

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS Y ESTRATEGIAS DE RIEGO EN CONDICIONES DE SEQUÍA

LUIS GUROVICH R.

*Departamento de Fruticultura y Enología
Pontificia Universidad Católica de Chile*

INTRODUCCIÓN

Entre todas las actividades productivas, sanitarias y recreacionales en las que se utiliza el agua, el riego de los cultivos agrícolas es el principal usuario de este recurso. Para fabricar una tonelada de acero, se requieren 250 m³ de agua, para refinar una tonelada de petróleo se requieren 1.000 m³ de agua y para obtener tan solo una tonelada de grano se requiere el inmenso volumen de 10.000 m³. En condiciones de sequía, la asignación de este recurso y su uso en el campo para optimizar el aporte a diferentes cultivos dentro de un predio agrícola, implica un proceso de toma de decisiones bastante complejo y con muchas soluciones posibles; probablemente, existirá más de una tecnología y estrategia que combine oportunidad, cantidad aplicada, eficiencia y uniformidad, para satisfacer la demanda evaporativa de la atmósfera, a través del proceso de evapotranspiración, tomando en consideración las características hidrodinámicas de los suelos regados y la dinámica del desarrollo de la cobertura vegetal de los cultivos. El conjunto de condiciones que definen cada estrategia de riego incluye la frecuencia, la lámina de agua efectivamente almacenada en el perfil del suelo ocupado por el sistema radical de los cultivos y la forma como se distribuye el agua a lo largo y ancho del campo, para lograr una determinada uniformidad y eficiencia en la aplicación del agua de riego. En condiciones de sequía se asume que el recurso disponible para efectuar el riego es in-

ferior a los requerimientos hídricos efectivos del cultivo agrícola (evapotranspiración efectiva, ET). La ET óptima de un cultivo corresponde a una situación en la cual la disponibilidad de agua no constituye, en ningún momento durante la temporada de producción, y en ningún sector del campo, el factor limitante para la expresión del rendimiento potencial. Interesa obtener una ET efectiva lo más cercana posible a ET óptima, pues esta situación permite que los estomas de las hojas se mantengan abiertos, el intercambio gaseoso entre el aire en la cavidad subestomática y la atmósfera circundante sea el máximo posible y de esta manera permitir que la tasa fotosintética sea también máxima. Esto asegura la obtención del rendimiento potencial del cultivo.

Cuando se inicia un ciclo de sequías se hacen esfuerzos por minimizar el efecto de disponibilidad reducida sobre el rendimiento de los cultivos agrícolas; sin embargo, es necesario evaluar con precisión cuáles son los factores específicos que en cada caso determinan la disponibilidad subóptima, ya que muchas veces esta no se produce por falta de agua, sino por la utilización de una tecnología y/o una estrategia de riego inadecuada. En este artículo se presentan algunas de las alternativas tecnológicas disponibles para realizar riegos más eficientes y más uniformes; así mismo, se analiza los principales componentes que definen una estrategia de riego, para su adaptación a casos específicos de riego restringido.

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DEL RIEGO AGRÍCOLA

Riego superficial

El riego superficial se realiza depositando agua sobre la superficie del suelo o haciendo que el agua fluya sobre dicha superficie. En cualquier caso hay que disponer de algún medio para regular la velocidad con que fluye el agua sobre la superficie, de modo que penetre a la profundidad adecuada dentro del perfil del suelo, con el fin de que pueda distribuirse uniformemente por todos los puntos del terreno. Un sistema de riego eficaz debe proporcionar también los medios de evitar pérdidas excesivas de agua por percolación profunda bajo la zona de raíces, o por escorrentía superficial en los extremos del terreno. Los dos criterios fundamentales para que el riego superficial sea eficaz son: adecuación a las condiciones del terreno y eficiencia de aplicación.

Los métodos de riego superficiales se caracterizan por la simultaneidad de los flujos superficial y de infiltración al interior del perfil del suelo; el agua se aplica al terreno en su parte más alta y fluye hacia los puntos más bajos, disminuyendo en cantidad o volumen a medida que se infiltra en el suelo, mientras descende por la pendiente. Podría suponerse que sería imposible conseguir uniformidad en la distribución del agua en estas condiciones porque, inevitablemente, penetraría más cantidad al perfil del suelo en el extremo superior de la zona regada que en el extremo inferior; pero es posible reducir la falta de uniformidad que se produce durante el riego sin disminuir la eficiencia de la distribución del agua, en forma comparable con aquella correspondiente a métodos de riego presurizado. Lo anterior se logra dividiendo el área a regar en unidades de tamaño y forma adecuados, y regulando el caudal aplicado en la unidad regada según el tipo de suelo, la pendiente y la profundidad de enraizamiento de los cultivos. Sin embargo, cuando se desea obtener esta uniformidad con suelos que tienen velocidades de infiltración muy grandes, la superficie unitaria regada óptima puede ser tan pequeña, o bien el caudal de agua necesario puede ser tan grande, que sea impracticable el riego superficial, y en estos casos deberá considerarse entonces el riego por aspersión o el riego por goteo.

Dos requisitos de importancia primordial en la utilización de los métodos de riego superficiales son los sistemas de distribución contruidos para proporcionar la regulación adecuada del flujo de agua y una preparación del terreno que permita distribuir uniformemente el agua y drenar el volumen sobrante. Todos los cultivos agrícolas pueden ser regados eficientemente con alguno de los métodos de riego superficiales existentes; la selección del método de riego óptimo para cada combinación de suelo y cultivo específica, determina un costo de inversión y de operación cuya rentabilidad puede hacer más recomendable un método por sobre otro; así mismo, es posible que en algunas situaciones pueda resultar de mayor interés económico regar con algún método de riego alternativo, que implique una red hidráulica presurizada.

La selección de un sistema de riego superficial debe considerar aspectos relevantes acerca de la variabilidad espacial de la infiltrabilidad y la capacidad de almacenamiento de agua, en diferentes sectores de la unidad de riego. Si esta variabilidad es alta, esto es, si el suelo es muy heterogéneo en sus características hidrodinámicas, puede resultar imposible diseñar y operar un sistema de riego superficial que logre una aplicación eficiente y uniforme de agua al suelo y, en casos extremos, es posible que la única solución sea la selección de un riego mecánico presurizado. En cualquier caso, la similitud en las características del suelo que constituye una unidad de riego superficial es una condición indispensable para lograr los objetivos de uniformidad y eficiencia, y por ello resulta necesario separar en un campo, tanto en la etapa de diseño como en la operación posterior del riego, suelos diferentes en unidades de manejo diferentes, aun cuando estas resulten de tamaños y formas diferentes.

