



CHILE LO
HACEMOS
TODOS

Gobierno de Chile

yo
cuido
el agua



MANUAL

SISTEMAS DE RIEGO Y MANEJO HÍDRICO DE CULTIVOS

PROGRAMA

CAPACITACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN RIEGO PARA PEQUEÑOS AGRICULTORES

EN LAS REGIONES DEL BIOBÍO Y LA ARAUCANÍA

Equipo técnico

Octavio Lagos R., Ingeniero Civil Agrícola, PhD.

Carolina Manríquez P., Ingeniero Civil Agrícola.

José Contreras U., Ingeniero Agrónomo.

Walter Valdivia C., Ingeniero Agrónomo, Magister en Ingeniería Agrícola.

Camilo Souto E., Ingeniero Civil Agrícola.

Andrés Pérez B., Ingeniero Civil Agrícola.

Henry Murillo L., Ingeniero Agrónomo.

Comisión Nacional de Riego

Gustavo Roa F., Ingeniero Agrónomo.

Profesional División de Estudios, Desarrollo y Políticas.

La ejecución del programa y la elaboración de este material de apoyo a la capacitación ha sido desarrollada por el Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	5	6.6.	Periodos críticos de riego según cultivo.....	22
2.	RIEGO SUPERFICIAL.....	5	6.7.	Frecuencia y tiempo de riego.....	23
2.1.	Características generales.....	5	6.7.1.	Riego por surco.....	23
2.2.	Métodos de riego superficial.....	5	6.7.2.	Riego por aspersión.....	25
2.2.1.	Riego con regueras en contorno.....	5	6.7.3.	Riego por goteo.....	28
2.2.2.	Riego por bordes o platabandas.....	6	7.	RIEGO CON ENERGÍAS RENOVABLES.....	31
2.2.3.	Riego por surco.....	7	7.1.	Energía solar fotovoltaica (FV).....	33
2.3.	Sistemas de aducción.....	9	7.2.	Descripción general de un sistema solar FV.....	33
2.3.1.	Sifones.....	9	7.2.1.	Módulo fotovoltaico.....	34
2.3.2.	Mangas de polietileno.....	9	7.2.2.	Inversor.....	35
3.	RIEGOPORASPERSIÓN.....	10	7.2.3.	Regulador de carga.....	36
3.1.	Antecedentes básicos.....	10	7.2.4.	Almacenamiento de energía.....	36
3.2.	Características generales.....	10	7.2.5.	Medidor bidireccional.....	37
3.3.	Ventajas y limitaciones.....	11	7.3.	Configuraciones típicas.....	37
3.4.	Sistemas de bombeo eléctricos y a combustión.....	12			
3.5.	Tipos de riego por aspersión.....	12			
3.5.1.	Móvil o tradicional.....	12			
3.5.2.	Semifijo.....	12			
3.5.3.	Fijo.....	13			
4.	RIEGO LOCALIZADO O MICRORIEGO.....	13			
4.1.	Antecedentes básicos.....	13			
4.2.	Características generales.....	13			
4.3.	Ventajas o limitaciones.....	14			
4.4.	Tipos de riego localizado o microriego.....	15			
4.4.1.	Goteo.....	15			
4.4.2.	Microaspersión y microjet.....	16			
4.4.3.	Cinta de riego.....	16			
5.	DEMANDA HÍDRICA.....	17			
5.1.	Métodos de estimación.....	17			
5.1.1.	Bandeja de evaporación.....	17			
5.1.2.	Estación meteorológica.....	18			
5.1.3.	Portales web.....	18			
5.2.	Coeficiente de cultivo (Kc).....	18			
6.	MANEJO DE RIEGO.....	19			
6.1.	Densidad aparente.....	19			
6.2.	Textura.....	20			
6.3.	Humedad aprovechable.....	20			
6.4.	Contenido de humedad del suelo.....	21			
6.5.	Profundidad de raíces.....	21			

1. INTRODUCCIÓN

El clima privilegiado y la ubicación estratégica de nuestro país son dos elementos fundamentales en las características de nuestra producción agrícola. La variabilidad en la disponibilidad de agua, a lo largo de Chile, hace que los agricultores deban hacer esfuerzos especiales para manejar en forma óptima los distintos factores que inciden en la producción. Entre los factores productivos que controla un agricultor, el riego es uno de los cuales existe mayor descuido y desconocimiento en cuanto al efecto que tiene el mal manejo del agua, tanto en la cantidad como en la calidad del producto que se desea obtener.

