en el sistema, es el factor más importante de la uniformidad de aplicación. El concepto que considera la uniformidad de descarga de los emisores en todo el sistema se denomina Eficiencia de uniformidad (*uniformidad de emisión*): $EU = 100 qn/qa$, donde qn es el promedio del 25% de los valores de descarga más bajos dentro del sistema y qa es el promedio de descarga de todos los emisores dentro del sistema (*valores recomendados para la EU por encima del 90% son deseados en el diseño de un sistema de riego por goteo*).

Si la proporción de transpiración: $TR = \text{agua almacenada en la zona radicular} / (qn \cdot t)$, donde, t es el tiempo de riego, la Eficiencia de aplicación $Eap = TR \cdot EU$ y por tanto:

$$Eap = \frac{\text{agua almacenada en la zona radicular}}{qn \cdot t} \times \frac{qn}{qa} \times 100 = \frac{\text{agua almacenada en la zona radicular}}{qa \cdot t} \times 100$$

En donde el producto $qa \cdot t$ significa el **agua total aplicada** (*tasa de descarga promedio multiplicada por el tiempo que dura el riego*).

Este parámetro de eficiencia, tal como está definido, tiene significado solo para el sistema de riego por goteo y no puede ser comparado con los obtenidos en otros métodos de riego.

En el riego por goteo no se considera el parámetro conocido como eficiencia de almacenamiento, debido a que la zona radicular no es completamente humedecida cuando se riega por este método

Tabla 9.2 EFICIENCIA DE RIEGO PARA DIFERENTES SISTEMAS Y METODOS DE RIEGO

SISTEMA DE RIEGO	EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN (%)	EFICIENCIA AGRONOMICA (%)			EFICIENCIA TOTAL (%)
		E. APLICACIÓN	E. ALMACENAMIENTO	E. DISTRIBUCIÓN	
GRAVEDAD					
MELGAS	0.50	0.40	0.85	0.60	10.2
SURCOS	0.50	0.65	0.85	0.75	20.7
ASPERSION	1.00	0.90	1.00	0.80	72.0
GOTEO	1.00	0.95	1.00	0.90	85.5
EXUDACION	1.00	1.00	1.00	0.98	98.0

EFICIENCIA DE RIEGO (ER)

ER	=	EFICIENCIA DE CONDUCCION	x	EFICIENCIA AGRONOMICA		
EFICIENCIA AGRONOMICA	=	EFICIENCIA DE APLICACIÓN	x	EFICIENCIA DE ALMACENAMIENTO	x	EFICIENCIA DE DISTRIBUCION
EU	=	E ap	x	E al	x	E d

- **EFICIENCIA DE APLICACIÓN (E ap)** = RELACION QUE EXISTE ENTRE EL VOLUMEN DE ENTRADA AL SECTOR DE RIEGO Y EL AGUA QUE QUEDA RETENIDA EN LA ZONA DE RAÍCES ($E_{ap} = h_{entrada} - h_{pérdida} / h_{entrada}$).

VOLUMEN APLICADO A LA UNIDAD DE RIEGO, MENOS LAS PERDIDAS POR ESCORRENTIA SUPERFICIAL, PERCOLACION PROFUNDA Y POR EVAPORACION DIRECTA.
 Es una variable continua dentro del rango de 0 a 1 (0 a 100% . Una eficiencia del 100% No indica necesariamente un buen riego). Una variación pequeña en la E_{ap} tiene un efecto significativo sobre la tasa de riego, es decir sobre el volumen de agua que debe utilizarse en el riego, por unidad de superficie. Esta eficiencia utilizada en estudios sobre balances hidrológicos, guarda relación con la técnica misma del riego.

- **EFICIENCIA DE ALMACENAMIENTO (E al)** = RELACION ENTRE EL AGUA ALMACENADA EN EL PERFIL DEL SUELO Y EL AGUA NECESARIA PARA LLEVAR EL PERFIL A SU CAPACIDAD MAXIMA DE RETENCION EN LA ZONA RADICULAR ($E_{al} = h_{almacenada} / h_{para CC}$).

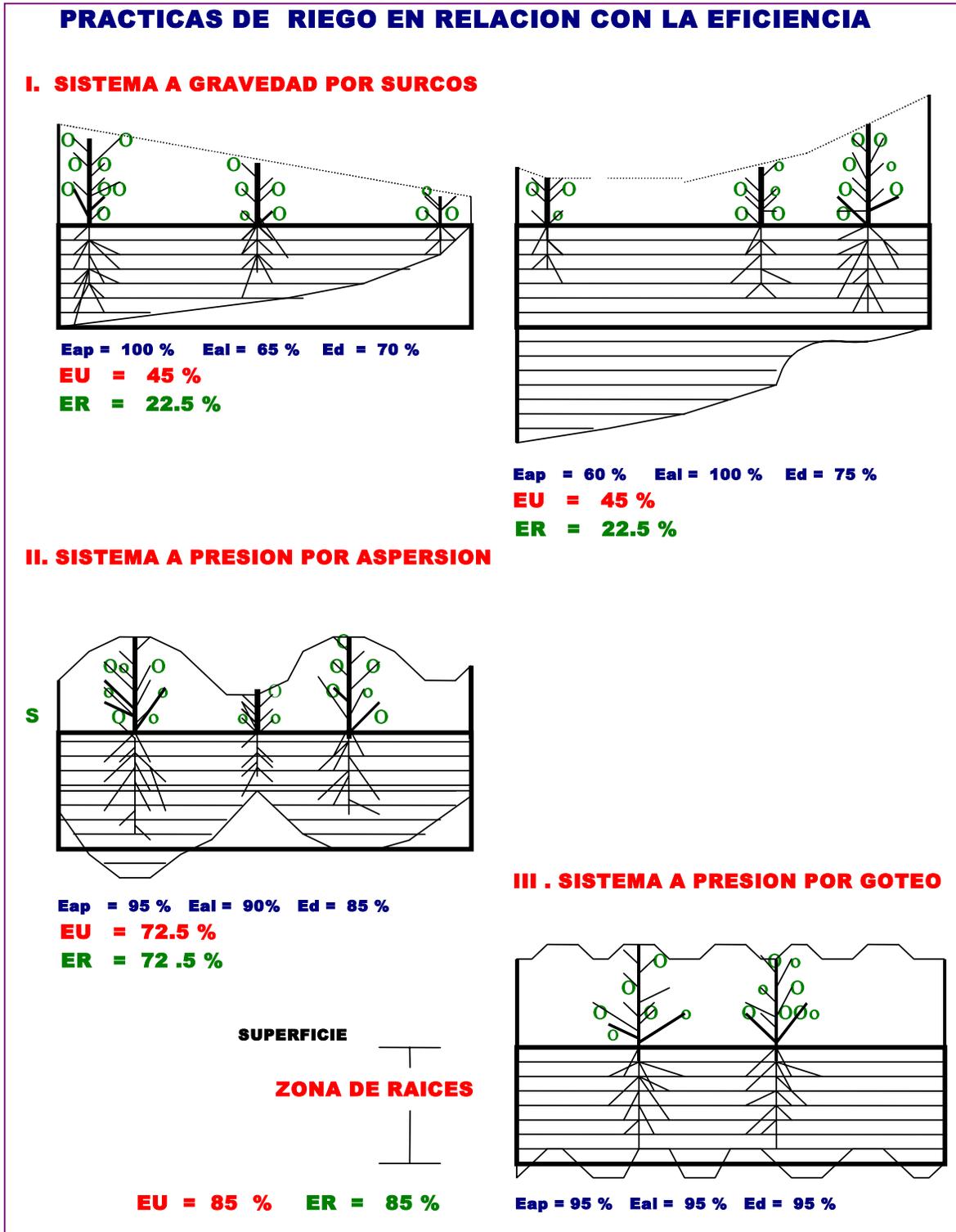
La lámina de agua (h) almacenada en la zona de raíces a capacidad de campo (CC) depende del tiempo de riego, el cual está en relación a la velocidad de infiltración y del contenido de agua del suelo antes del riego. Una E_{al} de 100% no indica un riego adecuado, ya que es posible llevar el perfil a CC, pero con una pérdida por escurrimiento y/o percolación profunda significativamente alta.

- **EFICIENCIA DE DISTRIBUCIÓN (E d)** = RELACION ENTRE EL PROMEDIO DE LA PROFUNDIDAD ALCANZADA POR EL AGUA EN EL PERFIL DURANTE EL RIEGO Y LA DESVIACIÓN DE ESTE PROMEDIO, PARA UN NÚMERO DETERMINADO DE PUNTOS ESPECIFICOS DE MUESTREO.

Mientras más pequeña sea la desviación de observaciones respecto al promedio de profundidades , es decir, mientras más uniforme sea la lámina de agua almacenada en cada punto a lo largo del campo regado, mayor será la eficiencia de distribución o de uniformidad. La respuesta del cultivo está relacionada con la uniformidad de distribución del agua

Figura 9.9 Concepto de Eficiencia de riego. Sus componentes.

Figura 9.10 Perfiles esquemáticos que muestran la Eficiencia de Riego para diferentes métodos de riego.



9.2.9 FRECUENCIA DE RIEGO

La **frecuencia de riego** se refiere al intervalo de tiempo o días que deben pasar entre riegos sucesivos. En otras palabras responde a la pregunta **¿Cuándo regar?**, para obtener un rendimiento adecuado en cantidad y calidad de un determinado cultivo.

La condición ideal es que el riego se ejecute cuando el contenido de agua disponible en el suelo sea lo suficientemente alto, de tal manera que el suelo pueda suministrar agua con la rapidez necesaria para compensar las exigencias de la planta sin que ésta sufra ningún trastorno que pueda reducir el rendimiento o calidad del producto cosechado.

LA FRECUENCIA DE RIEGO DEPENDE DE VARIOS FACTORES:

- **Tipo de cultivo.**- Algunas plantas son afectadas más drásticamente que otras cuando se produce una deficiencia de humedad en el suelo.
- **Estado vegetativo.**- El déficit de humedad en el suelo afecta los rendimientos especialmente cuando se presenta en períodos críticos para la planta. Los períodos de **germinación, floración y fructificación**, son de gran importancia, siendo específicos para cada cultivo. Por otro lado, la cantidad de follaje y el área foliar expuesta varía con el ciclo vegetativo, lo que implica que las necesidades de agua, y por ende la frecuencia de riego, también deben ser diferentes.
- **Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.**- Suelos profundos y de textura más fina presentan una mayor capacidad de retención de humedad, por lo tanto, los riegos en estos suelos pueden distanciarse más que en los suelos arenosos, esqueléticos y superficiales.
- **Condiciones climáticas.**- Altas temperaturas, vientos secos y baja humedad relativa del aire, provocan una mayor demanda de agua por los cultivos, que se traduce en la necesidad de disminuir los intervalos de riego.
- **Disponibilidad de agua en el campo.**- Si la disponibilidad de agua es limitada, la frecuencia de riego estará fijada por este factor.

Por lo tanto, para determinar el momento óptimo en que debe aplicarse el agua de riego deberá considerarse la interacción de los factores antes mencionados, lo que en la práctica, es difícil de lograr. En la actualidad, es ampliamente reconocido el hecho de que el crecimiento de las plantas esté directamente relacionado con el contenido de agua en sus tejidos.

A medida que disminuye el agua en ellos, hasta ser deficiente, se presentarán trastornos fisiológicos con la consecuente reducción del crecimiento y rendimiento de los cultivos. Para mantener los tejidos de las plantas en condiciones óptimas, en términos de humedad, debe existir un adecuado balance entre la absorción de agua y las pérdidas por transpiración. Si este balance pudiera ser determinado en forma práctica y rápida se tendría la solución óptima al problema de **cuándo regar**, ya que se estarían integrando todos los factores que intervienen en este fenómeno.

EL COLOR DE LA PLANTA COMO ÍNDICE DE STRESS

"El marchitamiento de las plantas es el signo más característico del déficit de agua. Cuando se presenta, el crecimiento y rendimiento de las plantas ha sido seriamente afectado"

Una guía práctica que ha sido utilizada en el riego de algunos cultivos, es el típico cambio de color del follaje, el cual es característico para cada especie vegetal y está relacionado con la deficiencia de agua en sus tejidos. Así, las hojas de maíz, frijol, maní y algodón, por ejemplo, se tornan de color verde azulado o verde oscuro a medida que disminuye el agua disponible en el suelo. El frijol

es el cultivo que mejor responde a este fenómeno, también el maíz cambia de color acompañado de un enrollamiento de las hojas cuando el déficit de agua es intenso.

"Si el agricultor espera el signo visual del déficit de agua por la planta, para programar el riego, el cultivo ya habrá sido afectado en su fisiología en forma irreversible"

ESTIMACIÓN DE LA FRECUENCIA DE RIEGO SEGÚN NIVELES DE HUMEDAD DEL SUELO

Se basa en la estimación o medición del nivel de humedad del suelo. Existen varios métodos. El más simple y económico consiste en tomar muestras de tierra a diferentes profundidades con un barreno, determinándose por sensación visual y táctil su contenido de humedad. Aunque existen guías de campo que resumen las sensaciones producidas, el resultado no es exacto y sólo con experiencia es posible hacer estimaciones con un 15 a un 20 por ciento de error.

Los **tensiómetros** son instrumentos que dan una medida indirecta de la humedad del suelo. Las mediciones se toman en unidades de presión denominadas centibares (**cbar**), que van de 0 a 100. Una lectura de 0 indica que el suelo está cercano a la saturación, condición en que las plantas pueden sufrir por falta de oxígeno. Si el riego ha sido bien hecho, la lectura debe ser cercana a 0 después de 24 horas. El aparato debe ubicarse en la zona de máxima concentración de raíces; si el riego se hace por surcos debe ponerse lo más cerca posible del surco, protegido del paso de la maquinaria. Las lecturas que indican cuándo regar son variables y dependen del tipo de suelo y del clima. Para el caso del maíz, la recomendación general es regar cuando la lectura del tensiómetro, ubicado a 50 ó 60 cm de profundidad, es de 50 a 70 centibares, las lecturas deben hacerse cada dos días. Los tensiómetros **no son adecuados para suelos arenosos** y para aquéllos que tienen problemas de drenaje.

La ubicación de cualquier medición de humedad del suelo es de mucha importancia. Esta debe hacerse necesariamente al inicio y final del surco elegido con la finalidad de determinar si se está humedeciendo en forma homogénea el campo. También deben realizarse mediciones en partes del campo que se muestren disímiles o posean características especiales (**zonas de secamiento rápido o zonas que permanecen húmedas por períodos prolongados**) y sobre todo en lugares representativos del campo.

En algunos cultivos sembrados en surcos, las mediciones deberán realizarse sobre la hilera, lo más cerca posible de la planta. En caso de árboles frutales, éstas deberán hacerse a distancias de 60 a 100 cm. del tronco.

ESTIMACIÓN DE LA FRECUENCIA DE RIEGO SEGÚN RELACIÓN : AGUA – SUELO – PLANTA – CLIMA

Considera las características del clima, del cultivo y del suelo, para lo cual se utiliza elementos integradores como es el Tanque de Evaporación. En términos generales este método requiere conocer:

- **Evapotranspiración.** necesidad de agua del cultivo en cortos períodos de tiempo en los diferentes estados de desarrollo vegetativo;
- **Caracterización físico-hídrica del suelo.** que incluye capacidad de campo, punto de marchites permanente, densidad aparente y humedad aprovechable del suelo;
- **Volumen tolerable de extracción de agua.** en relación a la demanda de evaporación, sin perjudicar los rendimientos, y; **Profundidad efectiva de las raíces** del cultivo.

La frecuencia de riego se estima teniendo en cuenta la evapotranspiración real (**ET_r**), la humedad aprovechable del suelo (**HA**) y el criterio de riego (**Cr**). Para la estimación de la evapotranspiración real (**ET_r**) puede utilizarse el método práctico del Tanque de Evaporación o cualquiera de las fórmulas empíricas existentes. La caracterización físico-hídrica del suelo (**capacidad de campo, punto**

de marchites permanente, densidad aparente, datos con los que se calcula la humedad aprovechable) se requiere hacer análisis en laboratorios de riego. En cuanto al criterio de riego, por ejemplo para el maíz se ha establecido que debe regarse cuando se ha agotado un 40% de la humedad aprovechable en el período de establecimiento, entre el 30 y 40% durante la floración y formación de la cosecha y hasta el 70-80% en el período de maduración.

Figura 9.11 Calificación del régimen hídrico y respuesta de la capacidad de producción de las plantas.