La nivelación del suelo, al menos en el sentido longitudinal de flujo de escurrimiento del agua, es un costo indispensable de asumir para lograr un riego con eficiencias de distribución que aseguren la uniformidad en la reposición de la lámina evapotranspirada por el cultivo desde el riego anterior. De esta manera, al uniformar la lámina de agua disponible para cada planta, es posible lograr la expresión del rendimiento potencial del cultivo, sin restricciones hídricas en sectores específicos del campo. La nivelación de los suelos con fines de riego es una inversión de costo significativo, pero de

larga vida útil, si posteriormente el riego se realiza con una adecuada operación, en relación con el caudal correcto de agua fluyendo sobre la superficie (caudal no erosivo).

Los extremos de sofisticación tecnológica son: el riego por tendido o inundación, en el cual la unidad de riego generalmente no es nivelada previamente, hasta el riego por tazas individuales para cada árbol de un huerto frutal, en que la nivelación del suelo en ambos sentidos elimina totalmente la pendiente. Lo más habitual es que se haga una nivelación del suelo para lograr que en el sentido de flujo del agua sobre el suelo, exista una pendiente uniforme lo más similar posible a la pendiente natural del terreno, para disminuir los costos de preparación del suelo para el riego.

La disponibilidad total de agua del predio agrícola, el caudal de entrada disponible y la distribución de los caudales a lo largo de la temporada de riego son también aspectos determinantes en la selección del método de riego más adecuado a cada situación agronómica específica. En comparación con los sistemas de riego presurizados, los caudales instantáneos requeridos para el riego superficial son mayores, generalmente en uno o dos órdenes de magnitud. Los caudales comparativamente altos requeridos en los diversos sistemas de riego superficial tienen como objetivo reducir al máximo los tiempos de avance (cuidando de no causar erosión) y así lograr una mayor eficiencia de distribución de las láminas infiltradas a lo largo de la unidad de riego.

La distribución del agua basada en un sistema de rotación o de turnos suele motivar que una gran parte del agua se desperdicie; normalmente, los usuarios utilizan el total del agua que les corresponde en cada turno, independientemente de las necesidades de agua de sus cultivos. En algunas zonas con disponibilidades limitadas, una organización de usuarios de agua distribuye al comienzo de la temporada un volumen determinado a cada unidad de superficie regada; para ello se toma como base un cálculo de las disponibilidades estacionales totales del agua disponible y del área total que debe regarse. Se miden los suministros de agua y se limita a cada usuario su asignación estacional; de esta manera se favorece el mejor aprovechamiento del agua.

Otro método, que se aplica en los proyectos de riego más perfeccionados, consiste en sumi-

nistrar agua cuando el usuario la solicita. Este sistema se suele denominar suministro a petición; esta técnica requiere mantener un gran caudal de agua en la totalidad del sistema de canales durante toda la temporada de riego. Para evitar desperdicios, el caudal debe regularse en el origen, por medio de un embalse o por algún otro procedimiento de control. Cuando los canales están provistos de compuertas automáticas para regular la altura del agua que fluye por estos, los usuarios pueden conseguir el agua en el momento que se necesita. Cuando estos controles automáticos no están instalados, los usuarios deben solicitar el suministro de agua por adelantado; el caudal que entra en los canales se regula de manera que se satisfagan todas las peticiones recibidas. Esto demanda que en las solicitudes se especifiquen la cantidad, el período y la fecha en que debe comenzar el riego. Se tolera, generalmente, un margen de hasta 24 ó 48 horas entre el momento en que se hace la solicitud y el suministro.

Existen técnicas alternativas que permiten aumentar significativamente las eficiencias de aplicación máximas de diseño, como por ejemplo la reutilización del agua de escurrimiento superficial, mediante su elevación mecánica hasta la estructura de alimentación, la implementación del riego intermitente o por pulsos y el acondicionamiento de la infiltrabilidad del suelo antes de cada evento de riego. Cuando se utiliza agua de pozo, que requiere de energía para su elevación desde la napa saturada hasta el punto de cota más elevada de la unidad de riego, la selección del método de riego debe iniciarse con un estudio económico que determine la prioridad de la inversión y los costos de operación del riego mecanizado (presurizado), por sobre las alternativas de métodos de riego superficiales, ya que el costo de la energía generalmente no justificará, desde un punto de vista económico, lograr una eficiencia de aplicación óptima (o de diseño), por causa de las pérdidas de agua de las magnitudes inherentes a los sistemas de riego superficiales.

La incorporación de tecnología moderna a las alternativas disponibles de métodos de riego superficial, o el cambio total de un método de riego a otro más eficiente y uniforme, requiere de la capacitación técnica de la mano de obra. Numerosas experiencias exitosas, y otras que resultaron en fallas importantes en la productividad de los cultivos, derivan del hecho

que el personal de campo recibiera o no una capacitación técnica adecuada. La planificación estratégica y la asignación de recursos implícitas en el mejoramiento tecnológico del riego superficial deben considerar el ítem de capacitación de la mano de obra en un nivel significativo. La capacitación del personal de riego incluye a los regadores, pero también debe involucrarse en esta actividad a los capataces, administradores y al empresario, quienes cumplen funciones y tienen responsabilidades diversas e interrelacionadas con la práctica del riego, desde la decisión de selección del sistema riego, el diseño de cada unidad de riego, la fecha del próximo riego, la duración efectiva del evento y el manejo de los caudales durante el mismo.

Clasificación de los métodos de riego superficiales

Flujo superficial e infiltración simultáneos:

- Mojan toda la superficie: tendido o inundación: platabandas.
- Mojan parcialmente la superficie: surcos rectos, surcos en curva de nivel, surcos taqueados, tazas.

Riego superficial:

- Sin nivelación: tendido
- Nivelación a cero en ambos sentidos: tazas

Riego por tendido:

El agua fluye desde los puntos más altos del campo hacia los de cota menor, desbordando una acequia nivelada.

- Mejoramientos posibles: acortar las unidades de riego.
- Mejorar la distribución superficial con nivelación mínima

Riego por bordes:

El agua fluye por el campo entre dos diques paralelos, que dejan una superficie nive-

lada a cero entre los diques y una pendiente uniforme a lo largo de la unidad de riego.

- Caudales grandes 2 a 3 litros por segundo por metro de ancho.
- Diques de 30 centímetros de altura, problema de maquinaria.