El riego tiene como objetivo básico reponer el déficit de humedad producto de un balance entre la evapotranspiración de los cultivos y la precipitación. Se han desarrollado criterios y procedimientos para mejorar y racionalizar las prácticas de reposición de agua al suelo, mediante nivelación de suelos, diseño de métodos de riego, regulación de caudales, estructuras de aducción, equipo de control y manejo adecuado del agua.

Implementar, a nivel predial, una tecnificación de riego adecuada permite un uso eficiente de los recursos hídricos disponibles, un aumento del área susceptible de ser regada, mejor aprovechamiento de la energía, los fertilizantes y mano de obra e incrementos en la producción y calidad de los cultivos.

En el marco del programa **“Capacitación y Transferencia Tecnológica en Riego para Pequeños Agricultores en las Regiones de Biobío y Araucanía”** de la Comisión Nacional de Riego, este manual destinado a pequeños productores agrícolas y sus agentes de extensión (INDAP, PRODESAL y PDTI) tiene como objetivo describir los principales métodos de riego utilizados en la pequeña agricultura, incorporando recomendaciones y soluciones técnicas en el uso de equipos de riego y en el manejo hídrico de cultivos. Se espera que el uso de la información contenida en este manual permita lograr un mejor uso de los recursos hídricos y una mayor productividad en el sistema predial.

2. RIEGO SUPERFICIAL

2.1. Características generales

El riego superficial consiste en la aplicación y distribución de agua al predio sobre la superficie del suelo mediante el uso de l

la fuerza gravitacional. En Chile alcanza el 70% de la superficie regada, por lo que, han surgido numerosas técnicas de aplicación de agua por gravedad como: riego tendido, regueras en contorno, por bordes, platabandas o surcos.

El riego superficial ha adquirido una gran importancia debido a los elevados costos de la energía eléctrica asociados con el bombeo de agua en los sistemas de riego presurizados y a la incorporación de variados niveles de automatización en los métodos de riego superficiales.

El riego superficial requiere, para su buen manejo, un apropiado conocimiento de las características de suelos, de la topografía del predio, del tipo de cultivo, de la disponibilidad de agua y de las condiciones climáticas del lugar.

2.2. Métodos de riego superficial

2.2.1. Riego con regueras en contorno

En condiciones de terrenos con ciertas ondulaciones y pendientes mayores a 2,5%, el método de riego con regueras en contorno constituye una muy buena alternativa, que supera con creces al riego tradicional o por tendido.

Este método de riego consiste en trazar las regueras que conducen el agua con una pendiente leve. En estas regueras se utilizan mantas de riego, estructuras de retención artesanales conformadas por palos y sacos, para taquear y luego desbordar las regueras de forma más controlada hacia el sector a regar (Figura 1).

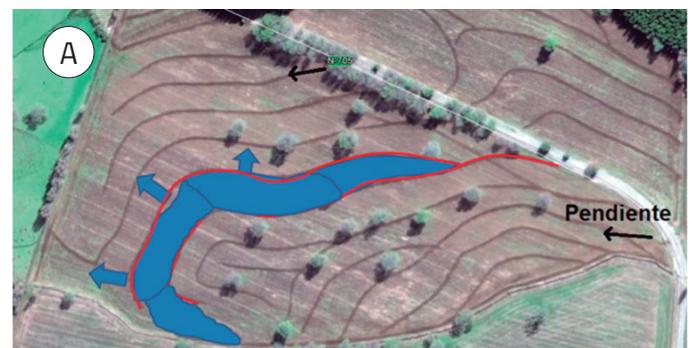




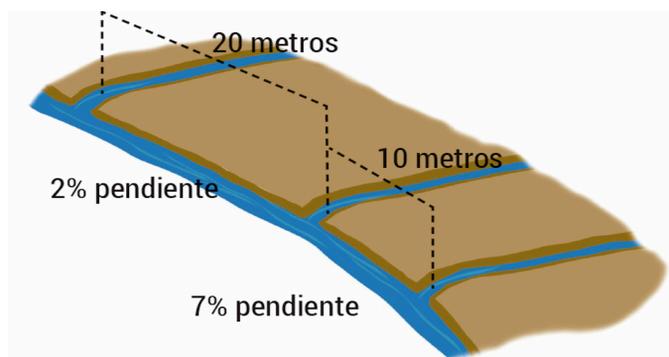
Figura 1. A) Forma de operación y B) manta o poncha de riego.