CALIFICACION DEL REGIMEN HIDRICO VERSUS LA CAPACIDAD DE PRODUCCION DE LAS PLANTAS CULTIVADAS			
ESTADO ENERGETICO DEL AGUA DEL SUELO (bars)	CALIFICACION DEL REGIMEN HIDRICO	CONDICIONES DEL SUELO	COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DE LOS CULTIVOS
0 - 0.33	EXCESO	<ul style="list-style-type: none"> ◆ MAL DRENAJE. ◆ BAJA PERMEABILIDAD. ◆ SIN ESTRUCTURA . ◆ SODICIDAD. 	<p>CRECIMIENTO SERIAMENTE LIMITADO POR FALTA DE OXIGENO.</p> <p>PRODUCCION NULA</p>
0.33 - 1.0	OPTIMO	<ul style="list-style-type: none"> ◆ DRENAJE OPTIMO. ◆ ESTRUCTURA EN BLOQUES O GRANULAR. ◆ BAJA SALINIDAD. ◆ AGUA DE BUENA CALIDAD. 	<p>CRECIMIENTO Y DESARROLLO NORMAL DE LOS CULTIVOS.</p> <p>PRODUCCION MAXIMA</p>
1.0 - 2.0	LIMITADO	<ul style="list-style-type: none"> ◆ SALINIDAD INCIPIENTE ◆ TEXTURA GRUEZA ◆ BAJO NIVEL DE M. O. ◆ .BAJA FERTILIDAD 	<p>CRECIMIENTO Y DESARROLLO VARIABLE. <u>SE INICIA EL ESTRES FISIOLÓGICO</u></p> <p>PRODUCCION VARIABLE</p>
2.0 - 5.0	CRITICO	<ul style="list-style-type: none"> ◆ SUELOS SUPERFICIALES. ◆ AGUA DE MALA CALIDAD, ◆ BAJA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HIDRICO. ◆ ARENAS, GRAVOSIDAD. ◆ SALINIDAD ELEVADA 	<p>CRECIMIENTO Y DESARROLLO AFECTADO. EL CULTIVO SUFRE ALTERACIONES FISIOLÓGICAS Y CAMBIOS MORFOLÓGICOS.</p> <p><u>ESTRÉS EVIDENTE</u></p> <p>PRODUCCION REDUCIDA</p>
5.0 - 15.0	DAÑINO	<ul style="list-style-type: none"> ◆ SUELOS INFERTILES. ◆ SALINIDAD / SODICIDAD ◆ AGUA DE MUY BAJA CALIDAD ◆ MUY BAJA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HIDRICO 	<p>SERIAS ALTERACIONES EN LOS TEJIDOS VEGETALES. EL CULTIVO SE DESECA..</p> <p><u>ESTRÉS SEVERO</u></p> <p>PRODUCCION NO COMERCIAL</p>
> 15.0	LETAL	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ARIDEZ EXTREMA. ◆ RECURSO HIDRICO NO DISPONIBLE 	<p>CESA EL CRECIMIENTO VEGETAL. DESORGANIZACION A NIVEL CELULAR. <u>MUERTE PREMATURA.</u></p> <p>PRODUCCION NULA</p>

9.2.10 TIEMPO DE RIEGO O CUANTO REGAR

El **tiempo de riego** es el período que debe permanecer el agua escurriendo sobre el suelo para que penetre hasta la profundidad de raíces del cultivo. Una forma práctica de determinarlo es a través de la profundidad de las raíces. Por ejemplo, en suelos profundos las raíces del maíz pueden llegar a una profundidad de 2 m, pero la mayor parte se sitúa en los primeros 60 a 80 cm, produciéndose en esa capa de suelo cerca del 90% de la absorción de agua. Esto indica que los riegos en esos suelos deben humedecer hasta esa profundidad para lograr la máxima eficiencia. Los tiempos de riego para mojar 1,0 m de profundidad en diferentes texturas de suelo, considerando un contenido de humedad inicial equivalente al 40% de la humedad aprovechable se indican en la **Tabla 9.3**.

Tabla 9.2 Tiempo de riego promedio para humedecer hasta 1,0 m de profundidad en diferentes tipos de suelo

Textura	Tiempo de riego (hr)
Arcilloso	15 a 25
Franco arcilloso	10 a 18
Franco y Franco arenoso	8 a 10
Arenoso	4 a 6

Una forma simple de estimar los tiempos de riego es mediante una prueba de campo. Para ello se eligen cuatro grupos de surcos y basándose en la pauta anterior se seleccionan y aplican diferentes tiempos de riego. Después de 24 a 48 horas de haber regado se excavan calicatas y se observa hasta donde avanzó el frente de humedad. Luego se compara el resultado con la profundidad de raíces del cultivo.

EJEMPLO DE CÁLCULO DE FRECUENCIA DE RIEGO Y VOLUMEN DE AGUA A APLICAR

Para un **cultivo de maíz** de 150 días, sembrado en un suelo **franco**, con riego por **surcos**, se tiene los siguientes datos para el mes de **enero**, en que la planta está en el período de **floración-polinización**.

- **Evaporación de tanque (Eo) = 5.20 mm/día.**
- **Coefficiente de tanque Evaporímetro (kt) = 0.85**
- **Coefficiente de cultivo kc = 1.00**
- **Capacidad de campo (CC) = 22% hum . en peso**
- **Punto de marchites permanente (PMP) = 10% hum. En peso**
- **Densidad aparente del suelo (Da) = 1,45 g/cm³**
- **Profundidad de las raíces (pr) = 60 cm**
- **Criterio de riego (CR) = 60% de la humedad aprovechable (abatimiento de la HA = 40%)**
- **Eficiencia de riego (ER) = 35%**

Solución:

La evapotranspiración del cultivo (Etc) es:

$$ETc = (Kc \times Kp) \times Eo = (1.00 \times 0.85) \times 5.20 \text{ mm/día} = 4.42 \text{ mm/día}$$

La humedad aprovechable del suelo será: $(CC - PMP) Da = 17.4$ volúmenes de humedad

La lámina de agua que debe reponerse en cada riego será

$$La = \frac{CC - PMP}{100} \times Da \times pr. \times CR \frac{(22-10)}{100} \times 1,45 \text{ g/cm}^3 \times 60 \text{ cm} \times 0.6 = 6.264 \text{ cm} = 62.64 \text{ mm}$$

La frecuencia de riego será:

$$FR = \frac{Ln}{ETc} = \frac{62.64 \text{ mm}}{4.42 \text{ mm/día}} = 14.2 \text{ días} = 14 \text{ días}$$

La lámina bruta de agua que debe reponerse en cada riego será:

$$Lb = \frac{Ln}{ER} = \frac{62.64 \text{ mm}}{35/100} = 178.9 \text{ mm/riego}$$

Esto significa que para regar una hectárea se debe aplicar un volumen de:

$$\frac{178.9 \text{ mm/riego} \times 10000 \text{ m}^2/\text{ha}}{1000 \text{ mm/m}} = 1,789 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Para la programación de los riegos que se deben aplicar al cultivo en cada mes debe seguirse el mismo procedimiento adecuando los datos a las condiciones del momento (*estado fenológico del cultivo y valores de las variables climáticas*). Lo único que no varía son las variables hidrodinámicas del suelo (CC, PMP Y Da)

9.3 PLANIFICACIÓN PREDIAL CON FINES DE RIEGO

Uno de los factores más importantes para lograr la máxima eficiencia en un proyecto de riego se refiere a la planificación del predio en forma integral.

Al respecto, la información básica que se requiere para una adecuada planificación, es la siguiente:

MAPAS AEROFOTOGRAMÉTRICOS Y TOPOGRÁFICOS

El uso de *fotografías aéreas*, que pueden ser adquiridas con relativa facilidad, permite tener una visión general del relieve del campo, el sistema actual de acequias, canales de riego, drenes, cercos e instalaciones varias, además de tener una visión general del relieve del terreno. A pesar del costo relativamente alto de una fotografía, los múltiples usos que se puede obtener con ellas, justifica su utilización en la planificación y desarrollo permanente de un predio agrícola.

Otro elemento básico fundamental es el *mapa o plano topográfico*, el cual permite observar en detalle las características del predio. Cuando se trata de un plano que va a ser utilizado para planificación y diseño de sistemas de riego, la escala es de gran importancia, la que depende del tamaño del predio. Planos a escala 1:1000 a 1:2000, con lecturas en el terreno cada 25 a 50 m y curvas a nivel trazadas a equidistancias de 0.20 a 1.0 m, según la pendiente, que contengan todos

los detalles planimétricos de interés resultan adecuados para fines de planificación de un predio con fines de riego. Perfiles longitudinales y transversales del trazado de acequias que componen la red de riego o tuberías de conducción y distribución, completan la información topográfica necesaria. Asimismo, la altura del nivel de agua en la estructura de entrada al predio constituye un dato fundamental para proyectar el sistema. Otros elementos importantes a identificarse en un plano topográfico son: caminos, canales, red eléctrica, cercos, plantas de bombeo, etc. Deben considerarse, además, los límites de la propiedad y la superficie de los diferentes sectores claramente identificados. Es importante además, incluir los accidentes topográficos que pueden facilitar la evacuación de las aguas, en especial los cauces naturales o artificiales que actúan como colectores de drenaje o escurrimientos superficiales.

MAPAS DE SUELOS

La planificación del predio con fines de riego, requiere del **estudio de suelos a nivel de detalle**, recomendándose un mínimo de una observación por hectárea y mapas publicados a escala 1:5,000 a 1:10,000.

El estudio de suelos debe estar dirigido fundamentalmente a determinar la capacidad de almacenamiento de agua, con la finalidad de estimar la cantidad de agua que debe reponerse en el riego. La energía con que el agua está retenida a diferentes niveles de humedad, con la finalidad de estimar la frecuencia de los riegos o el momento más oportuno. Además, debe determinarse la **velocidad de infiltración**, con la cual se define el tiempo de riego y, en algunos casos, el método de riego. Así mismo, para lograr los objetivos de un estudio de suelos para la planificación del riego, se debe incluir la **caracterización morfológica del perfil del suelo** en el campo, indicando las características físicas y químicas de cada uno de los horizontes de cada suelo identificado.

NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS

Un factor importante que debe considerarse en la planificación de un predio agrícola, con fines de riego, es la determinación de las necesidades de agua. Para ello, debe tenerse en cuenta la rotación de cultivos y determinar en base al cultivo de mayor consumo de agua, en el momento de máximo crecimiento y en el mes donde es mayor el poder evaporante de la atmósfera, y el requerimiento hídrico del predio, teniendo en cuenta la eficiencia del sistema de riego implementado. Asimismo, tan importante como conocer las necesidades de agua del predio, es también conocer el caudal de agua que se dispone. **Al respecto, para riego por surcos es necesario de 1.5 a 2.5 l/s/ha, para riego por bordos o melgas, de 1.2 a 2.0 l/s/ha; para goteo, de 0.5 a 0.9 l/s/ha, y; para riego por exudación, de 0.4 a 0.6 l/s/ha.**

Los menores valores que se requieren en los métodos de riego localizado de alta frecuencia, como goteo y exudación, se deben a que sólo humedecen una parte de la superficie del suelo, aproximadamente de 30 a 60% y a que las eficiencias son más altas, alrededor de 80 a 95%. Al respecto, el uso de registros continuos en el caudal del predio, es recomendable para tener conocimiento real del agua con que se cuenta, sobre todo cuando la dotación es escasa.

9.4 METODOS DE RIEGO

Se entiende por método de riego, la forma en que se aplica el agua al suelo para que sea utilizada por la planta. Los métodos más comúnmente utilizados se clasifican como riego superficial o por gravedad y riego a presión.

Para que un sistema de riego funcione eficazmente en la selección y diseño, tanto el que lo diseña como el usuario deben considerar los siguientes aspectos: 1. Los beneficios del riego deben incrementar los ingresos económicos, de tal manera que cubran los costos de inversión, instalación, operación y mantenimiento del sistema de riego y también deben generar utilidades adecuadas a la inversión realizada. 2. La operación del sistema de riego seleccionado lleva implícito un adecuado manejo que no cauce incrementos en el gasto de agua, pérdidas por erosión o lavado de nutrientes. 3. Debe considerarse las preferencias del agricultor (mano de obra, cultivos e

inversión de capital). 4. La selección en una unidad del predio, debe considerar las características de otras unidades adyacentes, para su incorporación posterior.

9.4.1 SELECCIÓN DEL METODO DE RIEGO

La selección del método de riego se basa en criterios que tienen relación con el cultivo, suelo, topografía, economía, clima, disponibilidad de mano de obra, así como labores vinculadas con el desarrollo físico, manejo del riego y administración general del predio. Seleccionar el método de riego implica, al mismo tiempo, tomar decisiones respecto al planeamiento integral del predio y grado de sistematización del terreno (*nivelación de tierras y construcción de surcos en riego superficial y altos costos en equipo e instalación del riego a presión*). Dado que existen cultivos que pueden regarse por un sólo método y otros por varios, el tipo de cultivo es el primer criterio a considerarse.

CULTIVOS

En la mayoría de casos el cultivo determina el método de riego. Así, el arroz se riega, en la generalmente, por estanques en contorno o pozas. Cultivos en hilera, como; papa, maíz, espárrago, etc. requieren de aporque, facilitando así el riego al dejar el surco conformado. Otros cultivos como los frutales no soportan la inundación y por lo tanto deben ser regados por surcos o a presión, contrariamente, los pastos son regados por inundación y por aspersión.

TOPOGRAFÍA

El riego por superficie se realiza sólo en terrenos planos. El riego a presión en terrenos, desde planos a fuertemente ondulados, adaptándose a una amplia gama de condiciones topográficas y constituyendo la única posibilidad de riego eficiente en terrenos con fuertes pendientes. El riego a presión facilita o posibilita el riego en tierras clasificadas como no aptas para la agricultura por sus condiciones topográficas.

SUELO

Comprende las características internas del perfil, en lo referente a aspectos vinculados con el riego, como profundidad, capacidad de almacenamiento y velocidad de infiltración. Suelos poco profundos y/o con excesiva capacidad de infiltración se riegan muy ineficientemente con métodos por superficie. Por otro lado, la aplicación de láminas muy delgadas y/o suelos muy permeables, determinan excesivo fraccionamiento del predio, dificultando las labores agrícolas mecanizadas. Este criterio puede determinar que el riego a presión constituya la única posibilidad. Si existe un problema de salinidad en el suelo o en el agua de riego, es necesario mantener el balance salino mediante la lixiviación de sales, aplicando para esto agua en exceso, en lámina uniforme sobre el terreno. Esto se logra con los métodos de inundación. Sin embargo, existen otras alternativas, al buscar un desplazamiento de sales sólo en el entorno de la zona humedecida (*micro-lixiviación*), que se logra con sistemas modernos por goteo y por exudación o sub-superficial.

RECURSOS DE AGUA

La disponibilidad del recurso agua en el predio, en cuanto a caudal, tiempo e intervalo de entrega, es sin duda un criterio muy importante para determinar el sistema y/o método de riego. Así, la disponibilidad de un gran caudal en tiempo reducido, y con grandes intervalos entre entregas sucesivas, señala la conveniencia de un método de riego superficial por inundación (*salvo que económicamente sea posible la construcción de un reservorio regulador*). Contrariamente, caudales medianamente reducidos, en horarios largos y entregas más frecuentes, pueden emplearse eficientemente en riego por surcos.

Finalmente, con caudales muy reducidos aunque constantes (*bombeo de agua del subsuelo*) es posible que el riego presurizado resulte en una mejor alternativa, frente al riego por superficie, abastecido por recursos de agua regulados en un reservorio.

COSTOS

Su incidencia puede subdividirse en **costos de construcción y operación** de las obras generales del sistema y **costos de desarrollo y operación del riego** en el campo. Los primeros inciden en los criterios de selección del método de riego y en los trabajos a realizar para acondicionar las tierras. Si el agua es cara obliga a su uso más eficiente, requiriendo mayor acondicionamiento, por lo tanto, fuertes trabajos de nivelación, instalación de estructuras y elementos de control y distribución. Por otro lado, los costos de desarrollo y operación del riego a nivel predial afectan también en forma directa la selección del método de riego. En general, una inversión mayor en el desarrollo físico de las tierras se traduce posteriormente en menores costos de operación y conservación. Cuando por el contrario, no se pueden realizar mayores inversiones en el desarrollo físico de las tierras a irrigar, los costos de operación resultaran más elevados y la eficiencia de riego más baja.

OTROS CRITERIOS

En casos determinados, un solo factor puede tener importancia decisiva en la selección del método de riego. Así, vientos de alta velocidad pueden ser suficientes para no instalar riego por aspersión. Los conocimientos y habilidades del agricultor para manejar el riego constituye otro elemento de gran importancia en la selección del método, las labores mecanizadas y el empleo de un determinado equipo agrícola resulta, así mismo, un factor importante.

9.4.2 RIEGO SUPERFICIAL O POR GRAVEDAD

Se denomina riego superficial porque el agua se desplaza libremente por sobre la superficie del terreno a regar, cubriéndolo total o parcialmente; también se les llama por gravedad debido a que el agua se mueve por diferencia de cota entre un punto y otro por la acción de la fuerza de gravedad. En el riego superficial el agua se aplica al terreno desde una acequia de cabecera.



Foto 9.2 Riego por gravedad tecnificado. Aplicación por mangas de polietileno de 5" de diámetro

El agua escurre por gravedad y el caudal normalmente excede la velocidad de infiltración del suelo a regar, de manera que el sobrante superficial, resultante para cada posición de avance del frente de agua, permite llegar al final del surco y completar el proceso de humedecimiento del suelo, si continua la aplicación de agua en su justo tiempo, se logra reponer el déficit de humedad en la zona radicular.

Entre los métodos de riego superficiales o por gravedad más conocidos se tiene: riego por tendido, por bordes o melgas y por surcos (*rectos, en contorno*); también se incluye el riego por inundación, que se usa en el cultivo del arroz.

RIEGO POR SURCOS

El método de riego por surcos se realiza haciendo fluir agua en pequeños canales (*surcos*) que conducen el agua a medida que desciende de puntos altos hacia sectores de cotas inferiores del campo (*Foto 9.3*) El agua se infiltra en el fondo y a los lados de los surcos, reponiéndose así el agua del suelo consumida por los cultivos.



Foto 9.3 Vista que muestra la aplicación de agua al suelo por el método por surcos.

Los siguientes factores usualmente favorecen la instalación de un sistema de riego por surcos: a) No se dispone de capital para hacer una inversión inicial en otros tipos de sistemas más sofisticados de riego. b) La mano de obra y el agua son relativamente baratos para operar un sistema de superficie. c) La topografía de la superficie es tal que requiere muy poco acondicionamiento para la implementación de un riego por superficie. d) Se dispone de grandes volúmenes de agua en periodos muy cortos y e) El cultivo tiene requerimientos especiales de agua.

El riego por surcos consiste en la entrega de agua a través de pequeños canales o surcos, trazados en la misma dirección de la siembra o plantación, a los que ingresa el agua desde una acequia o tubería madre.

La nivelación cuidadosa del terreno para obtener una pendiente uniforme, es esencial para lograr una eficiencia adecuada

En la mayoría de casos, los surcos son una consecuencia de las labores culturales, por lo que se adaptan muy bien a cultivos sembrados en hileras como hortalizas y frutales y se adapta a una amplia gama de suelos. Con este método se produce una menor evaporación directa desde el suelo, debido a que el agua es aplicada sin mojar la totalidad de la superficie.