Riego por surcos:

- Cultivos en hileras escardadas (frutales, hortalizas, maíz, etc.).
- Alimentación desde una acequia con: sifones, mangas, tubería con salidas múltiples, sistemas artesanales.
- Surcos en curvas de nivel.
- Escurrimiento superficial al final de los surcos para acumular agua en el tercio inferior del surco.
- Eficiencia de diseño = 50%
- Mejoramientos:
 - Largo óptimo.
 - Caudales óptimos (avance y almacenamiento)
 - Reutilización del escurrimiento en otros campos, con elevación mecánica de los escurrimientos superficiales.

Riego por corrugaciones:

- Cultivos densos
- Minimizar la erosión
- Dirigir el agua cuando la nivelación es imperfecta

Riego por tazas niveladas:

- Diques en todo el entorno de cada taza.
- La nivelación es a cero en ambos sentidos.
- La presión del agua hace avanzar el flujo y la taza se llena casi al instante.
- No hay escurrimiento superficial.

Riego presurizado

Existen muchas situaciones de campo en las que inversiones en tecnología de riego superficial como las descritas en los párrafos anteriores no resultan rentables. Cuando esta baja rentabilidad está determinada por los bajos precios de los productos agrícolas, puede resultar económicamente más adecuado no hacer inversiones en tecnología de riego; sin embargo, en numerosas oportunidades la razón por la cual la tecnología de riego superficial puede no ser rentable se refiere a aspectos netamente agronómicos, existiendo otras alternativas de inversión en infraestructura de riego que pueden resultar de interés económico, aunque impliquen una inversión inicial significativa. Estas alternativas se refieren al riego presurizado, incluyendo la aspersión y el riego por goteo o por microjet.

La principal causa por la cual una inversión en riego presurizado puede resultar más rentable que el riego superficial deriva del hecho que la infraestructura de sistemas de riego por aspersión y por goteo tiene una vida útil extendida, entre 15 y 20 años: en cambio, los sistemas de riego superficial comentados en los capítulos anteriores, deben reconstruirse casi totalmente año a año, al inicio de cada temporada de riego. Así mismo, los requerimientos de personal de campo para la operación de los sistemas de riego presurizado es muchísimo menor que el número de trabajadores requerido para hacer el riego superficial en forma correcta.

Entre los aspectos agronómicos principales que pueden justificar técnica y económicamente inversiones en riego presurizado, en comparación con inversiones en riego superficial, se encuentran:

- Pendientes excesivas y/o heterogéneas en el área a regar, que pueden hacer imprescindible una nivelación de la superficie, con un costo excesivo y/o con la destrucción de la primera estrata del horizonte del perfil del suelo, que generalmente es la que posee mayor fertilidad química y física.
- Perfiles de suelo muy delgados y con poca capacidad de retención de agua, que obligan a realizar riegos de alta frecuencia.
- Suelos de textura muy arenosa, lo que determina la necesidad de regar con alta frecuencia (por su escasa capacidad de reten-

ción de humedad) y en unidades de riego de muy poca extensión (por su alta infiltrabilidad). Suelos de textura muy arcillosa, que por su baja infiltrabilidad requieren un tiempo de aplicación demasiado extendido en el tiempo

- Areas donde la disponibilidad de agua de riego sea escasa y de alto costo, lo que determina la necesidad de mejorar la eficiencia de aplicación hasta un rango de valores por sobre aquellos correspondientes a los sistemas de riego superficiales.
- Areas donde la disponibilidad del recurso humano requerido para la operación del riego sea limitada.

Riego por goteo

El riego por goteo es un sistema que proporciona agua filtrada y fertilizantes directamente sobre el suelo al lado de la planta. Este sistema elimina la aspersión y el agua que fluye sobre la superficie del suelo; permite que el agua, liberada a baja presión en el punto de emisión, moje el perfil del suelo en una forma predeterminada.

El agua de riego es transportada a través de una extensa red de cañerías o tuberías plásticas hasta cada planta; la estructura que emite el agua fuera de la red hidráulica se denomina emisor o gotero. Los emisores disipan la presión que existe en la red de tuberías por medio de un orificio de pequeño diámetro, o por medio de un largo camino de recorrido (laberinto); de esta forma disminuye la presión del agua y permite descargar desde el sistema hacia el suelo solamente unos pocos litros por hora por cada gotero. Después de dejar el emisor, el agua es distribuida en el interior del perfil del suelo, de acuerdo con las gradientes de potencial. De esta manera, el volumen del suelo que puede ser humedecido por cada punto emisor está limitado por las restricciones del movimiento horizontal y vertical del agua en el perfil del suelo.

Beneficios del riego por goteo

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 los rendimientos agronómicos de los culti-

vos. Estos beneficios no son exclusivos del sistema de riego por goteo, ya que otros sistemas de riego pueden producir beneficios similares; sin embargo, la combinación de ventajas analizadas a continuación es única para el riego por goteo.

En el riego por goteo las pérdidas directas por evaporación se llevan a un mínimo: no existe movimiento de gotas de agua a través del aire, no hay un humedecimiento del follaje de las plantas y no hay evaporación desde la superficie del suelo, fuera de aquella mojada al lado del gotero o emisor; además el riego por goteo limita el crecimiento de las malezas y su consumo no beneficioso del agua. Un sistema de riego por goteo bien diseñado y bien manejado no produce pérdidas por escurrimiento superficial. Por otra parte, se puede regar toda un área hasta los bordes, sin que queden zonas mojadas fuera del área plantada o zonas sin mojarse. También puede lograrse un ahorro de agua, ya que es posible aplicar cargas de agua muy precisas durante cada riego.

La respuesta en desarrollo y rendimiento de los cultivos regados por goteo generalmente es superior a los obtenidos con otros sistemas de riego. Esto ha sido demostrado en muchas instalaciones comerciales agrícolas y en muchos experimentos; esa respuesta es especialmente válida en hortalizas y en huertos frutales. Un sistema de riego por goteo bien operado permite una aireación del suelo efectiva, una provisión de suficientes nutrientes y fertilizantes inyectados en el agua y una constante baja tensión del agua del suelo. Al minimizar el humedecimiento de la superficie del suelo y del follaje de la planta, el riego por goteo reduce la posibilidad de ataque de plagas y el desarrollo de enfermedades y problemas fungosos. Además, se mejora notablemente la eficiencia de las pulverizaciones para el control de enfermedades. Cuando deben usarse aguas salinas para el riego, es muy conveniente utilizar sistemas de riego por goteo de alta frecuencia, para mantener continuamente un alto contenido de agua en el suelo; de esta manera, la concentración de sales en el agua del suelo puede ser mantenida más baja que aquella que pueda producir daño a las plantas; en cultivos sensibles puede producirse quemaduras de las hojas al concentrarse las sales sobre la parte aérea del cultivo cuando se utiliza un sistema de riego por aspersión; esto no ocurre con el sistema de riego por goteo. En zonas

áridas los huertos frutales regados por goteo se han mantenido prácticamente libres de malezas, ya que estas no crecen en la superficie del suelo que se mantiene seca entre las hileras; en las áreas húmedas y sombreadas, alrededor de los árboles y cerca de los emisores, las malezas crecen en forma retardada, aunque muy agresivamente.