En general, el riego por regueras en contorno no tiene eficiencias de aplicación tan altas como otros métodos de riego superficiales, pero pueden obtenerse niveles de 40-60% bajo condiciones de manejo adecuado.

El espaciamiento de las regueras depende de la pendiente del terreno y la capacidad de infiltración del suelo. Como regla general, se pueden encontrar valores como los que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Espaciamiento entre regueras en función de la pendiente.

Pendiente del terreno (%)	Espaciamiento de las regueras (m)
2 - 4	20
4 - 6	15
6 - 8	10
8 - 10	6



2.2.2. Riego por bordes o platabandas

Este método de riego considera la división del predio en franjas rectangulares estrechas denominadas platabandas o bordes y que se caracteriza por la aplicación controlada de una lámina de agua que avanza en el sentido longitudinal (Figura 2).



Figura 2. Método de riego por bordes o platabandas.

Este método requiere de grandes caudales y una buena nivelación entre los bordes o pretilos para permitir una aplicación uniforme del agua (Figura 3). La pendiente en el sentido del flujo debe ser mayor a 0,2% para evitar periodos de inundación prolongados y menor de 2% para evitar problemas de erosión. Idealmente la pendiente debe estar entre 0,3 y 0,5%.

En general, el riego por platabandas se ha utilizado en el riego de cultivos de alta densidad de siembra como alfalfa, empastadas y cereales, así como también en frutales.

El ancho de las platabandas suele ser entre 10 a 20 metros y está condicionado al caudal disponible y en ocasiones al ancho de la maquinaria pastera o de la cosechadora, tratándose de empastadas o cereales, respectivamente.

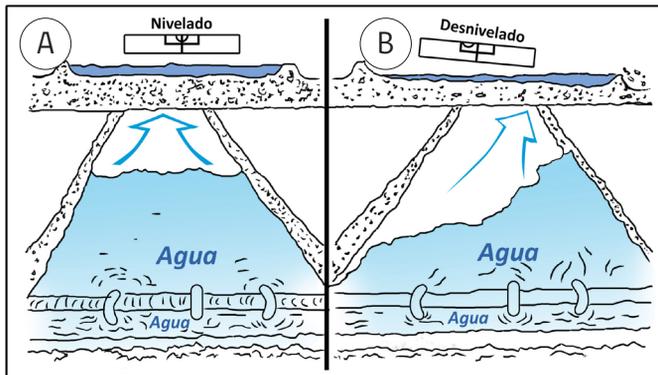


Figura 3. Esquema de funcionamiento del método de riego por bordes o platabandas: A) correcto y B) incorrecto.

Algunas recomendaciones de caudal y largos de platabanda de acuerdo a la textura del suelo y la pendiente se muestran en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Caudales en riego por platabandas según textura de suelo y pendiente del terreno en sentido longitudinal.

Pendiente (%)	Textura de suelo		
	Arenosa	Franco arenosa	Franco arcillosa
	Caudal (litros/segundo/metro de ancho)		
0,2 - 0,4	10 - 15	5 - 7	3 - 4
0,4 - 0,6	8 - 10	4 - 6	2 - 3
0,6 - 1,0	5 - 8	2 - 4	1 - 2

Tabla 3. Largo de la platabanda según textura de suelo y pendiente del terreno en sentido longitudinal.

Pendiente (%)	Textura de suelo		
	Arenosa	Franco arenosa	Franco arcillosa
	Largo de la platabanda (metros)		
0,2 - 0,4	60 - 90	90 - 180	180 - 300
0,4 - 0,6	60 - 90	90 - 180	90 - 180
0,6 - 1,0	75	90	90

2.2.3. Riego por surco

En este método de riego el agua es conducida a través de pequeñas regueras que al taquearlas con mantas o ponchas de riego permiten distribuir el agua hacia surcos paralelos en el sentido de la siembra o plantación para así infiltrarse al suelo por el costado y fondo de los mismos (Figura 4).