La eficiencia de aplicación que se logra al regar por surcos puede calificarse de adecuada cuando se la compara con otros métodos superficiales, sobre todo si las condiciones de diseño y manejo del sistema son buenos.

Entre las desventajas de este método de riego se pueden mencionar: la acumulación de sales en las partes bajas del predio; necesidad de nivelación (*labor relativamente cara*), y, enmalezamiento del campo. Por otro lado, la textura y estructura de los horizontes superiores del perfil del suelo son los factores más importantes que determinan la velocidad de infiltración del agua en el riego por surcos.

Al respecto, la velocidad de infiltración se constituye en uno de los principales factores que determinan:

- **La longitud máxima del surco.**
- **El tiempo del riego.**

Velocidades de infiltración superiores a 7.0 cm/h determinan la necesidad de acortar la longitud del surco para un manejo eficiente del riego. Sin embargo, surcos más cortos dificultan el manejo del predio, aumentan los costos de operación y debido al exceso de acequias de riego y drenaje se producen pérdidas de terreno útil. Asimismo, en surcos cortos es difícil controlar las pérdidas por escurrimiento superficial, aunque en cultivos como hortalizas o fresas, de enraizamiento superficial, puede justificarse la utilización de surcos cortos.

VENTAJAS:

- La eficiencia de aplicación del riego por surcos fluctúa entre 30 y 60%, que comparado con otros métodos de riego superficial, puede calificarse como buena.
- Es posible utilizar implementos de control de bajo costo (*como tubos, sifones y compuertas*) lo que permite tener un buen control sobre el agua de riego.
- Es un método barato debido al poco uso de equipos sofisticados o externos a la comunidad.
- Existe conocimientos sobre este método en la sabiduría popular.
- Moderada eficiencia de aplicación de agua.

LIMITACIONES:

- Peligro de erosión y arrastre de partículas en pendientes fuertes.
- Pérdidas por escurrimiento para uniformar la aplicación de agua.
- Se requiere suelos nivelados para poder conducir el agua.
- Requiere de mantenimiento y limpieza permanente de canales y acequias.
- Los suelos pueden saturarse y provocar afloramiento de sales (*salinización y drenaje*)
- No existe una distribución uniforme del agua en el suelo.
- No se pueden aplicar, conjuntamente con el riego: abonos, insecticidas, etc.
- Requiere de cierta capacitación para su implementación.

- Moderado requerimiento de mano de obra para su aplicación.

DISEÑO

En el diseño de este método de riego debe establecerse:

- Pendiente de surcos;
- Forma de los surcos;
- Espaciamiento entre surcos.
- Caudal máximo de surcos;
- Longitud máxima de los surcos;
- Tiempo de riego.

PENDIENTE DEL SURCO

La pendiente del surco es un elemento importante en el riego, principalmente por la erosión que puede causar en determinadas circunstancias. También tiene importancia en la capacidad de infiltración de agua por el suelo, disminuyendo, al incrementarse la gradiente del terreno. La forma más eficiente de regar por surcos, es cuando éstos tienen pendiente uniforme, circunstancias en las que la recesión o volumen de agua que se infiltra una vez que se ha suspendido el suministro a la cabecera tiene escasa importancia, dado el reducido lapso en que ocurre el retiro de agua de la superficie.

La pendiente más adecuada para cada terreno lo determinará el tipo de suelo. Cuanto más pesado sea el suelo menor será el declive y más largo el surco. Pendientes mayores a 1.5% ó 2.0% causarán problemas de erosión, de igual manera que pendientes muy pequeñas (*menores de 0.2%*) no deben ser empleadas.

FORMA DE LOS SURCOS

La forma y ancho de los surcos depende del implemento que se utilice y debe variar de acuerdo con el tipo de suelo y cultivo. El ancho oscila entre 10 y 40 cm y entre 5 a 20 cm, el tirante de la sección de escurrimiento (*altura de agua en el surco*). En suelos erosionables pueden ser desfavorables tirantes de agua muy grandes, como aquéllos que resultan para los surcos de sección triangular. Por otra parte, surcos anchos y de reducida profundidad facilitan la lixiviación de sales.

En suelos de baja velocidad de infiltración, una forma de surcos que conduzca a un mayor perímetro mojado, dará una mayor y por lo tanto mejor área de infiltración, reduciendo el tiempo de aplicación de agua, aunque esto también pueda lograrse al disminuir el espaciamiento entre surcos. En un surco profundo y estrecho, el peligro de salinización es mayor que en un surco redondeado, en el cual el agua llena el surco y además fluye.

ESPACIAMIENTO DE LOS SURCOS

El espaciamiento de los surcos está usualmente determinado por el cultivo y por las prácticas culturales y de cosecha, especialmente si se usa maquinaria. Ello a diferencia del perímetro mojado que depende del caudal, forma, pendiente y corrugamiento de los surcos.

El espaciamiento de los surcos, sin embargo, debe estar relacionado con la naturaleza física y morfológica del perfil del suelo que se irrigue. Suelos de diferente textura muestran, cuando son irrigados, diferentes frentes de humedecimiento. El espaciamiento, en general, debe ser menor en suelos de textura gruesa que en suelos de textura pesada o más fina. El agricultor no debe olvidar que para tener un espaciamiento adecuado a sus condiciones, el mismo deberá determinar el movimiento lateral del agua en el surco de riego y la profundidad humedecida. El espaciamiento o distancia entre surcos es fundamental para lograr un completo humedecimiento del suelo, que

depende, entre otros factores, del tipo de suelo, del cultivo y la maquinaria agrícola a utilizar. En suelos arenosos predomina el humedecimiento en profundidad por sobre el lateral. En cambio, en suelos arcillosos el movimiento lateral es mayor. Esto quiere decir que en suelos arcillosos los surcos podrán estar más distanciados unos de otros que en suelos arenosos. Además del tipo de suelo, para determinar la distancia entre surcos se debe considerar las recomendaciones de distancia de siembra del cultivo y la posibilidad de ajustar la máquina sembradora a la distancia que se necesita. Así, por ejemplo, en cultivos hortícolas posiblemente sea la distancia de siembra la que predomine en la definición de la distancia entre surcos, mientras que en frutales predominarán las características texturales del suelo.

CAUDAL MAXIMO DE SURCOS

El caudal de agua que puede conducir un surco depende de la sección de escurrimiento y de sus condiciones hidráulicas como rugosidad, enmalezamiento, etc. Sin embargo, el caudal a aplicar estará limitado además por la pendiente y la erodabilidad del terreno.

Una expresión ampliamente aceptada y que entrega un buen índice para estimar el "**caudal máximo no erosivo**" ($Q_{m\acute{a}x}$) en función de la pendiente (s) es la siguiente:

$$Q_{m\acute{a}x} = 0.63/s$$

Así, en una pendiente de 1.5%, el caudal máximo no erosivo a utilizar será de 0.4l/s.

Dado que la velocidad de infiltración decrece a medida que avanza el tiempo, el período que permanece el agua sobre el terreno, depende de la entrega de caudales decrecientes para evitar pérdidas por escurrimiento.

En la práctica, se incorpora un caudal superior a la capacidad de infiltración del surco con las consiguientes pérdidas por escurrimiento al final del mismo. Esta práctica es lógica porque evita que en la parte final de la parcela, la infiltración tienda a cero, siendo necesario en este extremo un canal conductor de excedentes de agua, que la conducirá a la siguiente parcela, encadenando el riego.

El caudal a incorporar por surco, en riego con pendiente, debe variarse empleando el máximo no erosivo (*sin arrastre de tierra*). Si la pendiente no es mayor (0,1%) el caudal máximo será 6,3 l/s. En los surcos sin pendiente el caudal será mayor y estará determinado por el tamaño (*sección de escurrimiento y longitud*) del surco.

LONGITUD DE LOS SURCOS

Los factores principales que determinan la longitud máxima de los surcos son: tipo de suelo; pendiente del terreno; profundidad del sistema de raíces del cultivo; caudal que se utilice y el tiempo de aplicación del agua o tiempo de riego. En general, es conveniente que la longitud disminuya a medida que los suelos sean más livianos (*arenosos*) y aumente la pendiente; sin dejar de considerar la planificación agro económica de la propiedad.

En términos generales se puede indicar que:

- **Los surcos serán más cortos a medida que aumenta la pendiente del terreno.**
- **El largo de los surcos en suelos arcillosos es mayor que en suelos arenosos.**
- **Los surcos pueden ser de mayor longitud al regar cultivos de enraizamiento más profundo.**

Para reducir las pérdidas de agua por percolación profunda (*por debajo de la zona de raíces*) se presentan dos posibilidades:

- **Aumento del caudal aplicado.**
- **Reducción de la longitud de los surcos.**

El caudal que puede aplicarse a un surco está limitado por el caudal máximo no erosivo de modo que debe acortarse la longitud de los surcos para reducir las pérdidas

La reducción de la longitud de los surcos conduce a:

- **Mayor parcelamiento de la propiedad.**
- **Aumento de la longitud de las acequias y de las estructuras de riego.**
- **Mayores dificultades para las labores mecanizadas.**
- **Mayores costos de conservación y de operación del sistema de riego.**

Tabla 9.4 Longitud de surcos (m) y caudal (l/s) máximos, según textura y pendiente (E. Blair, 1.957) para riego de 500 m³/ha.

PENDIENTE	LIVIANA	MEDIA	PESADA	CAUDAL
-	(gruesa)	(franca)	(fina)	Máx. p/surco
0,2	150	250	320	2,52
0,5	105	170	225	1,26
1,0	70	115	150	0,63

Por tales razones, al determinar la longitud de los surcos deberá hacerse un cuidadoso análisis de todos los aspectos relacionados con la funcionalidad del riego en el campo, con las demás labores culturales.

Así, existen longitudes de surco recomendables para diferentes condiciones de pendientes y de textura del suelo: para aplicar una lámina de agua de 5 cm (500 m³/ha) en suelos con pendientes de 0.5%, 1.0% y 2.0%, en un suelo **arenoso**, el largo máximo de los surcos sería de 105 m, 70 m y 60 m, respectivamente. En un suelo **franco** sería de 170 m, 115 m y 75 m y en un suelo **arcilloso** de 225 m, 150 m y 120 m, respectivamente.

TIEMPO DE RIEGO

El tiempo de riego dependerá de las condiciones del suelo, en particular de las condiciones de infiltración. Al regar, se debe procurar que el tiempo de aplicación del agua corresponda al tiempo de riego más el tiempo que se demora el agua en llegar al final del surco, buscando, siempre, reducir el tiempo que se demora en llegar al final.

RIEGO POR MELGAS, PLATABANDAS O BORDES

El método de riego por melgas (*denominado también por platabandas o por bordes*) consiste en establecer franjas delimitadas por camellones o bordes a ambos lados, con pendiente longitudinal y un canal de cabecera que provee el agua de riego. Se caracteriza por su alta exigencia en nivelación del terreno. Su mayor uso corresponde a pastos y frutales.

Debe utilizarse en terrenos llanos ya que requiere una pendiente transversal nula y longitudinal baja (*no mayor de 2%*). De ahí que sea necesario preparar cuidadosamente el terreno a fin de que el agua no se **encharque** y corra uniformemente por la melga. La longitud varía entre 50 y 200 m en el sentido de la pendiente y el ancho de 5 a 20 m. Los bordes son no menores de 20 cm de altura y

el ancho debe permitir el paso de la maquinaria. El costo de instalación es alto (*por el trabajo de nivelación*) y se compensa con la economía de mano de obra y tiempo, una vez instalado (*costo de operación bajo*). En general, el riego por melgas ha sido utilizado en cultivos de alta densidad de siembra, como es el caso de los pastos. Se presta principalmente para cultivos de alfalfa, trébol y cereales; en los suelos de buena infiltración y con un caudal grande (*de 50 l/s*). Sin embargo, ha comenzado a utilizarse con éxito en el riego de frutales. Si la topografía es irregular y la pendiente es hasta de 2% se practica el riego en **melgas en contorno**, los bordos siguen las curvas de nivel (*cultivos: forrajeros y cereales*). En este caso es necesario disponer de gran caudal, la eficiencia a obtener es baja y los costos de medios a bajos.

El riego por **melgas en contorno**, se diferencia del riego por **melgas** en la forma de aplicar el agua. En el riego por melgas el agua avanza en forma de un manto de agua a lo largo de la faja, en cambio en el de melgas en contorno el agua es aplicada por medio de un gran caudal, quedando las áreas de cada sección inundadas por un largo periodo de tiempo.

Otra forma, es por palanganas o tazas, empleado para frutales. El terreno queda dividido en una serie de terrazas y a cada una corresponde un número determinado de plantas según la pendiente. Se requiere un terreno llano (*hasta 0,2%*) y disponer de un gran caudal. En consecuencia el costo de instalación (*por la nivelación y la eficiencia son altos*). El costo de operación es medio.

La cantidad de agua a aplicar en cada melga se determina relacionando convenientemente el ancho y el largo y la pendiente, con la infiltración, agua a aplicar y el tiempo de riego. Si bien lo mejor es obtener tales medidas mediante ensayos de campo, como orientación puede consultarse tablas existentes, como la del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos.

VENTAJAS

- Bajos costos de mantenimiento.
- Uso eficiente de la mano de obra durante el riego.

LIMITACIONES

- Requiere nivelación muy precisa, tanto en sentido longitudinal como transversal, siendo importante que la pendiente tienda a cero para lograr una distribución uniforme en todo el ancho de la melga. La pendiente longitudinal debe ser mayor al 0,2% para evitar empozamientos prolongados, aunque no debiera superar el 2%, para evitar problemas de erosión.
- Se requieren caudales relativamente grandes. La cantidad de agua que se aplique debe permitir que sobre la melga se forme una lámina de agua de 5 a 8 cm de altura, lo que se logra con caudales relativamente grandes (*2 a 6 l/s por metro de ancho*).

DISEÑO DE RIEGO POR BORDES

Los factores relevantes en el riego por bordes son:

- **Caudal a aplicar.**
- **Ancho de melga.**
- **Longitud de melga.**

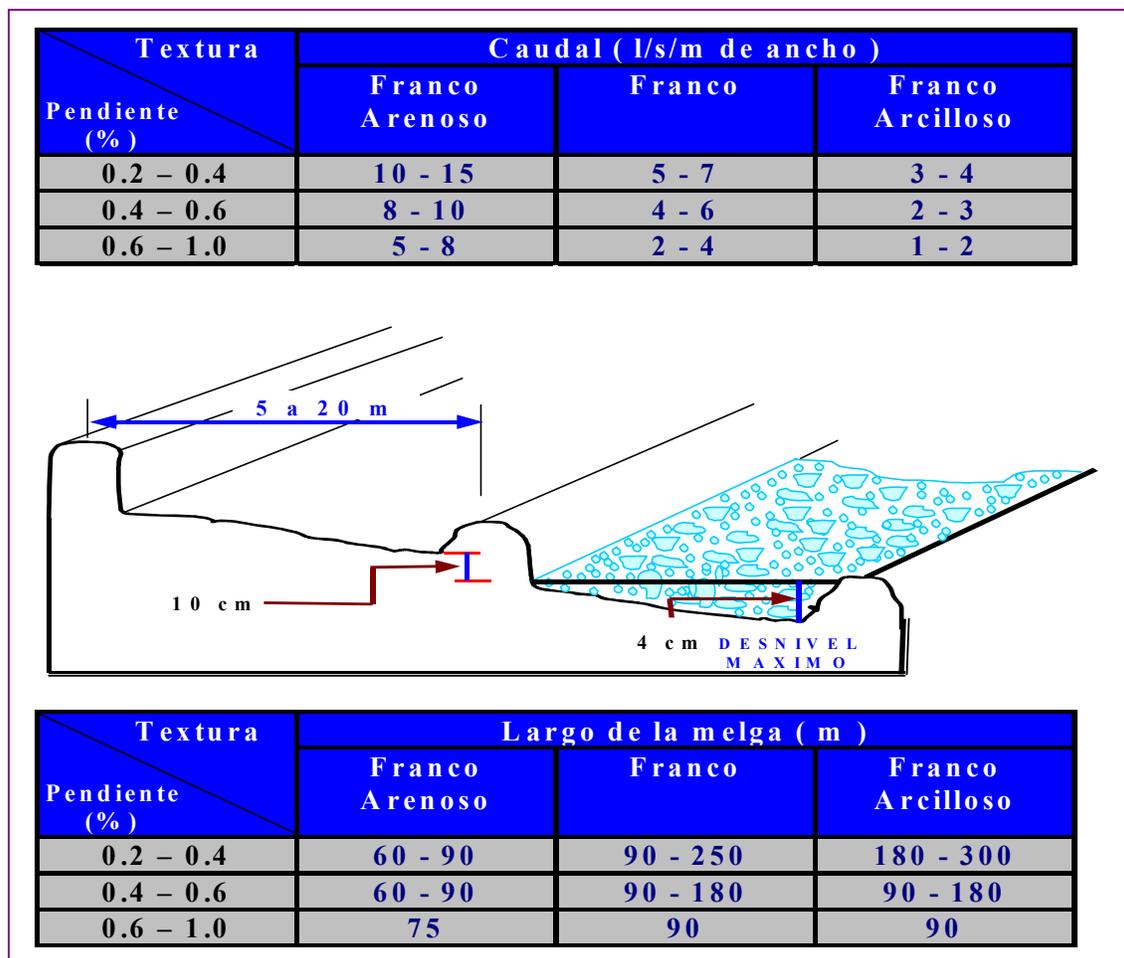
El caudal a aplicar depende de la textura del suelo, ancho de la melga, pendiente del terreno y cubierta vegetal, lo que se traduce en caudales de 2 a 6 l/s por cada metro de ancho de melga (*Figura 9.12*).