Es posible obtener varios beneficios al mojar solamente una parte del suelo y mantener otra parte de la superficie seca por medio del riego por goteo. En primer lugar, las actividades de riego no interfieren seriamente con otro tipo de trabajo agronómico, como la preparación del suelo, la pulverización de agroquímicos, la cosecha y el embalaje. Además, el riego por goteo reduce la necesidad de cultivar, o sea de escardar el suelo, ya que hay mucha menos malezas, hay menos encostramiento del suelo y pocos problemas de compactación, en comparación con otros sistemas de riego. Las posibilidades de que se produzca escurrimiento superficial son reducidas a un mínimo. Esto es importante, ya que permite un control efectivo de la aireación del suelo. La fertilización es otro beneficio agronómico que no es necesariamente exclusivo del riego por goteo; puede formar parte del sistema de riego, por la posibilidad de distribuir el fertilizante y llevarlo hasta la zona de raíces en forma controlada. La inyección de fertilizantes es eficiente en términos de mano de obra y cantidad de fertilizantes usados.

Para regar cultivos ampliamente espaciados y plantados en hileras, como por ejemplo árboles frutales, el costo de un sistema de riego por goteo diseñado correctamente es bajo, en relación con cualquier otro sistema de riego permanente. En huertos frutales, el costo de un sistema de riego por goteo puede ser menor que el costo de riego por aspersión que tenga un sistema de automatización similar. Además, cuando no se producen problemas de obturación de los goteros y el mantenimiento de las líneas de emisores es mínimo, los costos de operación y de mantenimiento del sistema de riego por goteo son generalmente muy pequeños

Problemas potenciales del riego por goteo

La oclusión del paso del agua en los emisores es el problema más serio que debe conside-

rarse en el riego por goteo. Las causas más comunes son las partículas de arena y los crecimientos orgánicos; la filtración del agua de riego es la mejor defensa contra estos problemas, pues es bastante difícil y caro detectar y limpiar un emisor tapado. La oclusión paulatina de los goteros puede deberse a una deposición de precipitados de productos químicos o de arcilla y a un incremento en la cantidad de limo en los emisores; se generan así problemas de distribución heterogénea a lo largo de los laterales, lo que puede dañar muy severamente a un cultivo, si los emisores están tapados por un tiempo largo antes que sean descubiertos y reparados.

Todas las aguas de riego contienen algunas sales disueltas; como la planta absorbe solamente el agua, una gran parte de la sal es dejada en el suelo. Lo mismo ocurre en el proceso de la evaporación. Estas sales son generalmente empujadas hacia los bordes de la masa de suelo humedecida durante la estación de crecimiento. Por medio de una aplicación mayor de agua que la cantidad consumida por las plantas, la mayor parte de las sales puede ser empujada o lavada fuera de las zonas de raíces; sin embargo, es imposible evitar que se produzcan algunas áreas donde se acumule la sal, siendo las zonas más críticas de acumulación las que se producen alrededor de los bordes de la línea de la superficie mojada. Una lluvia ligera puede mover estas sales acumuladas dentro de la zona de intensa actividad de las raíces, y dañar en forma severa a las plantas; para reducir este peligro al mínimo, el sistema de riego por goteo debe ser operado durante el período lluvioso, con el fin de lavar las sales hacia abajo en el perfil. En aquellas áreas en que la precipitación sea menor de 250 mm al año, será necesario hacer aplicaciones suplementarias de agua a través de sistemas de aspersión o superficie, para eliminar los niveles críticos de acumulación de sales; esto es especialmente importante cuando se usa agua de riego salina.

El sistema de riego por goteo normalmente humedece sólo una parte del volumen de suelo necesario para el crecimiento de las raíces; por lo tanto, el desarrollo del sistema radical de un cultivo está limitado al área de humedad alrededor de cada emisor. No está claramente definido cómo esto afecta a la planta y a los rendimientos; a pesar de que los cultivos pueden crecer en un perfil de suelo parcialmente moja-

do, parece que existe un mínimo volumen de suelo necesario para un crecimiento óptimo; el tamaño de este volumen mojado es una función de la descarga de los emisores, de la distancia entre los emisores y del tipo de suelo. La distribución de la humedad debe ser una de las principales preocupaciones en el diseño de un riego por goteo, ya que es muy difícil hacer cambios más adelante.

Riego por aspersión

El sistema de riego por aspersión es relativamente nuevo, si se compara con los métodos superficiales presentados en los capítulos anteriores; su desarrollo acelerado empezó después de la Segunda Guerra Mundial, cuando se abarató el aluminio, elemento constituyente del sistema de conducción de agua en tuberías. En este método de riego el agua se aplica en forma de llovizna, producida mediante el paso de agua a presión a través de una red hidráulica de tuberías, de las que sale por pequeños orificios. Esta presión se obtiene normalmente por medio de una bomba centrífuga; también se pueden aprovechar cargas debidas a diferencias de nivel.

Debido a la flexibilidad de su uso y al eficiente control en la aplicación del agua, el método de riego por aspersión permite la irrigación de una amplia gama de suelos que no pueden ser regados adecuada y eficientemente con métodos superficiales; tal es el caso de suelos muy arenosos o muy arcillosos, de alta o de baja velocidad de infiltración, terrenos con pendientes pronunciadas, que no pueden ser nivelados por la escasa profundidad del perfil, entre otros. Así mismo, el riego por aspersión se usa para lograr una adecuada germinación, emergencia y establecimiento de empastadas, y ha demostrado resultados sorprendentes al eliminar los problemas de arrastre de semilla, compactación del suelo y encostramiento de la superficie.

Ventajas del método de riego por aspersión

Alta eficiencia de aplicación del agua y alta uniformidad en su infiltración en el perfil del suelo; ello hace recomendable su uso cuando hay una disponibilidad limitada de ese recurso o cuando el suelo tiene una alta velocidad de infiltración. En estos suelos se hace muy difícil y deficiente el riego por métodos superficiales,

porque es difícil obtener una buena distribución de la humedad. Aunque los métodos de riego superficiales permiten obtener una alta eficiencia de aplicación si están bien diseñados, en el método de riego por aspersión la conducción del agua hasta el punto donde se desea que infiltre se hace por medio de una red de tuberías, eliminando así las pérdidas por conducción.