Figura 4. Método de riego por surcos en maíz.

Entre los factores a considerar en el manejo del riego por surcos, se pueden mencionar las condiciones de suelo, espaciamiento y forma del surco, erosión y longitud máxima de surcos.

Condiciones de suelo: Cuando el agua es aplicada al surco, la velocidad con que el agua entra al suelo (velocidad de infiltración) se encuentra influenciada por la textura del suelo.

Espaciamiento y forma del surco: Usualmente, el espaciamiento entre surcos está dado por el tipo de cultivo, suelo y maquinaria usada para las labores de manejo. La separación debe asegurar el mojado de todo el suelo ocupado por las raíces (Figura 5).

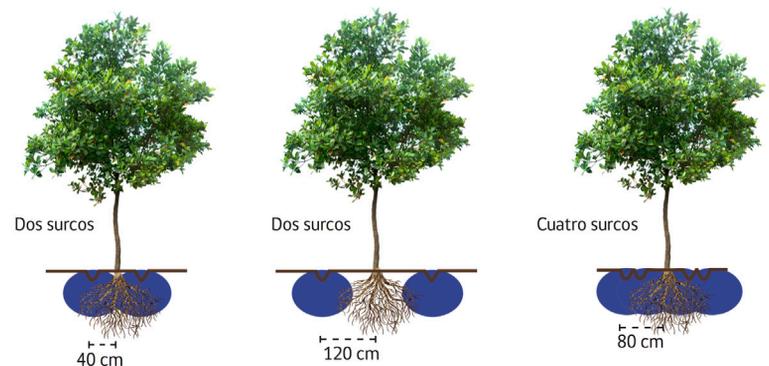


Figura 5. Distribución de la humedad del riego en el perfil de suelo en huertos de frutales con distintos espaciamientos y número de surcos.

Erosión: La pendiente del suelo y el caudal aplicado son dos factores que pueden provocar problemas de erosión del suelo.

Longitud máxima de surcos: En la Tabla 4 se presenta un resumen de largos máximos de surcos dependiendo de la textura del suelo y la lámina de agua a aplicar en cada riego.

Tabla 4. Largos máximos de surco según pendiente, textura de suelo y lámina de riego a aplicar.

Pendientes %	Textura del suelo								
	Arcillosa			Franca			Arenosa		
	Lámina de agua en cm								
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
0,2	370	450	520	250	350	440	150	220	265
0,3	300	350	380	225	300	380	130	190	230
0,5	250	300	330	200	245	300	105	145	175
0,75	200	250	275	175	190	235	80	115	140
1	175	200	240	150	165	200	70	100	115
1,5	150	180	200	120	130	160	60	80	95
2	120	150	175	105	110	140	50	70	80

2.3. Sistemas de aducción

En riego superficial se requiere la utilización de estructuras de aducción que permitan derivar el agua desde las regueras a los surcos o platabandas. Dichas estructuras permiten un adecuado control del caudal, uniformidad en los caudales aplicados al surco o platabanda y una mejor utilización de la mano de obra.

2.3.1. Sifones

El sifón es un tubo de aluminio o PVC con una longitud que varía entre 1 y 2 metros, de forma curvada que permiten derivar el agua desde los canales o regueras a los surcos o platabandas por sobre el borde que los separa (Figura 6).



Figura 6. Riego superficial con sistema de aducción mediante sifones.

La cantidad de agua que entrega un sifón depende de su diámetro y de la diferencia de altura que existe entre el nivel de agua en la acequia alimentadora y el extremo del sifón por el que sale el agua.

Para hacer funcionar un sifón se deben seguir algunos pasos básicos que se muestran en la Figura 7:

A. Sumerja el sifón completamente en el canal asegurándose de que no quede nada de aire en su interior y luego tape con la mano el extremo que irá al fondo del surco.

B. Saque el extremo del sifón que irá hacia el surco sin sacar la mano.

C. Una vez ubicado el extremo en el surco asegúrese de que este se encuentre más bajo que el nivel de agua en la reguera y retire la mano de su extremo.



Figura 7. Pasos a seguir para hacer funcionar un sifón.