En cuanto al ancho de la melga, en el caso de pastizales puede variar entre 5 y 20 m. Sin embargo, para definirlo es necesario considerar: caudal disponible; pendiente transversal del terreno (*que limita también el ancho de las melgas dado que la diferencia de nivel que debe existir entre un lado y*

otro de las melgas no debe superar 4 cm), y el ancho de la maquinaria (lo ideal es que el ancho de la melga sea múltiplo del ancho de trabajo de la maquinaria que se utilice).

La longitud de las melgas debe ser la máxima posible mientras se logre una buena eficiencia de riego y una aplicación uniforme del agua *Figura 9.12*.

Figura 9.12 Consideraciones de caudales y longitud de melgas.



CONSIDERACIONES DEL RIEGO POR MELGAS

En general se hace necesaria una cuidadosa preparación de suelos, con el objetivo de no dañar la nivelación del suelo. La siembra debe realizarse en el sentido transversal al largo de las melgas, de modo que también se siembre sobre los camellones. De esta forma, se evita la pérdida de terreno. En frutales, las melgas se pueden mantener con pastos para evitar la erosión. Las mezclas de pastos que pueden usarse son varias según la especie frutal. La aplicación de agua puede hacerse directamente desde una acequia o bien, al igual que en el riego por surcos, se pueden utilizar tuberías de baja presión, en PVC de 200 ó 250 mm.

9.4.3 RIEGO A PRESIÓN

Denominado así porque requiere de una determinada presión para operar, que puede ser obtenida por una diferencia de cota entre la fuente de agua y el sector de riego, o por un equipo de bombeo.

El **riego a presión** se caracteriza por la aplicación del agua a través de emisores (*aspersores, goteros, cintas de exudación*) que requieren generalmente una presión de agua, normalmente superior a una atmósfera (*10 mca*), lo que implica que el agua sea conducida a través de tuberías.

Se considera los métodos: por aspersión; por microaspersión; por goteo y por exudación.

RIEGO POR ASPERSION

Se denomina riego por aspersión, al método que consiste en aplicar agua a la superficie del terreno, rociándola a manera de una lluvia óptima

El riego por aspersión consiste en la aplicación del agua en forma de lluvia artificial, la cual se forma debido a que el agua fluye a presión a través de pequeños orificios o boquillas **Foto 9.4** La presión se obtiene normalmente con equipos de bombeo, aunque puede ser obtenida por gravedad, si la fuente de agua está a un nivel suficientemente alto del área a irrigar.



Foto 9.4 Módulo de riego por aspersión

Los factores que usualmente favorecen la instalación de un sistema de aspersión son los siguientes: a) Suelos poco profundos para ser apropiadamente nivelados para el riego por superficie. b) Costos de nivelación excesivos. c) Suelos muy permeables para obtener una buena distribución por métodos de superficie. d) Suelos fácilmente erosionables. e) Se tienen pequeños volúmenes de agua, pero permanentes. f) No se dispone de mano de obra hábil y capacitada para el manejo del riego por superficie. g) Requerimiento de irrigación suplementaria h) Aplicación constante de pequeñas láminas de agua.

COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSION

Un sistema de riego por aspersión está compuesto por varias partes, desde la boquilla del aspersor hasta las válvulas que controlan la entrada de agua al sistema. Así, en estos sistemas se encuentran aspersores (*fijos o giratorios*), reguladores de presión o flujo, tubos elevadores, acoples

de tuberías, válvulas, etc. (el método en sí, requiere de la instalación de una red de tuberías y mangueras, con una serie de aspersores acoplados para distribuir el agua en forma de lluvia).

LOS ASPERSORES

Una característica que es común en todos los sistemas de riego por aspersión es que, el agua es aplicada por medio de aspersores, boquillas o perforaciones a alta velocidad. En los sistemas de riego por aspersión son usados aspersores con cabeza giratoria, aspersores con cabeza fija, rociadores con boquilla y placas de impacto y también pequeñas perforaciones hechas directamente en las tuberías.

Una gran proporción de los sistemas de riego por aspersión usan aspersores con cabeza giratoria, y la mayoría de los procedimientos de cálculo y evaluación están basados en este tipo de aspersores. Los **aspersores de cabeza giratoria**, giran alrededor de un eje vertical. La rotación resulta del torque (*principio del impulso-momento*) causado por la reacción que produce el agua al salir de la boquilla al impactarse sobre el brazo giratorio del aspersor (*cargado con un resorte para lograr un retroceso*) que periódicamente interrumpe el chorro que sale por alguna de las boquillas del aspersor.

Se han fabricado tres tipos de aspersores giratorios: aspersores de giro rápido, aspersores de gran cañón y aspersores de giro lento. Los aspersores de giro rápido son generalmente pequeños aspersores usados en jardinería o huertos frutícolas bajo la copa de los árboles. Los aspersores gigantes o de gran cañón, son aspersores giratorios equipados con un brazo que al oscilar interrumpe el chorro del agua con cierta periodicidad ocasionando un giro sobre la base del aspersor. Estos aspersores descargan de 5 a 70 litros por seg. Cubriendo un diámetro de 75 a 190 m de precipitación. Durante su operación trabajan a presiones que van de 4.2 a 7.0 kg/cm² (60 – 100 psi) y están equipados con boquillas de 15 a 50 mm de diámetro. Estos aspersores tienen una amplia variedad de usos, sobre todo para cultivos altos y plantaciones frutícolas. Los aspersores de giro lento, que son la mayoría de aspersores de uso agrícola, están equipados con una o dos boquillas que varían sus diámetros de 1.5 a 15 mm, descargando un gasto que va de 7 a 75 litros por minuto, cubriendo áreas circulares de 10 a 40 m de diámetro y la presión de trabajo es de 1.4 a 4.2 kg/ha (20 a 60 psi). Algunos tipos de aspersores de cabeza giratoria pueden ser ajustados para dar un círculo completo o cubrir cualquier segmento de círculo

Los **aspersores estacionarios o de cabeza fija** son usados principalmente en jardines, ornamentales e invernaderos. En los sistemas de riego agrícola, este tipo de aspersores es usado en forma de rociador en los sistemas llamados de pivote central.

LAS BOQUILLAS

Son orificios o aperturas usados en los aspersores para controlar el volumen de descarga, la distribución de la precipitación, el diámetro de humedecimiento y el tamaño de la gota. Estas piezas son intercambiables en la mayoría de los aspersores de cabeza giratoria, con lo cual un solo cuerpo o cabeza de aspersor puede tener varias descargas y diámetros de cobertura a una misma presión de trabajo con solo cambiar el tamaño de las boquillas.

LOS ELEVADORES

El elevador es un tramo de tubo que conecta al aspersor o rociador a la línea de tubería lateral. Pueden ser de longitud fija o pueden ser tubos telescópicos. Tuberías de 12 a 75 mm de diámetro con acoples estándar son usualmente empleados. Para aspersores pequeños tienen como mínimo 8 cm de altura y hasta 1.0 m para aspersores gigantes con el fin de asegurar un flujo uniforme a la entrada del aspersor.

LAS TUBERIAS

En los sistemas de riego por aspersión, las tuberías pueden ser de acero, asbesto – cemento, aluminio y plástico (PVC). Los diámetros usados van de 50 mm (*los más pequeños*) a 250 mm o más. El espesor de la pared de la tubería depende del material usado y de la presión de operación que deberá soportar. Las tuberías usadas como líneas de conducción de agua se les conocen como **línea o tubería principal**. Cuando tienen acopladas a ellas los elevadores y aspersores se les llama **línea o tubería lateral**.

PARTES DE ACOUPLE

Múltiples piezas que permiten el acoplamiento de tramos individuales de tubos y ajustes caen en dos categorías: piezas de **auto-cierre** (*cierre a presión*) y **cierre – mecánico**. Entre las primeras se encuentran los acoplamientos de tipo manual, los cuales mediante un movimiento de cuarto de círculo quedan trabados y unidos los tramos de tuberías (*este tipo de acoplamiento, que es el que más se usa para unir tuberías laterales, cuenta con un empaque de hule que ayuda a lograr un mejor sellamiento*). Los acoplamientos de cierre mecánico, en cambio, son aquellos en los cuales la unión es sujeta por anillos, o tuercas y tornillos, son los más usados en líneas principales de aluminio.

Cierto tipo de piezas son necesarias para lograr que el sistema opere bajo determinadas circunstancias como; codos, reducciones, tees, tapones y terminales de línea. Es frecuente el uso de tuberías de materiales de PVC y asbesto cemento como líneas de conducción de agua (*líneas principales*), especialmente cuando se trata de tuberías subterráneas.

PARTES DE CONTROL DEL SISTEMA

Otro tipo de piezas, por sus características, son de uso especial en estos sistemas de riego. Son accesorios que por su disposición ayudan a operar y controlar el sistema. Estas piezas o partes de control son: válvulas de varios tipos, reguladores de presión, manómetros, hidrantes, etc. Las válvulas que frecuentemente son empleadas en los sistemas de riego por aspersión son: válvulas de compuerta, mariposas, aliviadoras de aire y vacío, aliviadoras de presión, check o de no retroceso, reguladoras de presión y las válvulas codo que alimentan las líneas laterales en el campo.

Las **válvulas del tipo de compuerta y mariposa**, se emplean generalmente a la entrada del agua al sistema (*a la salida de la bomba*) y son operadas manualmente. Estas válvulas sirven para ajustar la operación de la bomba y controlar la presión y gasto que entra al sistema de riego.

Las **válvulas aliviadoras de aire y vacío y las válvulas aliviadoras de presión** son partes fundamentales del sistema, colocadas en puntos estratégicos hacen posible el uso continuo del sistema. Las válvulas aliviadoras de aire son colocadas en las partes altas de las tuberías principales (*especialmente si estas son subterráneas*) para desalojar el aire que queda atrapado dentro de ellas y también para romper el vacío permitiendo la entrada del aire cuando se detiene el sistema.

Las válvulas aliviadoras de presión tienen como finalidad proteger la línea de conducción principal de repentinos excesos de presión, por un cierre rápido de algún hidrante o válvula, y son colocados casi siempre en los extremos de la línea principal. **Las válvulas check (flujo en un solo sentido)** son dispositivos de control usados en el lado de descarga de la bomba para impedir el vaciado de la línea principal que se encuentre en posición más alta que la bomba cuando esta deje de operar.

Válvulas de flujo y presión son empleadas para lograr un control adicional sobre el gasto que entra al sistema. Las válvulas de codo a 90° (**válvulas ele**) son de tipo vertical y controlan el gasto de agua que entra a la línea lateral (*estas válvulas conectan sobre el hidrante de la tubería principal*), abriendo el hidrante y pasando el flujo del agua hacia dentro de la tubería lateral.

Finalmente, los **hidrantes** son dispositivos de control acoplados sobre la línea principal que sirven como **tomas de agua** sobre las cuales accionan las válvulas de campo. Estas partes son esenciales en el sistema, pues permiten hacer la toma del agua en un sitio específico del campo.

Son acoplados de diferentes formas dependiendo del tipo de tubería y de su colocación en el campo. Para tuberías de aluminio son directamente soldados y para tuberías subterráneas de PVC y asbesto-cemento se emplean conexiones de acero recubiertas de un tratamiento epóxico.

CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSION

Estos sistemas pueden ser clasificados de muy diversas formas. Su movilidad es una forma especialmente útil. Un sistema completamente *móvil* emplea líneas de conducción principales, líneas laterales y aspersores que son portátiles. Los sistemas *semi-permanentes* emplean líneas de conducción principales estacionarias y los sistemas *permanentes* permanecen en una sola posición en el campo durante toda la estación de cultivo.

De acuerdo a la naturaleza de sus movimientos los sistemas de riego por aspersión pueden dividirse en dos categorías:

- **Sistema de movimientos periódicos y**
- **Sistemas fijos.**

En ambos, los aspersores permanecen en una posición fija cuando se está irrigando. Aunque, existe equipos que permanecen en **movimiento continuo**, en los cuales los aspersores operan a medida que avanza, en forma recta o circular, como es el sistema de **Pivot Central** (en *pivote central una sola línea lateral de aspersores, generalmente de 0.4 km de longitud, se mueve en círculo alrededor de un punto final, el pivote, a través del cual el agua entra al sistema*). El sistema es de amplia utilización a nivel mundial, porque se adapta a la gran mayoría de cultivos y suelos.



Foto 9.5 Pivote central en funcionamiento

Los sistemas de riego por aspersión por pivote central, patentado en 1952, a extendido su uso a nivel mundial solo en años recientes, debido principalmente a sus bajos requerimientos de mano de obra. Estos sistemas consisten en una línea lateral con uno de sus extremos fijos a un punto de pivote mientras que el otro extremo se desplaza en círculos alrededor del punto pivote. El agua entra al sistema a través del extremo fijo. La línea lateral es soportada por torres metálicas, las cuales son desplazadas por unidades motrices equipadas con propulsión individual, montada sobre grandes ruedas. Estas torres están separadas unas de otras de 25 a 75 m. y la longitud de la línea lateral varía frecuentemente de 50 a 800 m. La línea lateral es mantenida en forma alineada durante el movimiento del sistema alrededor del punto pivote mediante un sistema de control que regula la velocidad de avance en cada torre. En caso de que la alineación del sistema falle un dispositivo de seguridad automáticamente suspende el funcionamiento de todo el sistema de riego antes de que la línea lateral u otra parte del sistema resulten dañadas.

Cuando se ha realizado un diseño adecuado, cualquiera de los sistemas puede entregar agua al terreno en forma uniforme y en cantidad tal que no exceda la velocidad de infiltración del suelo. El riego por aspersión se adapta a la mayoría de los cultivos y también a la mayoría de los terrenos debido a su amplio rango de capacidad de descarga de agua, importante en suelos de baja tasa de infiltración. En estos casos, se requiere especial cuidado en la selección de boquillas, presión de trabajo y espaciamiento de los aspersores, con el fin de aplicar el agua uniformemente y a baja descarga. Los **sistemas de movimientos periódicos** se adaptan también para el riego en áreas donde la situación del cultivo -suelo-clima no requiera riegos más frecuentes de 5 a 7 días.

Los **sistemas fijos** se adaptan mejor en condiciones de suelos de baja capacidad de retención de humedad y para cultivos de enraizamiento superficial. Estos sistemas pueden diseñarse con un objetivo adicional, operar para la protección de heladas, retardar la floración y de protección contra bajas temperaturas. Asimismo, el sistema de aspersión, debido a la amplia gama de equipos en la actualidad y a los eficientes sistemas de control en la aplicación de agua, puede ser usado en la mayoría de condiciones topográficas, siendo su limitación fundamental el costo.



Foto 9.6 Riego por aspersión

Por otro lado, el viento suele ser un factor determinante en la decisión de irrigar con aspersión en algunas áreas, a lo que se agrega altas temperaturas y salinidad del agua de riego a todo lo cual deber tenerse especial precaución.

Los **aspersores** son emisores de agua, que funcionando hidráulicamente como una tobera, lanzan el agua pulverizada a la atmósfera a través de un brazo con una o dos salidas (**boquillas**) en su extremo, a una distancia superior a 5 m. Distribuyen el agua sobre el terreno con un chorro de agua que gira entre dos extremos regulables o girando 360 grados. Se fabrican de metal y de plástico; se instalan sobre un tubo porta-aspersor a alturas variables del suelo, según el tipo de cultivo. Por lo general, la zona más próxima al aspersor recibe más agua, disminuyendo a medida que aumenta la distancia. Los modelos de distribución más frecuentes son el triangular (**para aspersores de dos boquillas**) y el elíptico (**para aspersores de una boquilla**). La separación entre aspersores contiguos para conseguir una zona de solape es, en la práctica, frecuentemente del

60% del diámetro mojado. En la *Figura 9.13* y *Foto 9.7* se puede apreciar las principales partes componentes de un aspersor y un aspersor antihelada.

VENTAJAS DEL SISTEMA POR ASPERSION

- Alta eficiencia de aplicación de agua (70 a 80%) y uniformidad en su penetración en el perfil del suelo. Ello hace recomendable su uso cuando hay limitada disponibilidad de agua o cuando el terreno tiene alta velocidad de infiltración.
- Puede utilizarse en suelos de cualquier pendiente con peligro muy remoto de erosionarlos y sin necesidad de nivelación (*lo cual evita la pérdida de la fertilidad y se aprovecha mayor área disponible*).
- Puede ser usado prácticamente en todo tipo de suelos, sobre todo en los que no pueden utilizarse los métodos superficiales (*suelos en ladera y de alta velocidad de infiltración*).
- En la aplicación de agua para la germinación de las semillas, este método es muy superior a los métodos superficiales.
- Es más fácil el control de la lámina de riego, lo que permite regar mejor y satisfacer los requerimientos de lavado.
- Los costos de preparación de suelos para el riego disminuyen notablemente. El terreno se divide menos al construir menos infraestructura básica necesaria en el riego de superficie, lo que facilita el mejor uso de maquinaria. Además, se elimina los costos de nivelación.
- Se puede aplicar junto con el riego fertilizantes y pesticidas líquidos o solubles, con una mayor eficiencia y menor costo, comparado con el riego por superficie.
- Se economiza en el uso de la mano de obra y la dependencia del regante es mucho menor, las decisiones son hechas por el administrador.
- Es más fácil incorporarlo a plantaciones permanentes ya establecidas, además de irrigar terrenos que por sus accidentes topográficos no pueden ser irrigados por superficie.
- Disminución de la infestación de malezas producidas por el riego.
- Puede modificar condiciones de clima extremos, al aumentar la humedad relativa del aire, evitando el daño por heladas o por altas temperaturas.