El riego por aspersión puede utilizarse prácticamente en suelos de cualquier pendiente, con peligro muy remoto de erosionar los terrenos y sin necesidad de nivelación. Mientras más irregular sea la topografía, más difícil es controlar el escurrimiento y la erosión con métodos de riego superficiales, lo que implica una baja eficiencia de mano de obra y de uso del agua; en este caso la aspersión resulta sin lugar a dudas más conveniente.

Este sistema de riego puede ser usado prácticamente en todo tipo de suelos, incluidos en algunos de los cuales no deben utilizarse los métodos superficiales, tales como suelos de alta velocidad de infiltración. También puede utilizarse en suelos poco profundos, en los cuales no se puede nivelar sin peligro de que se elimine totalmente el horizonte superficial.

Con el riego por aspersión es más fácil el control de la lámina de riego, lo que permite regar mejor y satisfacer los requerimientos de lavado de sales. Los costos de preparación de suelos para el riego disminuyen notablemente. El terreno se divide menos, ya que se construye menor número de canales, acequias y desagües. Esto facilita el mejor uso de maquinaria para las diversas labores agrícolas y aumenta además la superficie cultivada; así mismo se eliminan los costos de nivelación.

En el riego por aspersión se puede aplicar junto con el riego fertilizantes líquidos o solubles y sustancias de uso fitosanitario. De este modo, los fertilizantes se distribuyen mucho más homogéneamente y su aplicación es más económica. El tratamiento de insecticidas y herbicidas puede hacerse siempre que estos no sean corrosivos y se disponga de sistemas de dosificación adecuados.

Se economiza mano de obra, pues el operador no necesita estar presente durante todo el tiempo de aplicación, lo que sí ocurre generalmente con los métodos de riego superficiales. Sin embargo, muchas veces el traslado de tuberías, los daños y consecuentes reparaciones de bomba y aspersores, así como otros factores de

operación dentro del predio, inducen a que el rendimiento de los regadores sea bajo.

Desventajas del riego por aspersión

Existen algunas limitaciones para el uso del riego por aspersión en forma extensiva en los predios agrícolas; la limitación más importante del riego por aspersión es su costo inicial comparativamente alto. Deben considerarse por una parte los costos fijos, tales como depreciación anual, interés sobre el capital invertido y mantenimiento y, por otra, los costos de la energía necesaria para que el sistema funcione y la mano de obra necesaria para mover los laterales. Sin embargo, al comparar económicamente este método de riego con los métodos superficiales hay que tomar en cuenta la posibilidad de obtener ingresos adicionales, por un aumento significativo de los rendimientos, lo que podría justificar su uso.

El viento puede distorsionar por completo la distribución del agua en el suelo e igualmente disminuir el agua que llega efectivamente al suelo, lo que implica una eficiencia de aplicación que no sobrepasa el 75%. Así mismo, las pérdidas de agua por evaporación son mayores que en los métodos superficiales corrientes, pues en el riego por aspersión la precipitación sale bajo la forma de pequeñas gotas que, en conjunto, tienen una gran superficie.

Algunas veces el riego por aspersión puede crear condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades fungosas y reducir la efectividad de la aplicación de herbicidas e insecticidas, al ser estos lavados y transportados desde el follaje de los cultivos al suelo. También el impacto de las gotas de agua en las flores puede, en algunas ocasiones, causar su caída y por lo tanto hacer que disminuyan los rendimientos.

En atención a sus ventajas y limitaciones, el riego por aspersión no debe ser considerado como una alternativa de los métodos de riego superficiales, sino más bien como un sustituto de estos en ciertos casos específicos (por ejemplo, problemas de topografía heterogénea o de alta velocidad de infiltración de los suelos agrícolas, en los que no pueda aplicarse con éxito los métodos de riego superficiales). En el caso de suelos planos sin problemas de infiltración, el uso económico del método de riego por aspersión dependerá del cultivo que se desee regar y de las disponibilidades de mano de

obra, agua y capital con que cuente el predio agrícola.

ESTRATEGIAS DE RIEGO EN AÑOS DE SEQUÍA

Frecuencia de riego

Este componente de la estrategia de riego es el que afecta en forma más grave y notoria los rendimientos de los cultivos en condiciones de sequía, porque habitualmente las organizaciones de agricultores, que administran el uso de los canales de distribución, determinan la entrega de todo el recurso disponible a cada usuario, por un tiempo relacionado con los derechos de aprovechamiento de cada regante. Esta forma de distribución se conoce como "riego por turnos" y generalmente es una de las condicionantes más importantes de la reducción en productividad de los cultivos que ocurre en años de sequía.

Se pretende que cada usuario distribuya en la totalidad de su predio todo el caudal disponible en el canal, en un período de tiempo restringido, lo que imposibilita lograr la infiltración adecuada del agua al interior del perfil del suelo. La única solución a este sistema de distribución por turnos es contar con un tranque de acumulación de agua en el predio, almacenando en este el volumen de agua recibido durante el "turno de riego" y luego, regar cada cultivo de acuerdo con las características hidrodinámicas del suelo presente, el índice de área foliar del cultivo y la demanda evaporativa de la atmósfera. Esta estrategia determina la necesidad de invertir recursos y área cultivable para hacer el tranque de acumulación; en muchos casos el productor no está en condiciones de solventar esta inversión y se presenta la paradoja que en condiciones de sequía y riego por turnos, la eficiencia de uso del agua es inferior a aquella obtenida por el productor cuando sus recursos hídricos no están restringidos, siendo la principal pérdida de agua el escurrimiento superficial fuera del área de riego.

Un caso especial corresponde a los cultivos regados por goteo, cuya característica más relevante en términos de productividad de cultivo resulta de la posibilidad de hacer riegos diarios, esto es, reponer el agua evapotranspirada por el cultivo el día anterior. En condiciones de sequía y riego por turnos, la ausencia de un

tranque de acumulación determina la imposibilidad de regar todos los días y el efecto sobre la productividad del cultivo es más grave que aquel que se presenta con la productividad del riego superficial. La causa de esta situación es el restringido volumen del suelo humedecido por cada gotero individual, donde se encuentra el mayor volumen de raíces; la distribución de raíces en riego superficial es más difusa y extendida y, por ello, es posible regar los cultivos con una frecuencia menor, esto es, esperar que transcurra un período de varios días entre dos eventos de riego consecutivos.