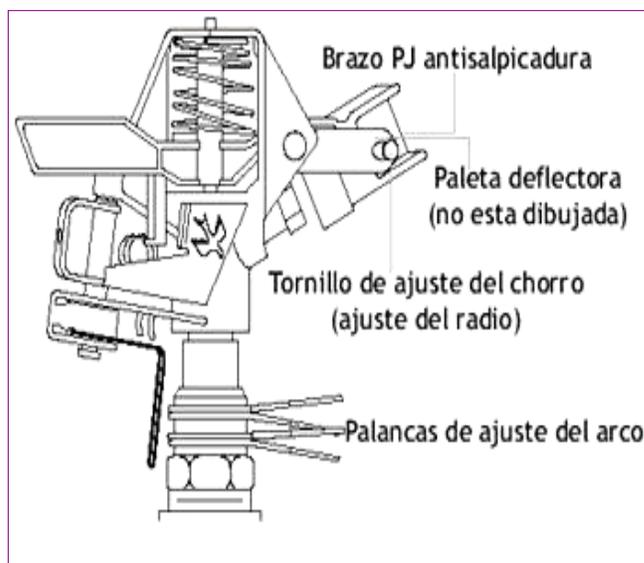


Figura 9.13 Esquema de un aspersor mostrando sus partes principales.

Foto 9.7 Aspersor antihelada de latón con una ó dos boquillas.

- Elevado costo inicial, lo cual se convierte en la mayor limitación de este sistema. Deben considerarse los costos fijos tales como depreciación anual, interés sobre el capital invertido y

mantenimiento. Además, los costos de la energía necesaria para que el sistema opere y la mano de obra para mover los laterales.

- El viento puede distorsionar por completo la distribución del agua en el suelo e igualmente disminuir el agua que llega al suelo, lo que implicaría una menor eficiencia de riego.
- Las pérdidas de agua por evaporación son mayores que con métodos de riego superficiales.
- Puede convertirse en un factor de disminución de rendimientos en algunas especies, al causar la caída de flores.
- Alto requerimiento de energía (*de 40 a 60 mca*) y dependencia de equipos mecanizados.
- El sistema debe ser diseñado por un especialista competente y con experiencia que considere todos los factores de diseño, eficiencia de riego, análisis económico, además de la selección, operación y mantenimiento del equipo.
- Aguas de elevada salinidad causan serios problemas de toxicidad en las plantas.

DISEÑO EN RIEGO POR ASPERSION

El diseño de un sistema de riego por aspersión debe ser hecho de tal manera que los resultados aseguren la satisfactoria operación del sistema para la producción óptima de las cosechas. Tres pasos básicos se requieren:

1. Elaborar el inventario de recursos con que cuenta la unidad a irrigar.

Cuantificar la geometría, topografía y condiciones del suelo. Asimismo, evaluar las características del suministro de agua, las condiciones climáticas y la disponibilidad y tipo de energía. Las dimensiones del campo y las elevaciones deberán ser exactamente medidas y mostradas, en un mapa detallado.

2. Determinar los requerimientos de agua del cultivo y las operaciones agronómicas.

Estimar con mucho detalle la cantidad de agua necesaria durante los periodos de mayor demanda. Muchos campos soportarán la rotación constante de cultivos durante la vida útil del sistema, por tanto el diseño debe considerar el cultivo de mayor demanda de agua. Uno de los aspectos más importantes en el diseño es el tipo de labores agronómicas; siembra, cultivo, cosecha etc. lo cual no debe tener una sustancial interferencia con el riego y el propio sistema.

3. El diseño en sí, en el cual, sucesivos ajustes pueden ser hechos para corregir una deficiencia

Siempre existen varias alternativas que satisfacen las condiciones del campo y el cultivo.

El principio de operación en los sistemas de riego por aspersión se basa en convertir la energía de presión, en energía de velocidad a la salida de la boquilla del aspersor, en forma de chorro. A medida que el chorro de agua avanza sobre el campo, queda esparcido en formas de gotas de agua las cuales al ser afectadas por la resistencia del aire, caen a la superficie del suelo.

DETERMINACIÓN DE LA LÁMINA DE RIEGO (L_a)

En primer lugar se determina el valor de la evapotranspiración real o del cultivo (ET_c), a partir de datos climatológicos y el coeficiente de desarrollo de los cultivos y la aplicación de fórmulas o métodos empíricos como los de: **Blaney y Criddle**, **Thornthwaite**, **Christiansen**, **Hargreaves**, **Penman**, **Turc**, etc. Para el diseño se toma el máximo consumo por día. Luego, se determina las características hidrodinámicas del suelo: velocidad de infiltración del agua, capacidad de campo (CC), punto de marchites (PM), y densidad aparente (da), de diferentes estratos del perfil, y la profundidad de raíces de los cultivos (pr).

Para el primer riego, la lámina requerida para llevar la humedad del suelo del PM hasta CC , es:

$$La = (CC - PM/100) \times da \times pr$$

Los riegos sucesivos, deben efectuarse cuando se ha consumido el 50% (*criterio de riego = 0.5*) de la humedad disponible ($CC - PMP$); haciendo la corrección por este factor, la lámina neta (*necesidades netas*) y la lámina de riego total (*considerando el valor de la eficiencia agronómica*) se expresa por:

$$Ln = \frac{0.5 \times (CC - PMP)}{100} \times da \times pr ; \quad Lr = \frac{Ln}{Ea}$$

CÁLCULO DE LA FRECUENCIA DE RIEGO

El intervalo entre riegos (*días*), se encuentra con los datos anteriores, es decir la frecuencia con la cual esa lámina de riego debe aplicarse:

$$Fr = \frac{Lr \text{ (mm)}}{ETc \text{ (mm/día)}}$$

La tasa de aplicación de la lámina de riego requerida no deberá exceder la capacidad de infiltración del suelo de tal manera que la cantidad de agua de escorrentía no sea significativa. Asimismo, se recomienda disminuir la tasa de precipitación, en un porcentaje de acuerdo con la pendiente del terreno: < 5% de pendiente, 0 de reducción en la tasa de precipitación. De 6 a 8% de pendiente =20% de reducción, de 9 a 12% = 40%, de 13 a 20% =60%, > del 20 de pendiente la reducción en la tasa de precipitación debe ser del 75%. (Fry y Gray, 1971)

TRAZO O COLOCACIÓN DEL SISTEMA EN EL CAMPO

En este punto debe considerarse los siguientes factores:

- Localización de la fuente de agua con respecto a la zona de riego.
- Se coloca las líneas principales siguiendo la pendiente principal del terreno. Colocar las tuberías laterales en ángulo recto con relación a la dirección de la pendiente principal y si es posible que queden también perpendiculares a la dirección predominante del viento.

CÁLCULO DEL NÚMERO MÁXIMO DE POSICIONES DE LATERALES

Este cálculo está en función al número de laterales que operan simultáneamente, el número de desplazamientos por día y la frecuencia de riego. *Ejemplo:* si la frecuencia de riego es de 12 días funcionando un sólo lateral diario, con dos posiciones por día, el número total de posiciones de laterales será: $12 \times 1 \times 2 = 24$ posiciones.

ESPACIAMIENTO ENTRE LATERALES (EI)

El proceso del diseño de un sistema de aspersión, involucra la selección de la descarga de aspersión, el espaciamiento entre los aspersores y el espaciamiento entre las posiciones laterales, de tal manera que se obtenga el mejor diseño.

El espaciamiento entre laterales y aspersores, está en función del diámetro de humedecimiento, velocidad del viento (*factor climatológico importante, en general vientos de alta velocidad requieren de espaciamientos más cercanos, para asegurar que el agua sea uniformemente distribuida*) y de la longitud de los tramos estándar de las tuberías.

Para ello se asume varios valores de longitud de tubería (*El que es igual a esta longitud o un múltiplo de ella*), luego se divide la longitud del campo (*longitud de la línea principal*) entre estos valores, hay que

comprobar que el número de posiciones, de laterales a cubrir se pueda realizar en un tiempo menor o igual que el dado por la frecuencia de riego.

ESPACIAMIENTO ENTRE ASPERSORES (Ea)

En este caso, también se asume varios valores de longitud de tubería (*Ea es igual a esta longitud o un múltiplo de ella*), luego se divide la longitud total donde se trazó la tubería lateral entre estos valores, obteniéndose el número de aspersores por lateral. Debe recordarse, que si los vientos son fuertes, los espaciamientos deben ser más cortos.

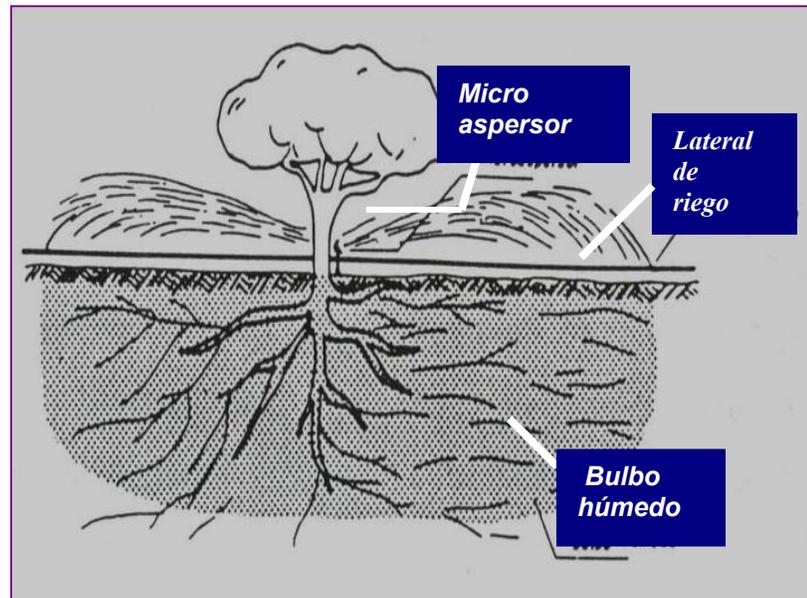
En caso que las líneas de laterales sean de manguera reforzada, el espaciamiento entre aspersores ya no depende de medidas constantes como la longitud de la tubería, sino, podrá ser en función al diámetro de cobertura del aspersor.

RIEGO POR MICROASPERSION

En suelos muy permeables en los que el bulbo húmedo se desarrolla mucho en profundidad y poco en anchura, con el empleo de riego por goteo, la solución es el empleo del riego por microaspersión, que genera bulbos adecuados de humedecimiento del suelo, tal como puede apreciarse en la *Figura 9.14*.

Este sistema de riego consiste en aplicar agua en forma de fina lluvia, mediante dispositivos que la distribuyen en un radio no superior a los 3 m, sobre la superficie del suelo o del cultivo. Permite alta uniformidad de riego; también, una adecuada infiltración del agua en el terreno, evitando de esta forma el escurrimiento superficial que tiene como resultado pérdidas de agua y erosión del suelo; es excelente para usarse en sistemas de fertirrigación, también es usado para el control de heladas.

Figura 9.14 Bulbo de humedecimiento en riego por microaspersión.



El emisor típico de este sistema de riego se denomina microaspersor; a veces se hace una distinción entre microaspersor *Figura 9.15* y difusor *Fotos 9.8 y 9.9*, que consiste en que el primero lleva un elemento giratorio que distribuye el agua mientras que en el segundo ese elemento no existe, tal distinción es irrelevante y es aplicable la denominación de microaspersores a todos los emisores que pulverizan el agua.

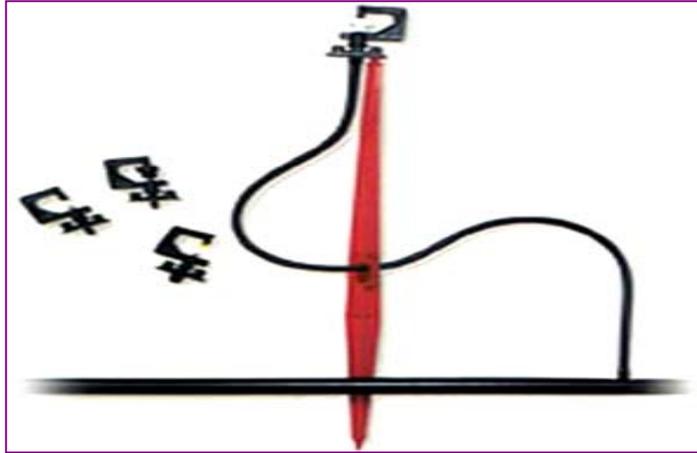


Figura 9.15 Esquema de un microaspersor

Los microaspersores son pequeños aspersores de plástico, conectados directamente sobre mangueras de pequeño diámetro de polietileno, a las cuales se conectan por medio de microtubos. El radio de alcance de los emisores no suele sobrepasar los 3 m. Trabaja con caudales de 16 a 200 l/h y con presiones de 1 a 2 kg/cm² (10 a 20 mca). Está indicado para cultivos de frutales (cítricos) y flores.

La **microaspersión** es utilizada principalmente en fruticultura (manzano, banano, melocotón, mango, cítricos, etc). Difiere del goteo por presentar mayores caudales y trabajar con mayor presión, con áreas irrigadas de 4 a 6 m de diámetro.



Foto 9.8 y 9.9 Difusores en funcionamiento.

Normalmente un micro aspersor está compuesto por:

- **Cuerpo del micro aspersor, soporte que da estabilidad al eje giratorio.**
- **Eje giratorio, también llamado como “bailarina”, que es un cuerpo giratorio que dispersa el agua uniformemente en un radio de 3 m.**
- **Bocal**
- **Regulador de caudal, que mantiene un caudal constante, para presiones variables.**
- **Soporte fijo, sobre el cual van los componentes anteriores y proporciona la altura adecuada.**

- *Manguera de conexión, que conecta la manguera de riego con el microaspersor, normalmente de 60 m de longitud.*
- *Conector, que une la manguera de conexión con la manguera de polietileno.*

Un microaspersor completo puede ser transformado en un "difusor", substituyéndose apenas el eje giratorio. Esta substitución favorece un menor radio de riego (de 1,5 a 2,0 m), con menor área mojada y, consecuentemente, mayor precipitación instantánea.

VENTAJAS

- El bulbo húmedo por goteo no siempre satisface las necesidades de los cultivos en cuanto a extensión del área humedecida y cómo en estos casos la solución es la microaspersión.
- Mayor uniformidad de riego, consecuencia de mejores factores hidráulicos y de fabricación de los emisores.
- Los microaspersores son mucho menos propensos a las obturaciones que los goteros.
- Es conveniente el lavado de las sales aplicando aguas de riego en exceso. A este respecto, la microaspersión presenta dos ventajas: a) *La mayor extensión del bulbo húmedo*; b) *En caso de ser necesarios los lavados extras, son más fáciles de realizar.*

DESVENTAJAS

- El inconveniente principal es el mayor costo de inversión inicial que el goteo (*emplea mayores caudales, obligando a utilizar laterales de mayor diámetro*), y una mayor presión de trabajo (*mayor costo de energía*).
- Como consecuencia de los altos caudales empleados en microaspersión, los riegos son de corta duración. Cuando los árboles son jóvenes y por tanto con menores necesidades de agua, los riegos llegan a ser extremadamente cortos.
- En comparación con el goteo, la microaspersión presenta una menor eficiencia de riego.
- Algunos autores citan como inconveniente que el agua pulverizada puede mojar las bases del tronco. Por ello, algunos agricultores utilizan dos microaspersores sectoriales (*de 180°*) cada uno de ellos a un lado del tronco y de espaldas a él.
- Los microaspersores son más vistosos, fáciles de desconectar y más caros que los goteros, por lo que con cierta frecuencia se dan casos de destrucción o robos.

RIEGO POR GOTEO

Un sistema de riego por goteo es aquel por medio del cual se aplica agua filtrada y soluciones fertilizantes, dentro o sobre el suelo, directamente a cada planta en forma individual, mediante emisores (goteros) anexados a las líneas laterales. La característica principal es que el agua se aplica en base a baja presión y alta frecuencia, con lo cual se crea un medio ambiente óptimo de humedad en el suelo, logrando una alta eficiencia en el uso del agua.

Debido a que solo la zona radicular de las plantas es suministrada con agua, las pérdidas por percolación o evaporación no son significativas. También el consumo de agua por plantas no beneficiosas es mínimo. El riego por goteo, para conseguir mantener el agua en la zona radicular en las condiciones de utilización más favorables para la planta, aplica el agua gota a gota, directamente al suelo. El agua es transportada a través de una red de tuberías hasta cada una de las plantas, llegando al suelo a través de goteros o emisores, los cuales disipan la presión que existe en la red de tuberías, permitiendo descargar desde el sistema hacia el suelo un caudal pequeño y controlada de agua, *Foto 9.10.*



Foto 9.10 Vista panorámica del sistema de riego por goteo

El goteo es un sistema de riego cuyas principales características son: no humedece la totalidad del suelo, se utilizan pequeños caudales a baja presión y el agua se aplica de manera continua, es por tanto un sistema de riego localizado de alta frecuencia (R. L. A. F).

COMPONENTES DEL RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo consiste en un **sistema de carga** y una **red de tuberías de distribución**. El **sistema de carga (cabezal de control)** generalmente está constituido por la bomba, el filtro, el medidor de gasto (**contómetro**), los manómetros de presión, el inyector del fertilizante, la válvula de control, el regulador de presión y la unidad de control automático. La **red de distribución** consiste de un sistema de tuberías, ajuste de tuberías, emisores y un circuito de válvulas.

La función de los emisores es la de causar una caída de presión de tal manera que solo un pequeño flujo de agua sea descargada. Esta necesaria pérdida de carga es realizada a través del uso de orificios, vértices, pasos tortuosos, placas de impacto o una combinación de todas. El flujo a través de un emisor en particular, depende de la presión en la línea lateral a la cual está conectado el emisor y puede variar de descargas tan bajas como 1l/h y tan grandes como 100 l/h.

El **cabezal de control**, se ubica generalmente al lado de la fuente de agua, contiene: la unidad de bombeo, que extrae el agua desde la fuente; válvulas, que controlan el flujo de agua; la unidad de inyección de fertilizantes; los manómetros; controles automáticos; controles de presión; filtros, necesarios para facilitar la operación del riego por goteo tablero eléctrico, en caso que la bomba sea accionada por energía eléctrica. La aplicación del agua por medio de métodos presurizados, requiere de la instalación de diferentes equipos y accesorios, que se encuentran ubicados en el cabezal de control.

Es recomendable que este sector esté protegido por una caseta o malla perimetral con el propósito de evitar robos y daños por animales.

• El **filtro de arena**, que retiene las impurezas como algas, bacterias y otros. La limpieza del filtro se efectúa por medio de una operación llamada retrolavado. El filtro de arena consiste en un depósito metálico (*también existen de plástico reforzado*), de forma cilíndrica y recubierto interiormente con pintura anticorrosiva. En su interior se colocan capas de grava de uno o varios tamaños y de arena, según los modelos; capas que actúan como agentes filtrantes (*figura 9.17*).

El agua entra al depósito por la parte superior y atraviesa la arena, de forma que las partículas minerales quedan retenidas por ésta. La salida del agua se encuentra en la parte inferior. La arena ha de ser de un tamaño igual a del paso del agua por el emisor, para filtrar todas las partículas mayores o iguales a este paso, que podrían causar obstrucciones. Estos filtros tienen la ventaja de retener una gran cantidad de partículas que contiene el agua de riego. Cuando están limpios, la pérdida de carga al pasar el agua por ellos es de 0,1 a 0,3 kg/cm².

Algunas desventajas de estos filtros son: *alto costo; muy voluminosos y de caudal reducido*; se debe cambiar periódicamente el material filtrante, pues su poder de retención de sedimentos decrece al filtrar todas las partículas mayores o iguales a este paso, que podrían causar obstrucciones y, *tiempo*; además del retrolavado, la arena debe extraerse y lavarse con cierta frecuencia.

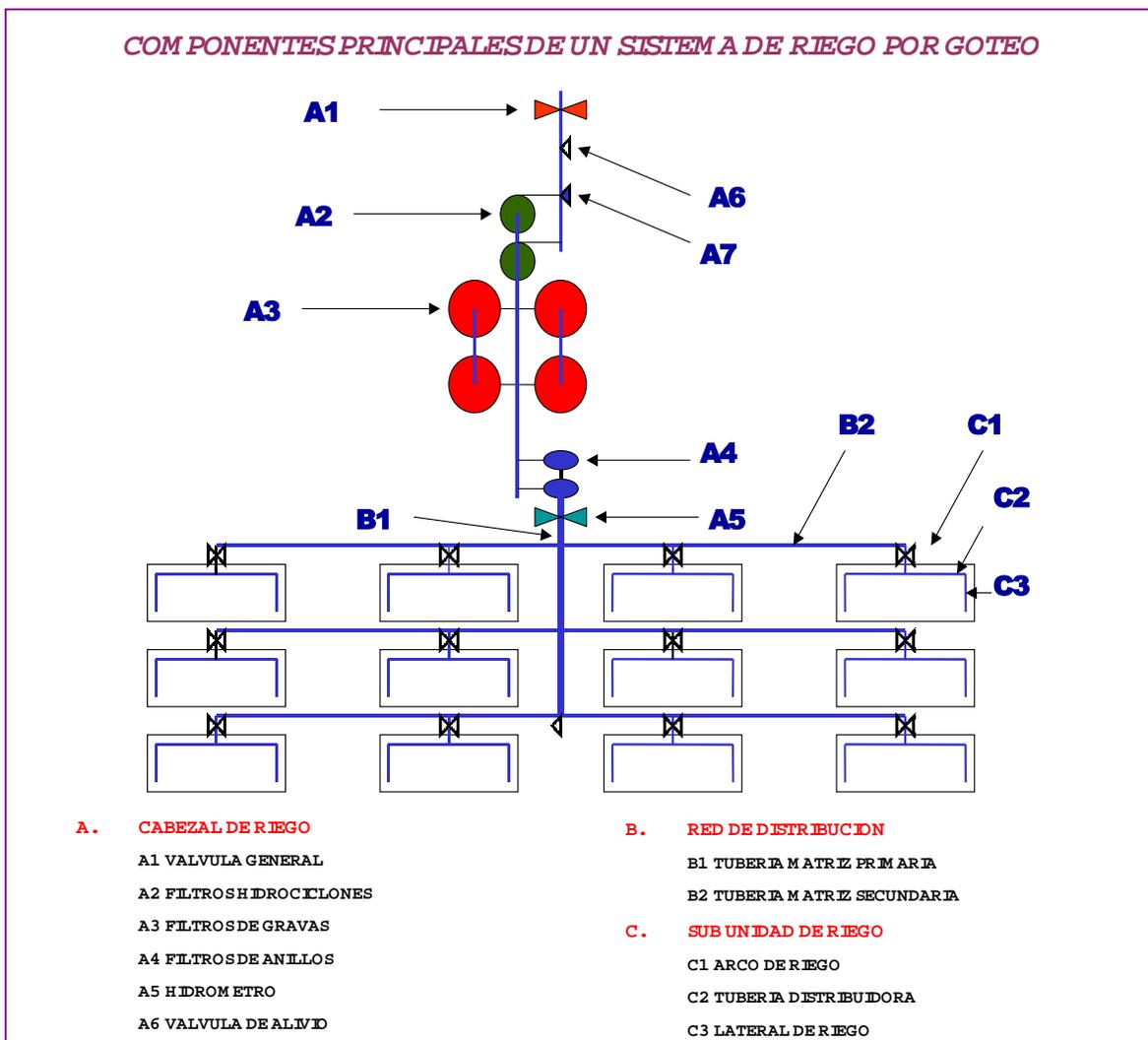
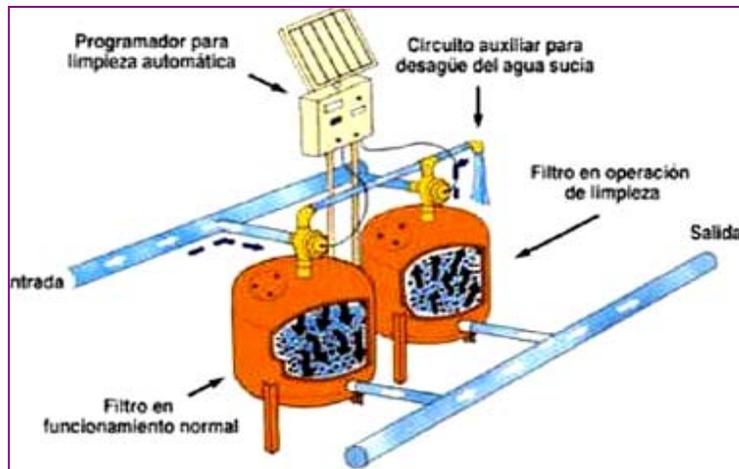


Figura 9.16 Esquema de los principales componentes del sistema de riego por goteo.
Figura 9.17 Esquema de un filtro de grava mostrando la operación de limpieza



El hidrociclón es un sistema de filtrado adecuado para la eliminación de las partículas minerales (*arenas, limos*) que se encuentran en el agua *Figura 9.18*. Consiste en un cuerpo cilíndrico que recibe el agua por un lateral y le imprime un movimiento de giro o rotacional. El agua continúa girando mientras desciende por el cuerpo troncocónico. Las partículas en suspensión, al ser más pesadas que el agua, son proyectadas contra las paredes del filtro y caen en un depósito inferior. El agua asciende por la parte central y sale por la parte superior.

Las pérdidas de carga en estos filtros son constantes a lo largo del tiempo, y solo dependen del caudal que pase por ellos. La pérdida de carga que ocasiona este sistema es de 0.3 a 0.5 kg/cm^2 . Debido a que elimina grandes cantidades de partículas minerales se sitúan aguas arriba de los demás tipos de filtro

Figura 9.18 Esquema del funcionamiento del hidrociclón



Los **filtros de malla** están formados por un cuerpo metálico cilíndrico que contiene en su interior un soporte perforado recubierto con una malla de orificios de tamaño variable *Figura 9.19*. Este filtro separa del agua las impurezas de tipo físico, como las arenas. El soporte puede ser metálico o de plástico y la malla suele ser de acero inoxidable (*también de nylon*). El tamaño del orificio de paso del agua por la malla ha de ser como máximo un décimo del tamaño del conducto del emisor en goteo y un quinto en microaspersión. De esta forma, el filtro retendrá la mayor parte que podrían obstruir el emisor.

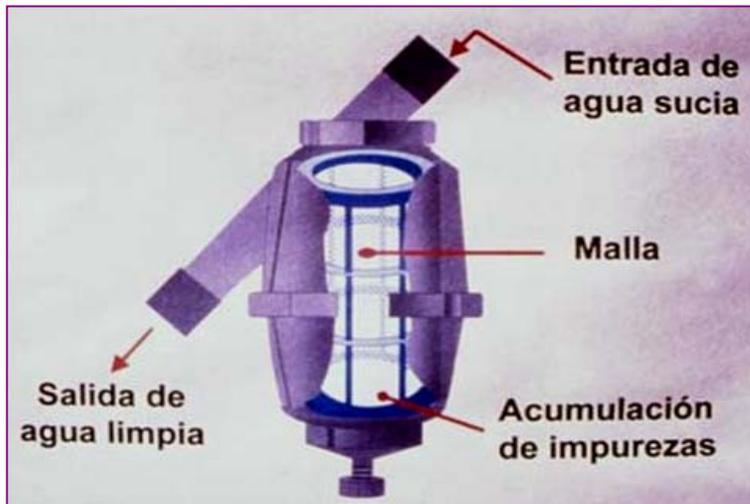


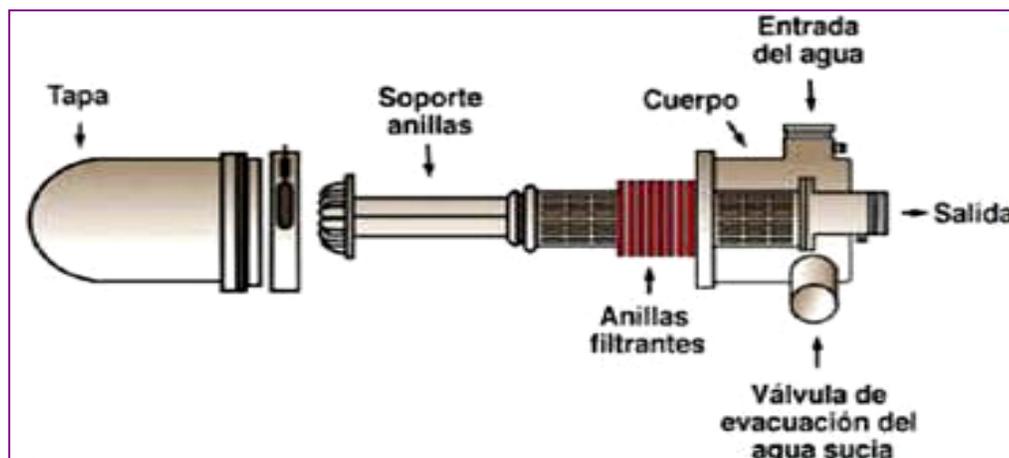
Figura 9.19 Esquema del filtro de malla.

Por ejemplo; si el orificio del gotero tiene un diámetro de 1 mm, utilizar mallas de 150 mesh, es decir, de 0.1 mm de diámetro. La colocación de mallas más densas provoca taponamientos frecuentes de los filtros y por lo tanto, pérdida de tiempo en la limpieza, que en ocasiones resultan difíciles de efectuar. Las mallas más utilizadas varían entre 30 y 120 mesh, según el tipo de gotero.

Estos filtros se colmatan con rapidez, por lo que no son indicados para aguas con gran cantidad de sedimentos. La pérdida de carga en estos filtros es de 0,1 a 0,3 kg/cm², cuando están limpios. Su ubicación debe ser posterior al filtro de arena. Su limpieza se realiza en forma manual.

Los **filtros de anillas** son muy similares en funcionamiento de los de malla, por lo que pueden ser instalados en el cabezal de riego uno u otro filtro. Estos sistemas de filtrado son de forma cilíndrica y contiene un soporte central perforado sobre el que se colocan anillas con ranuras impresas (Figura 9.20). El agua se filtra al pasar por los pequeños conductos formados entre dos anillas consecutivas. Al igual que el filtro de mallas, puede retener una gran cantidad de partículas. La pérdida de carga que genera es de 0,1 a 0,3 kg/cm². El lavado puede efectuarse en forma manual, abriendo la carcasa, extrayendo el cuerpo de anillas y lavándolas con agua a presión, y también puede ser automático, para cuerpos de anillas de mayor tamaño.

Figura 9.20 Anillas y esquema del filtro de anillas.



Para que un sistema de riego opere en forma adecuada, es importante controlar la presión del agua dentro del mismo: los **manómetros** son instrumentos que registran dicha presión. Los manómetros deben ubicarse antes y después de los filtros para determinar el momento oportuno

de su limpieza. Una diferencia de presión de aproximadamente 3 mca ó 0.3 bares, indica que el filtro debe limpiarse. También es útil instalar manómetros en el cabezal de cada sector de riego, con el fin de conocer la presión con la que llega el agua a los laterales.

Las **válvulas de aire** tienen por función permitir la salida del aire que queda atrapado en el sistema de riego, como también, permitir la entrada de aire a las tuberías, cuando el flujo de agua se detiene, con el propósito de evitar la succión. Deben ubicarse después de la bomba y en los puntos en que las tuberías matrices tengan cambios de pendiente. Si no se colocan estas válvulas, y al no eliminarse el aire se distorsionaría la presión y los caudales de funcionamiento del sistema y, hasta podría provocarse la rotura de las tuberías.

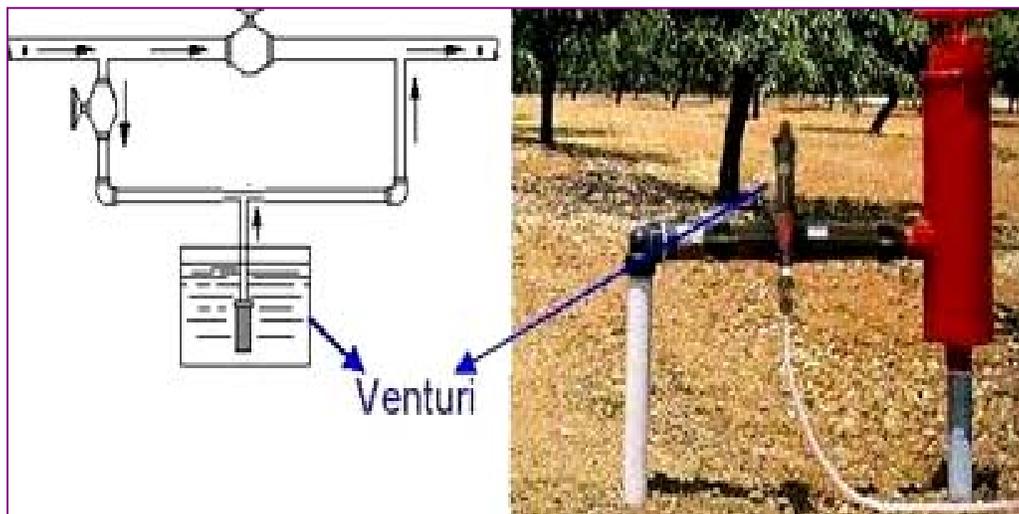
Normalmente están formadas por un cuerpo plástico o metálico, en cuyo interior existe una boya. Cuando por las tuberías circula agua a presión, ésta empuja la boya, taponando la salida. Pero si hay una acumulación de aire, al disminuir la presión, la boya desciende y lo deja escapar, en cuyo momento se recupera la presión y vuelve a cerrar la salida.

El riego presurizado permite la aplicación de fertilizantes solubles a las plantas junto con el agua de riego, lo que significa un importante ahorro de mano de obra y de fertilizantes. La incorporación de ellos se realiza por medio de equipos denominados **inyectores de fertilizantes**. La mezcla de los nutrientes con el agua de riego se realiza por presión diferencial y por inyección en la red.

Fertilizadores diferenciales: Consisten en depósitos cilíndricos, metálicos o plásticos, en cuyo interior se colocan los fertilizantes para su disolución y posterior conexión a la red.

Hay dos tipos de estos aparatos, uno de ellos lleva un tubo de entrada que llega hasta el fondo del mismo y hace salir el agua tangencialmente a la pared, lo que produce un movimiento de rotación que ayuda a disolver los abonos; el otro tubo penetra por la parte superior del depósito, sólo unos centímetros. Ambos tubos están conectados a la red, con una válvula de compuerta entre ambos puntos de conexión. El depósito está a la presión de la red y se provoca una depresión cerrando un poco la válvula citada, lo que obliga a una parte del agua a circular a través del mismo.

Figura 9.21 Fertilizador diferencial tipo Venturi



El otro tipo utiliza el principio **Venturi** (Figura 9.21), que consiste en una tubería que posee un estrechamiento inmediatamente antes del punto de conexión con el depósito, uniéndose por ambos extremos a la red general. Este estrechamiento provoca una alta presión a la entrada y una baja presión a la salida, y es precisamente ésta la que provoca la succión del líquido contenido en el depósito. Variando el diámetro de la reducción se puede dosificar el caudal que se inyecta a la red.

Inyección en la red: Se realiza mediante bombas que permiten regular perfectamente el caudal de la red de riego. Estas bombas pueden ser eléctricas o hidráulicas; en este último caso se aprovecha la propia presión del agua para accionar el sistema de impulsión, normalmente formado por una membrana a la que está fijado un pistón. La presión del agua hace subir el pistón, que desplaza una pieza móvil, la cual provoca una inversión de las presiones que actúa sobre la membrana y se produce el movimiento alternativo.

Las primeras son unas motobombas de muy reducidas dimensiones y potencia, y cuya altura de aspiración no suele sobrepasar el metro y medio. Se prefiere que sean de membrana en lugar de pistón. Los caudales que entregan estas bombas son siempre pequeños y varían entre 0.1 y 20 l/h, pudiendo regularse el caudal con la bomba en marcha, girando un tornillo.