La inversión realizada para regar un cultivo o plantación por goteo, cuando la fuente de agua es un canal, que en años de sequía se somete al sistema de turnos, debe incluir la construcción de un tranque de acumulación, o la posibilidad de una fuente adicional de agua, como sería un pozo profundo. En períodos de sequía resulta muy difícil lograr que los eventos de riego ocurran en el momento óptimo, determinado por la dinámica del sistema suelo-planta-clima. Así, es inevitable que a lo largo de la temporada productiva se presenten etapas de disponibilidad restringida del agua en el suelo, creándose condiciones de estrés hídrico para el cultivo y, por ende, reducción en la productividad.

La respuesta negativa en productividad del cultivo frente a una frecuencia de riego subóptima, no tiene una magnitud constante durante la temporada, existiendo etapas fenológicas bien definidas, conocidas como "períodos críticos", en las cuales el déficit hídrico afecta la productividad de manera más dramática. Existe la posibilidad de asignar los limitados recursos de agua según la fecha de ocurrencia de los períodos fenológicos críticos de las especies y variedades presentes, regando en forma subóptima (respecto a la frecuencia) en las etapas no críticas y asegurando una frecuencia óptima de riego al inicio de cada período crítico.

Lámina aplicada de agua en cada riego

El riego agrícola ha sido definido como "la aplicación del agua al suelo para reponer en este el agua consumida por el cultivo desde el riego anterior". En condiciones de sequía, la reposición del agua consumida (evapotranspirada) sólo puede ser parcial, de tal manera que en cada evento de riego se logra almacenar en

el suelo una lámina de agua incompleta, o sea, se logra un perfil del suelo con un contenido de agua equivalente a capacidad de campo, de una profundidad menor que aquella correspondiente al sistema radical del cultivo, que se podría obtener con la reposición de la ET en cada riego.

El riego con láminas restringidas determina el secamiento paulatino de las estratas inferiores del perfil del suelo y la consiguiente deshidratación y muerte de parte del sistema radical del cultivo. Por este motivo se afecta también la frecuencia de riego, ya que el cultivo sólo puede utilizar agua almacenada en los estratos superiores del perfil, llegándose rápidamente (en pocos días) a crear condiciones de estrés hídrico. La aplicación de láminas restringidas constituye también una estrategia de riego conocida como "riego deficitario", que se está utilizando como una norma habitual cada vez con mayor intensidad en los países en que la dotación de agua de riego no es suficiente para regar toda la superficie susceptible de usarse para hacer agricultura. En esta estrategia se utilizan láminas de riego menores que la ET máxima del cultivo, reduciendo así el desarrollo y la productividad de las plantas, pero maximizando la relación rendimiento/lámina de riego (kg producidos/m³ de agua aplicado).

En Chile, el riego con láminas deficitarias ocurre en muchos campos agrícolas más bien debido a desconocimiento de los productores que a una falta real de agua, siendo especialmente grave esta situación en años de sequía. El concepto de almacenar agua en el perfil del suelo dista mucho de ser comprendido a cabalidad en todos los campos regados, y muchas veces se considera un riego adecuado cuando ha sido posible humedecer la superficie del suelo, apenas algunos pocos centímetros superficiales del perfil total.

La combinación tiempo de riego (duración del evento o ¿cuánto regar?) y frecuencia de riego (¿cuándo iniciar el próximo evento de riego?) se denomina régimen de riego del cultivo. Evidentemente, existe un régimen de riego óptimo, cuando se respeta la fecha y duración óptima del evento, pero es posible obtener respuestas en desarrollo y productividad muy adecuadas en un rango relativamente limitado de combinaciones "frecuencia - duración". Esto se debe a que estos conceptos no son totalmente independientes uno del otro. En condiciones de sequía, un régimen de riego racional puede

permitir, con evidente ahorro de agua, una reducción poco significativa en el rendimiento y/o calidad de la producción, si se asigna el agua disponible considerando tanto los períodos críticos de cada cultivo, como las características hidrodinámicas del suelo (infiltrabilidad y capacidad de almacenamiento de agua).

Para evitar las pérdidas por evaporación directa, es una práctica común remover los primeros centímetros del suelo superficial, en cuanto las condiciones de soporte del suelo permitan el uso de maquinaria (rastras livianas). La remoción del suelo superficial tiene por objeto crear macroporos de baja conductividad hidráulica no saturada. En casos extremos se utiliza una cobertura de suelo basada en paja de trigo, o simplemente un filme de polietileno, técnica utilizada ampliamente en la producción de hortalizas con riego por goteo, obteniéndose no solo una reducción en la evaporación directa sino que además un buen control de malezas. Si las condiciones de clima determinan una demanda evaporativa de la atmósfera significativa (sobre 5 mm/día), en años de sequía se recubre el espejo de agua del tranque, ya sea con un filme de polietileno o con gránulos de polietileno o perlita, para evitar las pérdidas de agua por evaporación desde la superficie del tranque.

La estrategia de riegos infrecuentes de larga duración, que debe utilizarse en suelos arcillosos, determina una fluctuación severa en el contenido de agua en los primeros 20 cm desde la superficie. Durante la fase de secado del suelo entre dos eventos de riego consecutivos, la disponibilidad de agua en el estrato superficial puede ser tan restringida como para provocar una deshidratación y muerte de las raicillas absorbentes; sin embargo, la planta podrá obtener agua almacenada en los estratos del perfil del suelo que se encuentra a mayor profundidad, sin afectarse notoriamente la productividad del cultivo.

Uniformidad en la distribución de las láminas infiltradas

El manejo adecuado del régimen de riego en condiciones de sequía es una herramienta valiosa para minimizar la reducción de rendimientos de los cultivos agrícolas; sin embargo, este efecto sólo puede obtenerse si la técnica de distribución del agua sobre la superficie del

campo regado resulta uniforme. Las dimensiones de cada unidad de riego (área que se riega simultáneamente en cada evento) deben ser modificadas, de tal manera que el tiempo efectivo de contacto (o de oportunidad de infiltración) sea lo más similar posible en diferentes puntos a lo largo del campo en el sentido del riego.

Se ha definido un coeficiente de uniformidad del riego:

en que C.U. es el coeficiente de uniformidad (%), x es la lámina infiltrada en un punto específico del campo, a lo largo del sentido de flujo superficial del agua (mm), m es el promedio de láminas infiltradas en todos los puntos evaluados y n es el número de puntos evaluados.