Red de conducción y distribución.- Otro componente fundamental de un sistema de riego presurizado es la red de conducción y distribución, constituida por:

Línea principal, la cual conecta las líneas distribuidoras a la fuente de agua. Puede estar constituida de polietileno, PVC, acero inoxidable o asbesto-cemento.

Líneas distribuidoras, las cuales permiten conectar las líneas laterales a ambos lados. Pueden ser flexibles si están ubicadas en la superficie o rígidas si están enterradas.

Línea lateral, generalmente de 12 a 32 mm de diámetro y construida de polietileno. Los emisores se ubican en espaciamientos predeterminados sobre la línea lateral.

▪ **Emisores o goteros.-** Los goteros son estructuras que disipan la presión que trae el agua dentro de la tubería lateral, permitiendo la salida del agua, en forma de gotas; funcionan a bajas presiones (1 kg/cm^2) y aplican un pequeño caudal (*de 2 a 16 l/h*). En el mercado se pueden encontrar distintos tipo de goteros. Para definir un tipo de gotero se puede atender a distintas clasificaciones.



Foto 9.11 Instalación de riego por goteo en laderas; se observa líneas laterales en contra de la pendiente. Según el sistema que utilizan para disminuir la presión del agua que les llega por la red de distribución:

Goteros de laberinto: El agua atraviesa un conducto en forma de laberinto que hace disminuir su presión y velocidad. Es poco sensible a las obstrucciones y a los cambios de presión y temperatura.

Goteros laminares: El orificio de salida del agua de riego se encuentra al final de un pequeño tubo. El régimen del agua en este emisor es laminar, de aquí proviene su nombre.

Goteros de vórtice: El agua se introduce en un pequeño compartimiento circular en el que se produce un remolino, en cuyo vórtice se encuentra el orificio de salida del agua de riego. Son emisores poco sensibles a los cambios de presión y temperatura.

Goteros de orificio: Este tipo de goteros dispone de una serie de orificios de pequeño tamaño que hacen disminuir la presión y velocidad del agua a aplicar. Tienen el inconveniente de ser muy sensibles a las obstrucciones dado que el diámetro de los orificios es muy pequeño.

Goteros autocompensantes: En estos emisores la presión de salida del agua de riego es prácticamente constante a lo largo del ramal gracias a un sistema de regulación de presión que tienen en su interior (Foto 9.12). Este sistema consiste en una membrana que varía el tamaño del conducto del interior del emisor en función de la presión de la tubería que distribuye el agua de riego. Son más caros, pero su uso suele estar justificado en condiciones de grandes pendientes o laterales muy largos, que ocasionan fuertes diferencias de presión entre los diferentes emisores.

Según la conexión de los emisores a la tubería:

En línea: Los emisores se encuentran insertados dentro de la línea de la tubería. Pueden venir insertados de fábrica o realizar la operación al montar el riego en la parcela, cortando la tubería e instalando los emisores.



Foto 9.12 Emisores autocompensantes y tipo botón

Figura 9.23 Gotero en línea; en manguera de polietileno, diámetro de 16 y 20 mm; gotero tipo laberinto de régimen turbulento; caudal de 1,7 l/h para los diámetros de 16 y 20 mm; espaciamiento constante entre los goteros (mínimo 15 cm).



En derivación: Los emisores se encuentran conectados lateralmente a la tubería. También son conocidos como goteros “on line” o tipo botón (Foto 9.12). Existen algunos tipos de emisión menos convencionales, como el que se realiza por tuberías emisoras.

Riego por tuberías emisoras.- El agua se conduce a la vez que se aplica por las tuberías emisoras. Para la aplicación de agua con estos sistemas la presión de funcionamiento necesaria es baja (*menor a 1 kg/cm²*) y su caudal no sobrepasa los 16 l/h. Son muy adecuadas para cultivos en línea con poca distancia entre plantas como las hortalizas. Existen tres tipos de tuberías emisoras:

- **Tuberías perforadas:** Las tuberías emisoras disponen de unos orificios por los que se aplica el agua al cultivo directamente desde el interior de la tubería. Este tipo de aplicación de agua tiene el inconveniente de ser muy sensible a los cambios de presión.
- **Tuberías de doble pared:** La tubería emisora se encuentra formada por dos tuberías concéntricas. La tubería interior tiene pequeños orificios o está hecha de material poroso por el que el agua pasa de esta tubería a la exterior, la cual tiene practicados unos orificios por los que se aplica el agua al cultivo. Es un sistema muy sensible a la obturación, ya que los orificios de salida del agua son muy pequeños.
- **Cintas de goteo:** son tuberías de escaso espesor en las que se han insertado, en el proceso de fabricación, circuitos laberínticos impresos por los que discurre el agua (*Figura 9.24*). Funcionan a presiones más bajas que los goteros para el mismo caudal (*entre 0,4 y 1,0 l/h a 0,6 - 1,0 bares*). Presentan una uniformidad de aplicación muy alta. Están fabricadas con **PEBD** u otros tipos de **PE** flexible, en diámetros variables de 12 a 20 mm y en distintos espesores (*0,10 a 1,25 mm*).

Gracias al sistema de autofiltrado incorporado dentro del tubo, son menos susceptibles a la obstrucción mecánica y biológica que los goteros convencionales. Su funcionamiento por tanto es similar al de un gotero integrado, aunque presenta la ventaja de un costo más reducido y un funcionamiento a una presión más baja, su duración suele ser menor.



Figura 9.24 Cinta de Goteo; flujo turbulento, instalación superficial y subsuperficial; caudal es de aplicación más utilizados de 1,0 l/h.

Los emisores o goteros deben dar un caudal bajo, por lo que conviene que los diámetros sean pequeños, pero esto puede provocar que se produzcan obturaciones, de forma que existen diversos diseños de goteros en el mercado que intentan resolver este problema.

Las principales características que definen un emisor son:

Caudal nominal, que es el que suministra el gotero a la presión nominal. Suele estar comprendido entre 2 y 4 l/h (en hortalizas), aunque puede llegar hasta valores de 16 l/h en otros cultivos.

Presión nominal (Pn), que es la presión para la que se ha diseñado el emisor y que suele ser de 10 mca. En goteros autocompensantes la Pn se sustituye por el rango de presiones de funcionamiento.

Régimen hidráulico, siendo el más conveniente el turbulento, ya que el laminar hace a los emisores más sensibles a las variaciones de presión y de viscosidad y temperatura del agua.

Ecuación característica del emisor, que se obtiene en el banco de prueba y es imprescindible para el diseño de la instalación. Viene dada por la siguiente expresión:

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

- q** : Caudal del emisor (l/h).
- K** : Coeficiente de descarga, que es adimensional.
- h** : Presión a la entrada del emisor (mca).
- x** : Exponente de descarga (adimensional), que indica la sensibilidad de los emisores a la variación de presión, de forma que cuanto más se aproxime a la unidad, el régimen hidráulico más se acerca al laminar y para $x = 0,5$, el régimen es turbulento. En teoría, un emisor autocompensante perfecto tendría un $x = 0$, aunque en la práctica se considera autocompensante el emisor de $x < 0,2$.

Coeficiente de variación de fabricación (CV), que es una medida de la dispersión de caudales respecto de la media, ya que, por razones constructivas, es difícil conseguir que todos los goteros de un mismo modelo den el mismo caudal a la misma presión. Se define mediante la siguiente expresión:

$$CV = s/q_m$$

- S** : Desviación típica respecto a la media de los caudales ensayados.
 - q_m** : Caudal medio
- Cuanto más alto es el CV, menos uniformes son los emisores, de modo que según éste pueden dividirse en tres categorías:
- Categoría A : $CV < 0,05$
 - Categoría B : $0,05 < CV < 0,10$
 - Sin Categoría : $CV > 0,10$

Diámetro mínimo, que es la dimensión del paso más estrecho que encuentra el agua en su recorrido dentro del emisor. Cuanto menor sea el diámetro, mayor será la sensibilidad a las obturaciones, de forma que surge la siguiente clasificación:

Diámetro mínimo (mm)	Sensibilidad de la obturación
< 0,7	Alta
0,7-1,5	Media
> 1,5	Baja

Características constructivas, dentro de las cuales destacan:

- **Puntos de emisión**, que generalmente es sólo 1, pero que en algunos modelos pueden ser 2, 4 ó más.
- **Sistema de limpieza**, encontrando emisores **autolimpiantes**, desmontables, con piezas móviles, etc.
- **Sistema de conexión**, interlínea, conectados o integrados. Los primeros se instalan cortando la tubería e insertando el gotero. Los goteros conectados se instalan en la tubería en un orificio practicado con un sacabocados. Los goteros integrados se implantan en una tubería de polietileno durante el proceso de fabricación.
- **Accesorios**, tales como codos, uniones, tees, terminales con hilo interior o exterior, reducciones, etc. Estos facilitan la labor de instalación, ya que permiten ubicar la tubería siguiendo las diferentes formas de los sectores a regar. Usar una cantidad exagerada de

accesorios puede ocasionar una mala utilización de la energía que acciona la bomba, por incremento de las pérdidas de carga.

VENTAJAS

El riego por goteo ofrece beneficios potenciales en el uso eficiente del agua, en la respuesta de las plantas, en el manejo del cultivo y en el incremento de los rendimientos. Así:

Uso eficiente de riego:

En el riego por goteo las pérdidas por evaporación son mínimas; no existe mayor movimiento de gotas de agua a través del aire; no se moja el follaje y no hay evaporación en la superficie, fuera de aquella humedecida por el emisor. Además, el riego por goteo limita el crecimiento de las malezas y, por tanto, el uso-consumo no beneficioso del agua; no produce pérdidas por escurrimiento superficial; es posible aplicar cargas de agua muy precisas, y; toda el área es irrigada sin quedar sectores de riego secos.

Respuesta de las plantas:

- El rendimiento de las plantas irrigadas por goteo, en la mayoría de casos, es mayor que en otros sistemas de riego.
- Un mejor ambiente en la zona de raíces, la aireación, nutrientes y humedad se pueden mantener a niveles óptimos.
- Reducción en el ataque de plagas, en el desarrollo de enfermedades y problemas fungosos, al minimizar el humedecimiento de la superficie.
- Posibilidad de irrigar suelos salinos y emplear aguas salinas, debido al desplazamiento de sales al entorno del bulbo húmedo y al alto nivel de humedad dentro del mismo.
- Disminución significativa en el problema del enmalezamiento.

Beneficios agronómicos:

- Las actividades de riego no interfieren con otros trabajos agronómicos, además de disminuir las operaciones del cultivador (*pulverización, cosecha, embalaje*).
- Reducción al mínimo de las pérdidas de agua por escurrimiento superficial, con lo cual se tiene un control efectivo de la aeración del suelo.
- La fertilización alcanza máxima eficiencia, al llevar hasta la zona de raíces, y en forma controlada, los nutrientes esenciales, lo que se conoce como **fertirrigación**. Además, disminución en la mano de obra para la aplicación de fertilizantes y menor cantidad de fertilizantes aplicados

Beneficios económicos:

- Para cultivos en hileras, el costo del sistema de riego por goteo, diseñado correctamente, es bajo, en relación con cualquier otro sistema de riego permanente.
- Los costos de operación y mantenimiento del sistema de riego por goteo son generalmente pequeños.
- El sistema de riego por goteo puede ser adaptado en terrenos con grandes desuniformidades topográficas, más que cualquier otro sistema de riego.

- El riego por goteo requiere en general presiones de trabajo relativamente bajas y descargas constantes y su eficiencia de aplicación es alta, lo que reduce el tamaño de las tuberías y el uso de energía.

DESVENTAJAS

El riego por goteo tiene los siguientes problemas potenciales importantes:

- **Taponamiento de los goteros.-** Este es el problema más serio a considerarse por efecto de las partículas de arena, los residuos orgánicos y los precipitados químicos. La filtración del agua es la mejor defensa contra este problema. El taponamiento determina problemas de mala distribución de agua a lo largo de los laterales, deteriorando finalmente todo el módulo instalado.
- **Riesgo de salinización del suelo.-** Todas las aguas de riego contienen sales en solución, gran parte de las cuales son dejadas en el suelo, al absorber agua las plantas. En el riego por goteo, se distribuyen alrededor del bulbo húmedo y se acumulan entre bulbos y en la línea de la superficie humedecida.
- **Distribución de humedad.-** Al humedecer una parte del volumen del suelo, el riego por goteo limita el desarrollo radicular de los cultivos, limitando posiblemente su rendimiento potencial.
- **Funcionamiento de alto nivel técnico.-** Este sistema de riego es más complicado que cualquier otro (*aspersión, gravedad*) desde el punto de vista técnico. Por lo tanto, su manejo requiere de un conocimiento lo suficientemente alto. La operación y mantenimiento, especialmente la filtración del agua y el control sobre los goteros, requieren atención constante. Por ello, el riego por goteo no es adecuado para los agricultores de bajo nivel técnico o no capacitados.

OBTURACION EN LOS EMISORES

La obturación de los emisores es, actualmente, uno de los mayores problemas del riego localizado. Esto es debido a que los diámetros de los conductos por los que circula el agua de riego son muy pequeños y resulta relativamente sencillo que se depositen partículas en ellos.

La obstrucción disminuye el diámetro del emisor y, en ocasiones, cierran totalmente el paso al agua. Esta disminución de diámetro repercute en el rendimiento del cultivo ya que habrá plantas que no reciban toda el agua necesaria para su correcto desarrollo. Además, no todos los emisores presentan el mismo grado de obturación, por lo que la uniformidad de aplicación del agua de riego también se verá afectada.

La obturación de los emisores puede ser de naturaleza física, química y biológica (Figura 9.25):

■ OBTURACIÓN DE TIPO FÍSICA

Se produce por la sedimentación de partículas, tanto minerales como orgánicas, que se encuentran en suspensión en el agua de riego. También se considera la producida por partículas que acceden al emisor desde el exterior. La prevención de este tipo de obturación pasa por la instalación de un buen sistema de filtrado en el cabezal de riego y con adecuado mantenimiento. Para la eliminación de las partículas minerales (*las más comunes si el agua de riego proviene de fuentes superficiales*) lo más recomendable es un hidrociclón.

Si el agua de riego transporta una gran cantidad de sólidos en suspensión será necesaria la existencia de un equipo de prefiltrado que elimine las partículas más gruesas. De esta forma no se sobrecargará el equipo de filtrado y se disminuirán los gastos de mantenimiento.

Figura 9.25 Probabilidades de obturación de emisores por factores físicos, químicos y biológicos

OBTURACION DE EMISORES POR FACTORES DE NATURALEZA FISICO - QUIMICO Y BIOLOGICO			
<i>Bucks Y Nakayama /1980</i>			
NATURALEZA DEL PROBLEMA	PROBABILIDAD DE OBTURACIÓN		
	BAJA	MEDIA	ALTA
FISICO			
SÓLIDOS EN SUSPENSION	< 50 ppm	50 - 100 ppm	> 100 ppm
QUIMICO			
SÓLIDOS EN SOLUCION	< 500 ppm	500 - 2000 ppm	> 2000 ppm
HIERRO	0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
MANGANESO	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
CALCIO	< 10	10 - 50	> 50
CARBONATOS	< 100	100 - 200	> 200
pH	< 7	7 - 8	> 8
BIOLOGICO			
BACTERIAS POR cm3	10 000	10 000 - 50 000	> 50 000

■ **OBTURACIÓN DE TIPO QUÍMICA**

Se produce por efecto de los precipitados químicos cuando se modifican las cualidades del agua de riego (*temperatura, presión, pH*) y cuando se evapora el agua del interior de los emisores una vez acabado el riego. Los **precipitados de calcio** se producen en función de la acidez del agua de riego. Cuando el agua es poco ácida, el calcio se precipita en los emisores provocando la disminución del diámetro de salida del agua de riego. La forma de prevenir y tratar este tipo de obturación es aplicando al agua de riego cierta dosis de ácido (*normalmente ácido nítrico*) que hará aumentar el valor de acidez del agua. De esta forma el calcio del agua de riego quedará disuelto y no se presentarán problemas o, si ya se han localizado deposiciones de calcio, éstas se disolverán.

Los **precipitados de hierro, azufre y manganeso** se forman en los emisores al ponerse en contacto estos elementos con la atmósfera, ya que precipitan al oxidarse. Para evitar este tipo de problemas de obturaciones derivados de esta oxidación, puede airearse el agua de riego (*mediante agitadores o inyectores de aire*) antes de que entre en el depósito de decantación o embalse de regulación. De esta forma, los precipitados se forman antes de que el agua pase por los filtros. También se pueden emplear elementos oxidantes que provoquen la precipitación tales como cloro, permanganato o distintos acidificantes.

■ **OBTURACIÓN DE TIPO BIOLÓGICA**

Se producen por el crecimiento de microorganismos en el agua de riego, causando problemas dentro de los emisores o en los filtros. Se detectan en los emisores por su aspecto grasiento de color oscuro. El crecimiento de algas se produce en donde se acumula el agua al aire libre. Las algas producen la colmatación rápida de los filtros y ocasionan restos que después serán medio de cultivo para el desarrollo de bacterias. También, se produce el desarrollo de microorganismos dentro de las conducciones (*bacterias principalmente*).

En el caso de obturación por algas, un tratamiento eficaz es la aplicación de sulfato de cobre con dosis de 0.05 a 2 mgr/l de agua a tratar. Otra posibilidad complementaria a la anterior es colocar las tomas (*cuando es posible*) a profundidades > 2 m, pues las algas tienden a desarrollarse en la superficie. Para controlar la obturación debida a bacterias, se recomienda el uso de hipoclorito sódico de forma que en el emisor más desfavorecido tenga durante un tiempo superior a 45 minutos una solución de cloro libre de 0.5 a 1 mgr/l (*ppm*) de agua.