En el riego superficial el coeficiente de uniformidad debe ser superior al 75% y en riego presurizado este coeficiente debe exceder el 90%. Para lograr estos valores mínimos en el caso del riego superficial, el largo de la unidad de riego no puede exceder el tramo de avance superficial obtenido en el 25% del tiempo de contacto. El tiempo de avance es el período de tiempo que requiere la lámina superficial de agua para escurrir desde el punto de entrada (cota más elevada) hasta el punto de salida (cota menor) de la unidad de riego. El tiempo de avance es función de la pendiente en el sentido del flujo superficial del caudal de entrada, del contenido inicial de agua del estrato superficial del suelo y de la rugosidad de la superficie del suelo sobre la que escurre la lámina de agua.

En el riego superficial, con el fin de lograr tiempos de contacto similares en ambos extremos de la unidad de riego, se utiliza el caudal máximo no erosivo hasta completar el tiempo de avance y luego se reduce paulatinamente el caudal para minimizar el escurrimiento superficial fuera de la unidad de riego (por el punto de menor cota). La modificación del largo de la unidad de riego, hasta un valor máximo equivalente al camino recorrido por el agua que fluye superficialmente, con un caudal máximo no erosivo en un 25% del tiempo de contacto, ha demostrado ser experimentalmente y en base a modelos de simulación, el largo adecuado para lograr un C.U. mínimo de 75%.

En años de sequía, en que debe restringirse el riego en términos de frecuencia y/o dura-

ción, la uniformidad en las láminas infiltradas es crítica: si no se logra el 75% de uniformidad, el riego resultará demasiado restringido en una proporción significativa de la unidad de riego y la productividad será reducida en valores mayores a aquellos atribuibles al riego deficitario. Así mismo, debe señalarse que la reducción en el largo de las unidades de riego superficial, cuando hay condiciones de sequía, puede ser la herramienta más adecuada para minimizar las pérdidas de rendimiento, especialmente si el régimen de riego se mantiene dentro de un rango aceptable, como se explicó anteriormente. Se han observado cuantiosas pérdidas de producción en cultivos regados superficialmente en años de sequía, por el hecho de tener longitudes inadecuadas en la unidad de riego, estas pérdidas podrían haberse minimizado tan solo con dividir el largo de la unidad en 2, 3 o 4 secciones, en la dirección del flujo superficial durante el evento de riego.

En el caso del riego presurizado, los altos coeficientes de uniformidad requeridos se logran con diseños hidráulicos adecuados, que respeten un rango de diferencias de presión en los emisores, inferior al 15%. Las diferencias de presión se deben al efecto combinado de la cota (posición relativa de cada emisor), y la pérdida de carga (pérdida de presión por roce en la red hidráulica); la selección de los emisores y el diseño adecuado de la red hidráulica permiten lograr la uniformidad de descarga requerida. En equipos de riego por goteo es posible usar tuberías de mayor diámetro (menor roce) o emisores que presenten una descarga constante en un amplio rango de presiones (goteros autocompensados). En el riego por aspersión, la variación de la descarga efectiva medida en forma radial desde el emisor, se ve compensada con el traslape de descarga entre aspersores consecutivos.

El incremento en la uniformidad de riego, especialmente importante en años de sequía, tiene un costo que se incrementa exponencialmente a partir de la uniformidad inicial (Gurovich, 1988). Si el agua es un recurso productivo especialmente escaso, posiblemente la única forma de optimizar su utilización por los cultivos es modificar la tecnología de aplicación de agua, ya sea tecnificando el riego superficial o cambiando el sistema de riego superficial a algún tipo de riego presurizado. De esta manera es posible modificar la eficiencia de aplicación del agua, definida como:

Eaplic es la eficiencia de aplicación del agua de riego (%); hus es la lámina de riego aplicada al inicio de la unidad de riego, desde el inicio del evento hasta la interrupción de la entrada de agua (mm); hper es la lámina de agua que escurre fuera de la unidad de riego, por el punto de cota inferior, más la lámina de agua que percola bajo la profundidad efectiva de las raíces del cultivo (mm) en el perfil del suelo.

En condiciones de sequía los productores agrícolas invierten gran parte de su esfuerzo y recursos en aumentar la eficiencia de aplicación, sacrificando muchas veces la optimización del régimen de riego y/o la uniformidad. Sin embargo, cada sistema de riego tiene una eficiencia de aplicación característica de su óptimo diseño y operación. En la Tabla 1 se presentan las máximas eficiencias de aplicación según el diseño y operación óptimas de cada sistema de riego:

TABLA 1

Eficiencias máximas de aplicación según diferentes técnicas de riego.

Eficiencia de aplicación (%)

Riego por tendido	35
Riego por surcos	55
Riego por bordes	55
Riego por pulsos	75
Riego por aspersión	75
Riego por microyet.....	85
Riego por goteo	95

Otras estrategias de riego en condiciones de sequía

Una posibilidad importante de explorar es la reducción en la superficie regada, asignando así el recurso agua disponible al riego oportuno, eficiente y uniforme de una parte del área total disponible. Esta es una decisión estratégica válida, especialmente en cultivos anuales y puede evaluarse económicamente si se cuenta con información adecuada acerca de la restricción de agua efectiva, la función de producción del agua en el cultivo respectivo e información de mercado relevante. En el caso de los cultivos perennes, como los huertos frutales, la de-

cisión de no regar una proporción del área determina la muerte de los árboles, o su sobrevivencia precaria, cuyos efectos sobre su productividad futura durarán varios años, hasta la eventual recuperación de la estructura reproductiva del árbol. Una opción utilizada en huertos de paltos en la zona Centro Norte de Chile en la sequía 1995 - 97 fue una poda severa de las ramas principales de árboles en producción, con la eliminación adicional de rebrotes que iniciaron su desarrollo en la temprana primavera. Sólo se permitió el crecimiento de un brote por rama principal podada y la recuperación del árbol se ha estimado en 3 a 4 temporadas de riego normal, una vez superada la situación de sequía.

La asignación diferenciada del agua disponible según criterios de rentabilidad. Esta opción consiste en determinar el mínimo recurso hídrico necesario para mantener con vida y sin producción a una especie y/o variedad presente en el campo y asignar el recurso disponible según un criterio de rentabilidad relativa. Esta estrategia puede ser utilizada principalmente en plantaciones frutales, en las que se presentan variedades de cosecha temprana y alto valor en el mercado, junto con variedades que pueden ser más productivas que las anteriores, pero de cosecha más tardía, con un valor de mercado más reducido. En este caso, la asignación se orienta a las variedades tempranas y se reduce al máximo el riego del resto de la plantación (Gurovich, 1993).

Algunas especies y variedades de árboles frutales y viñas presentan adaptaciones morfológicas y fisiológicas en sus frutos, cuando son sometidas a un déficit hídrico controlado; aun cuando la disponibilidad del recurso agua no sea limitante, el riego deficitario controlado, ya sea durante toda la etapa de producción anual (brotación a fin de poscosecha) o en períodos fenológicos apreciados por el mercado a través de mayores precios de venta. Ejemplos interesantes de estas situaciones son:

- Calidad de vinos tintos, en términos de intensidad de color y concentración de compuestos fenólicos, resultantes de bayas con crecimiento restringido durante el período floración (Gurovich *et al.*, 1997).
- Calidad de vinos blancos, con aromas más intensos y menor sabor herbáceo, obtenidos

gracias a la iluminación adicional del racimo durante su período de maduración, que se logra con el crecimiento restringido de brotes y hojas cuando el riego no supe totalmente la demanda evaporativa de la atmósfera

- c) La producción de naranjas y otros cítricos con cutícula más delgada, mayor contenido de azúcar y ácido cítrico, coloración del fruto más uniforme e intensa, resultante del riego deficitario controlado, aun en años con precipitaciones normales que no determinen una situación de sequía.
- d) El notorio incremento en la intensidad de floración y número de frutos cuajados, que resulta de una mejor iluminación de las estructuras productivas (yemas) durante su período diferenciación, si el riego restringido controlado ha permitido un crecimiento de brotes y de hojas de menor magnitud que aquel esperado cuando hay restricciones en el riego. Sin embargo, a pesar de obtenerse siempre una mayor inducción floral en condiciones de sequía o riego restringido se mantiene en la siguiente temporada de producción, el porcentaje de aborto floral generalmente se incrementa.
- e) En algunos cultivos anuales, como es el caso del tomate y otras solanáceas, el riego restringido controlado puede determinar un aumento en la salinidad del suelo, que resulta beneficioso en la calidad del producto. Este mismo efecto se puede lograr con mayor control y seguridad por medio de la fertigación, sin disminuir el aporte de agua, sino que aumentando la concentración salina de la solución fertilizante.

La alternativa de riego restringido, cuando el recurso agua de riego está limitado por situaciones de sequía, es una estrategia riesgosa, porque lleva implícita la posibilidad de afectar la productividad del cultivo. En este sentido, para utilizar esta técnica de riego restringido debe disponerse de instrumental adecuado para determinar en forma continua los requerimientos hídricos del cultivo, como estaciones meteorológicas y/o continuo monitoreo de la humedad del suelo, con neutrómetros, tensió-

metros o métodos gravimétricos (muestreo y secado de muestras de suelos obtenidas en puntos representativos en el terreno y a diferentes profundidades).

RESUMEN

Las estrategias más adecuadas para planificar el riego en años de sequía son:

- a) Regar oportunamente en los días previos a las etapas fenológicas de los cultivos consideradas como críticas.
- b) Regar frecuentemente y con láminas de riego subóptimas en el caso de suelos de texturas livianas (arenosas).
- c) Regar con láminas de riego que permitan acumular agua en todo el perfil del suelo hasta capacidad de campo, con una frecuencia menor a la óptima, destruyendo la continuidad capilar del estrato más superficial, con el uso de rastras livianas.
- d) Asegurar el inicio de cada temporada de cultivo con todo el perfil del suelo con un contenido de agua equivalente a capacidad de campo. Si esto no se logra por la escasez de precipitaciones, deben hacerse riegos en invierno, aun cuando no se haya sembrado el cultivo o no se haya iniciado la brotación de los árboles.
- e) En cultivos anuales y condiciones de extrema sequía, reducir la superficie productiva o almacenar agua de la lluvia en el perfil del suelo por medio del barbecho.
- f) Reducción de la evaporación directa de agua desde la superficie del suelo, ya sea removiendo la superficie inmediatamente después de finalizado el evento de riego, o usando coberturas vegetales o plásticas sobre la superficie.
- g) Mantener un control total de las malezas, durante toda la temporada productiva, tanto por laboreo manual como por medio de un agresivo programa de aplicación de her-

bicidas. De esta manera, el agua aplicada al suelo con cada evento de riego es consumida exclusivamente por el cultivo.

- h) Aumentar la eficiencia de aplicación del agua de riego, al disminuir pérdidas por escurrimiento superficial y percolación profunda, por medio del diseño del sistema de riego (principalmente el largo de la unidad) y también por medio de la operación del riego (caudal máximo no erosivo durante la fase de avance, caudal reducido durante la fase de acumulación de agua en el perfil). En este sentido, la técnica del riego por pulsos (Gurovich, 1997) es una alternativa promisorio, no sólo por el incremento en la eficiencia de aplicación, sino que también por su efecto positivo sobre la uniformidad de las láminas infiltradas, a lo largo de la unidad de riego.
- i) Practicar el riego restringido controlado, con el instrumental requerido y un conocimiento cuantitativo de las características hidrodinámicas del suelo, la diaria demanda evaporativa de la atmósfera y el desarrollo del índice de área foliar (factor Kc) del cultivo. Esta técnica recibe el nombre de riego programado (Gurovich, 1991).
- j) Cambio de la técnica o sistema de riego, con las inversiones correspondientes, cuando su evaluación económica asegure una

rentabilidad adecuada (Gurovich, 1988). El cambio gradual de sistemas de riego superficiales, por medio de inversiones en tecnología de aplicación de agua resulta en general más rentable que el cambio drástico desde un sistema de riego superficial con deficiencias de diseño y/o operación, por un sistema de riego presurizado, por el alto costo de este último y la necesidad de que su utilización responda efectivamente a las condiciones específicas del sistema suelo-planta-clima y disponibilidad de agua, que varían significativamente a lo largo de cada temporada de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GUROVICH, L. 1993. *Análisis económico de alternativas de riego en casos de disponibilidad restringida de agua*. C.I.A. Vol. 20(3): 125-145.
- GUROVICH, L., A. HERNÁNDEZ y P. PSZCZÓL-KOWSKI. 1996. Deficit irrigation as a strategy to modify wine characteristics. Publicación de los trabajos presentados a la 76ª Asamblea General de la O.I.V. Noviembre. Ciudad del Cabo. Sudáfrica.
- GUROVICH, L. 1997. *Riego Superficial Tecnificado. Colección Textos Universitarios*. Pontificia Universidad Católica de Chile. 538 pp. ISBN 956-14-0476-1.
- GUROVICH, L. 1991. *Manual de riego programado de los frutales*. Publicación CORFO - U. Católica, 600 páginas.
- GUROVICH, L. y S. ORTEGA. 1988. *Análisis del impacto económico de tecnologías de riego*. Publicación CORFO - U. Católica, AA88/3 228 páginas.