DISEÑO AGRONÓMICO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Los procedimientos que se siguen en el diseño de un sistema de riego por goteo son similares a los empleados para diseñar un sistema de riego por aspersión. Las condiciones que deben guardar el suelo, el suministro de agua, el clima y los aspectos agronómicos deben ser cuidadosamente evaluados. Existen sin embargo, un número de condiciones que le son exclusivos al riego por goteo.

En general requiere de los siguientes datos: superficie de la parcela, tipo de suelo, tipo de cultivo, superficie que ocupa cada planta, caudal total disponible, diferencia de cotas entre la captación y la cabecera de la parcela, desnivel de la parcela, calidad del agua, horas que se pueden regar al día, estimación de la evapotranspiración potencial máxima diaria, análisis de las variables hidrodinámicas de los suelos etc.

El diseño involucra los siguientes pasos:

- **Cálculo de los factores preliminares de diseño.**
Cálculo de la lámina de riego, intervalo de riego, descarga por planta y el gasto de agua que requiere el sistema.
- **Selección de los emisores.**
- **Selección del número y trazado de las subunidades.**
Requiere contar con un plano a escala del predio a irrigar que indique orientación, distanciamiento entre plantas, límites del campo, accidentes, pendientes del terreno y localización de la fuente de agua. El trazado incluye el delinear toda la red de tuberías y laterales que permitan la distribución del riego en toda el área a irrigar.
- **Diseño de la línea distribuidora y las líneas laterales.**

Ambas componen una subunidad del sistema, El diseñador debe decidir el número de subunidades que empleará para trazar el sistema de riego, comparando el costo inicial de las tuberías contra el costo de bombeo.

- **Diseño de las líneas de conducción principal, subprincipal y auxiliares.**
- **Sistema de filtración.**
- **Requerimientos de bombeo.**

DETERMINACIÓN DE LAS DEMANDAS DE AGUA DEL CULTIVO

La demanda de agua de un cultivo o Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), depende de su **estado fenológico** (*brotación, crecimiento inicial, pleno crecimiento, floración, fructificación, cosecha*), de las **condiciones climáticas** (*temperatura, humedad relativa, viento*), de las **características del suelo** (*profundidad, textura, capacidad de retención, infiltración, pedregosidad, tipos de estratos*), y de la **disponibilidad y calidad del agua**.

La forma práctica de estimar las demandas de agua es a través del **tanque de evaporación tipo A** (recomendada por el US Bureau of Reclamation) **De esta forma, la Evapotranspiración del cultivo (*ETc*) será igual a:**

$$ETc = Eo \times Kp \times Kc \quad (mm/día)$$

- ETc* : Evapotranspiración del cultivo (mm/d).
- Eo* : Evaporación de tanque clase A (mm/d).
- Kp* : Coeficiente de tanque, que depende de las condiciones donde esté instalado.
- Kc* : Coeficiente del cultivo, factor que varía según el tipo de cultivo y según las distintas etapas de su desarrollo. Para efectos de diseño se utiliza el mayor valor de *Kc* del cultivo.

Conversión de mm/día a litros/planta/día: Se multiplica los mm/día por la superficie que ocupará cada planta (*SP*) y por el porcentaje de cubrimiento (*PC*) del follaje en relación a la *SP*; de tal forma que la **demanda neta del cultivo (*DNC*)** será:

$$DNC = \frac{ETc \times SP \times PC}{100}$$

Mientras que la **demanda real o bruta (*DBC*)**, será igual a la *DNC* entre la eficiencia de riego.

$$DBC = \frac{DNC}{ER}$$

NÚMERO DE GOTEROS POR PLANTA

Previamente, debe seleccionarse el tipo de gotero a usar en función a la relación caudal–presión, material y sensibilidad de construcción, forma de inserción en la tubería lateral, etc. El número de goteros por planta depende fundamentalmente de la proporción del suelo a mojar (*PMS*), la cual no Deberá ser menor al 30 ó 40%, de tal forma que el número de goteros (*ng*) puede quedar definido por la siguiente relación:

$$ng \geq \frac{SP \times PSM}{100 \times A_{mg}}$$

- Ng* : Número de goteros por planta.
SP : Superficie que ocupará cada planta (m²)
PSM : Porcentaje de suelo a mojar.
A_{mg} : Area mojada por emisor (m²)

DISTANCIAMIENTO DE GOTEROS EN LA LÍNEA LATERAL

La distancia entre goteros en la línea lateral es igual a la distancia que existe entre plantas sembradas en hilera. Este distanciamiento debe asegurar un traslape de los bulbos húmedos, que permita cumplir con el porcentaje de suelo humedecido. Se puede colocar los goteros a una mayor distancia pero se debe tener un mayor control en el manejo del sistema.

TIEMPO DE RIEGO DIARIO (TRD)

Este valor se obtiene de la siguiente relación:

$$TRD = \frac{DBC}{ng \times qg}$$

- DBC* : Demanda bruta del cultivo.
ng : Número de goteros por planta.
qg : Caudal del gotero.

CAUDAL DE DISEÑO (Q_d)

El caudal de diseño depende de la superficie que cubre el proyecto y la densidad de siembra. Se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Q_d = (N^{\circ} \text{ de plantas/ha}) \times (ng) \times (qg)$$

- Q_d* : Caudal del diseño (l/s)
ng : Número de goteros por planta.
qg : Caudal del gotero (l/s).

El caudal de diseño permitirá dimensionar los equipos y tuberías del sistema.

DISEÑO HIDRAULICO DEL SISTEMA

El principal concepto a desarrollar, en el proceso del diseño hidráulico, es la **presión de operación**, que corresponde a la presión de trabajo de los emisores. Ello significa que el sistema tiene que operar con una presión tal que, luego de producirse las pérdidas por conducción del agua, los goteros deben operar con la presión de trabajo que indican los fabricantes. La presión de operación de los emisores es específica para cada tipo.

La unidad de medida de la presión, comúnmente utilizada, es metros de columna de agua (*mca*), cuyas equivalencias importantes son:

$$1 \text{ atmósfera} = 10 \text{ mca} = 14.7 \text{ lb/pulg}^2 = 1 \text{ kg/cm}^2$$

PÉRDIDA DE CARGA EN UNA TUBERÍA

Es aquella pérdida de energía del agua en su recorrido al interior de la tubería, desde la entrada hasta el final, provocando una disminución de la presión interna del sistema o un diferencial de presión. Esta diferencia de presión se conoce como **pérdida de carga**. La pérdida de carga en una conducción está estrechamente relacionada con el caudal conducido, diámetro, longitud y rugosidad de las tuberías (*pérdidas por fricción*). Otro factor que afecta la presión son las pérdidas por singularidades, que son producidas por uniones, válvulas, codos, bifurcaciones, etc.

DISEÑO DE TUBERÍA LATERAL

Las tuberías laterales son las que llevan insertados los goteros o emisores. Son normalmente de polietileno. Su diseño contempla la determinación del diámetro, longitud y pérdidas de carga. Para ello es necesario conocer: número de goteros y caudal del lateral y pérdida de carga máxima permisible. Este último factor se prefija sobre la base de un porcentaje de la presión de operación (10 a 15 %) y a partir de ese valor se calcula la longitud y diámetro necesarios.

DISEÑO DE LA TUBERÍA PRINCIPAL

Igual que en el caso anterior, su dimensionamiento depende de: el número de laterales que sirve, el caudal que conduce y de la pérdida de carga permisible. Esta pérdida de carga puede prefijarse o establecerse como criterio, como equivalente al desnivel del terreno. A partir de dicho valor se calcula la longitud y diámetro necesarios. En este caso, puede combinarse dos o más diámetros para lograr la pérdida de carga permisible.

PRESIÓN DEL SISTEMA

Para determinar la presión del sistema es necesario considerar todas las pérdidas de carga que se producen, desde la toma de agua hasta la entrega al terreno, y sumarle la presión de operación que requiere el gotero para su normal funcionamiento.

A continuación, se presentan las diferentes pérdidas de carga que deben considerarse:

- **Presión de operación del gotero.**
- **Pérdida de carga en la tubería lateral.**
- **Pérdida de carga en la tubería principal.**
- **Pérdida de carga en la válvula del sector.**
- **Pérdida de carga en la tubería matriz.**
- **Pérdida de carga en accesorios (10 – 15 % de las anteriores).**
- **Pérdida de carga en filtros.**
- **Reserva de carga por desnivel.**

RIEGO SUB-SUPERFICIAL

Es un sistema de riego localizado de alta frecuencia. que mediante un tubo flexible y poroso conduce y exuda agua en toda su longitud. Con este tubo textil exudante, enterrado en un suelo con humedad por debajo de su capacidad máxima de retención, la dotación de agua depende de la succión del suelo y se distribuye por la acción de las fuerzas de capilaridad principalmente.

En consecuencia, el frente húmedo se desplaza en todas las direcciones a partir del tubo poroso. Este sistema de regulación del caudal en el riego por exudación permite regar de forma continua, de manera que sea el propio sistema suelo-plantas quien establezca la demanda del tubo poroso para satisfacer las necesidades de las plantas en cada momento, ahorrando agua y consiguiendo un riego más uniforme.

Su principal característica es la de repartir uniformemente el agua, exudándola por sus poros micrométricos, lo que origina una línea continua de humedad.

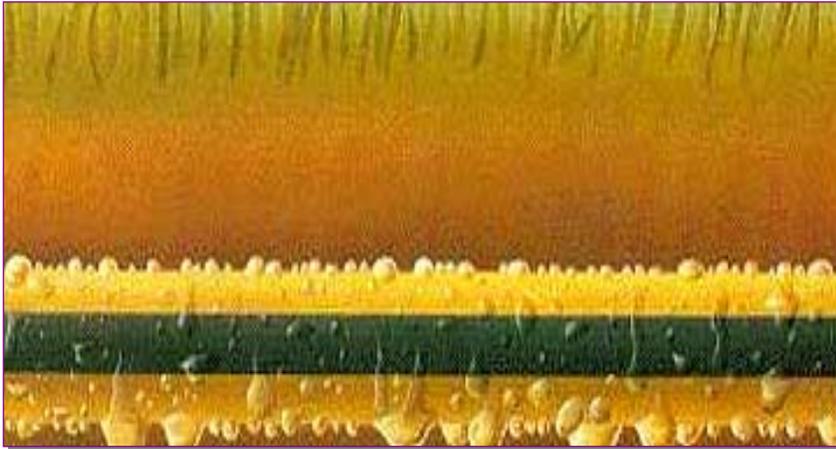


Figura 9.27 Tubería porosa exudante

Comercialmente, es conocido como **Viaflo o exudación**, método de riego basado en la conducción y localización del agua a través de un conductor poroso, fabricado a partir de una membrana compuesta de microfibrillas de polietileno de alta densidad entrecruzadas de forma que presentan poros de cuatro micras de diámetro y ocupan 50% de la superficie total, la membrana denominada **TIVEK**, entubada (**tubo interno**) y rodeada de una protección externa (**tubo externo**) sintética o "**chaqueta**" permite llevar agua y soluciones diversas "**exudando**" y localizándolas a lo largo de toda su longitud, formándose en el suelo "**líneas continuas y uniformes de humedad**", que hace la diferencia con los demás sistemas de riego. (Figura 9.27).

Las **tuberías porosas o exudantes** funcionan a presiones muy bajas (1 – 3 mca) y los caudales aportados son menores que con otro tipo de emisores (0.5 – 1.5 l/m). Esta cualidad del riego por exudación lo convierte agronómicamente en su principal ventaja (*se evita encharcamientos, agua de escorrentía y de percolación, aún el sistema opere por periodos largos de manera continua*).

Su principal inconveniente es la falta de uniformidad de humedecimiento cuando a la instalación no se sigue las recomendaciones de mantener presiones bajas y constantes por 24 a 48 horas continuas y por otro lado, las obturaciones son más frecuentes que con otros tipos de emisores debido al pequeño diámetro de sus poros micrométricos. La baja presión de trabajo le permite al sistema, el óptimo control en la aplicación del agua, ahorro máximo de energía y facilidad total en la inyección de las soluciones nutritivas, las cuales son obtenidas de los fertilizantes comerciales comunes sin ningún límite.

Por estas razones los "**beneficios agronómicos**" se elevan significativamente, sobresaliendo la aplicación de nutrientes debido a la facilidad de llevar los elementos esenciales hasta la zona de raíces en forma controlada y disponible aun en condiciones adversas de suelo. Asimismo, los **beneficios económicos** se incrementan significativamente por el menor costo del equipo de riego, por unidad de área, comparada con otros sistemas a presión (*aspersión, goteo, microjet, etc*) y por los bajos costos de mantenimiento y operación



Foto 9.13 Instalación del sistema de riego por exudación. Se aprecia el humedecimiento uniforme en líneas continuas

Comercialmente el sistema de exudación se conoce con el nombre de VIAFLO (vía de flujo). En sí, es un tubo flexible confeccionado con una membrana plástica permeable que a la vez que conduce agua la va exudando homogéneamente a lo largo de toda su longitud. Es por tanto, un sistema de riego localizado de alta frecuencia.

VENTAJAS

- **USO EFICIENTE DEL AGUA DE RIEGO**
La eficiencia total del riego con este sistema bordea al 98%. Las disminuidas pérdidas de agua por evaporación directa de la superficie se deben a la localización subterránea del agua. Asimismo, un limitado crecimiento de las malezas evita el uso-consumo no beneficioso y finalmente, la posibilidad de aplicar cargas de agua extremadamente precisas.
- **HUMEDECIMIENTO ÓPTIMO DEL SUELO**
El suelo se humedece sólo en una línea continua de humedad (40%), quedando parte de la superficie (*entre líneas*) no humedecida (60%). Esto origina una gran homogeneidad en el crecimiento de los cultivos, lo cual facilita además, los trabajos agronómicos desde siembra a cosecha. La reducida aportación de caudal por metro lineal, evita encharcamientos y pérdidas por escorrentía y percolación.
- **FERTI-IRRIGACIÓN**
La aplicación de agroquímicos en general y de fertilizantes en particular vía la red de riego es uno de los beneficios agronómicos y económicos más saltantes. El sistema permite el uso de fertilizantes comerciales con gran eficiencia, los cuales pueden ser inyectados al sistema muy fácilmente sin la necesidad de equipos sofisticados.

▪ **ECONOMÍA**

Debido al bajo costo del sistema, comparado con otros similares. Además de los de mantenimiento y operación, y finalmente en el ahorro de energía debido a la baja presión de trabajo (+/- 2.0 mca)

▪ **RENDIMIENTOS INCREMENTADOS**

La irrigación óptima y la fertilización determinan en general un crecimiento potencial máximo de los cultivos, con lo cual el rendimiento en cantidad y sobre todo en calidad, se presenta muy incrementado, permitiendo un retorno inmediato de la inversión inicial.

▪ **FUNCIONAMIENTO MUY FÁCIL**

Ventaja que convierte al riego por exudación en el sistema moderno de más fácil operatividad comparado con otros sistemas de riego a presión. El riego por exudación, desde el punto de vista operativo y de mantenimiento, se encuentra al alcance de los agricultores, aun cuando no tengan conocimientos técnicos de riego moderno.



Foto 9.14 Riego por exudación. Las cintas porosas se encuentran enterradas de 5 a 8 cm de profundidad.

DESVENTAJAS

- Vulnerabilidad al manejo fuerte y a ciertos insectos del suelo.
- Las unidades de riego no deben tener longitudes mayores de 50 m y desniveles superiores a un metro. Asimismo, estas unidades deben alimentarse a favor de la pendiente, nunca cuesta arriba
- Su uso conlleva nueva tecnología la cual debe ser perfectamente conocida por el usuario. Esta desventaja es en realidad una ventaja del sistema, debido a la facilidad en aprendizaje en el manejo y mantenimiento.
- Como todos los sistemas de riego localizado de alta frecuencia, su principal problema es la obturación de los micro poros, por lo que el control en la limpieza del agua es de máxima importancia. La inspección periódica del sistema y los tratamientos preventivos de limpieza son fundamentales para evitar que la disminución del caudal empiece a afectar el cultivo.

- Alta inversión inicial debido al costo del equipo.



Foto 9.15 Vista panorámica de un campo comercial con el sistema de riego por exudación.

Una de las ventajas más importantes del sistema de riego por exudación es el reparto uniforme de agua. La membrana plástica porosa, exuda uniformemente agua a través de sus poros micrométricos a bajas presiones, lo cual contribuye a su principal ventaja agronómica; la de aportar caudales reducidos por metro lineal, lo cual a su vez eleva su eficiencia.

BIBLIOGRAFIA

ARMONI, S. 1984. El Riego por Goteo. Estado de Israel. M. A. Centro de Cooperación Internacional para el Desarrollo Agrícola. 100p.

BOOHER, L. 1974. El Riego Superficial. Cuadernos de Fomento Agrícola. FAO. # 5. ROMA. 161 p.

BOSWELL, M. J. 1990. Manual de Diseño y Manejo de sistemas de Micro-Irrigación. 2da. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 290 p.

GARCIA, C. I. y BRIONES, S. G. 1997. Sistemas de Riego por Aspersión y Goteo. 1ra. Edición. Editorial Trillas. España. México.

FUENTES YAGUE, J. L. 1996. Técnicas de riego. 2da. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 470 p.

GUROVICH, L. 1985. Fundamentos y Diseño de Sistemas de riego. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA. San José. Costa Rica. 435 p.

ISRAELSEN, 1981. Principios y Aplicaciones del Riego. 3ra. Ed. Editorial Reverte S.A. España. 369 p.

MEDINA SAN JUAN J. A. 1997. Riego por Goteo. Teoría y Práctica. 4ta. Edición. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid. Barcelona. México

MARTIN DE SANTA OLLA, M. F. 1993. Agronomía del Riego. Ediciones Mundi Prensa. Madrid 732 p.

PIZARRO, F. 1990. Riegos Localizados de Alta Frecuencia: Goteo, Microaspersión y Exudación. 2da. Ed. Mundi Prensa. 405 p.