La fabricación de los sifones de PVC no posee mayor complejidad, se debe disponer de los siguientes materiales: PVC sanitario o gris (40-50 mm), arena seca, tapones de papel, brasas de una fogata y un molde de fabricación que puede ser hecho en madera con clavos o trozos de madera como guías. La Figura 8 muestra paso a paso la fabricación de un sifón.



1) PVC sanitario 40-50 mm.



2) Rellenar con arena y poner tapón de papel en los extremos.



3) Calentar sobre brasas sin exponer el sifón directamente al fuego.



4) Esperar hasta que comience a doblarse por el calor.



5) Una vez blando se debe montar sobre el molde.



6) Una vez frío, vaciar la arena y usar.

Figura 8. Pasos a seguir para la fabricación de sifones de riego.

2.3.2. Mangas de polietileno

La manga de polietileno es un tubo plástico de pared delgada y de color negro al cual se le hacen perforaciones o se le instalan compuertas regulables con el fin de ajustar el caudal que se desea aplicar a cada surco (Figura 9). Este sistema reemplaza a los regueros y mejora sustancialmente la eficiencia en el uso del agua puesto que se pierde el mínimo de agua en la conducción.



Figura 9. Riego por surcos con sistema de aducción mediante el uso de mangas de polietileno.

En ellas se deben instalar compuertas de plástico prefabricadas o artesanales (Figura 10).

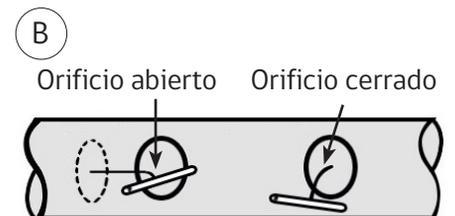


Figura 10. Tipos de compuertas para mangas: A) de plástico prefabricadas y B) artesanales de goma con hilo y tope de madera.

Este sistema de aducción se puede fabricar artesanalmente con los siguientes materiales: manga plástica, tubo de conexión entre canal alimentador y la manga, cilindro de fierro como saca bocado, trozo circular de goma, hilo y tope de madera. En la Figura 11 se muestran los pasos a seguir para instalar una manga plástica y sus compuertas.



Figura 11. Instalación de una manga de polietileno con compuertas artesanales de regulación.

3. RIEGO POR ASPERSIÓN

3.1. Antecedentes básicos

El riego por aspersión requiere, al igual que todos los sistemas de riego, para su buen manejo, un apropiado conocimiento de las características de los suelos, de la topografía del predio, del cultivo, de la disponibilidad de agua y de las condiciones climáticas del lugar.

En riego por aspersión tradicional es necesario suministrarle al agua una energía determinada para que ésta circule por las tuberías a presión. Cuando el agua de riego se encuentra almacenada (piscina, tranque) o circula por canales, ríos, y estos se encuentran situados a un nivel suficientemente alto con respecto al predio, el agua conducida por tuberías adquiere una determinada presión. En caso contrario, será necesario suministrarle una energía para que alcance la presión necesaria para circular por la red de tuberías y salga por los emisores con una presión que garantice su buen funcionamiento.

Lo más común es que ocurra la segunda opción, siendo los equipos de bombeo que aportan la energía necesaria para suministrar el caudal de agua requerido a la presión necesaria para hacer funcionar los emisores correctamente. En este sistema de riego,

el agua se distribuye por el aire con aspersores que poseen diámetros de mojamiento superiores a los 12 metros y hasta 50 metros o más, dependiendo del modelo de aspersor utilizado y la presión disponible. El sistema es muy versátil y permite regar desde jardines y parques hasta grandes predios agrícolas.



Figura 12. Clasificación de sistemas de riego por aspersión.

3.2. Características generales

Un sistema de riego por aspersión es una red de tuberías por las cuales circula agua a presión, la que sale hacia los cultivos por emisores llamados aspersores.

Este riego es adecuado principalmente para cultivos densos como praderas o maíz y también funciona bien en algunas hortalizas como papas, porotos y cebollas.



Figura 13. Aspersor.

Existen diferentes materiales de las tuberías de conducción de los sistemas de aspersión:

- PVC
- Aluminio
- Polietileno
- Fierro Galvanizado

Cada uno tiene características que los hacen diferentes entre ellos, como por ejemplo: peso, resistencia a la presión, duración, facilidad en la instalación, costo, etc.

Cualquiera sea el material del equipo, lo importante es que esté bien diseñado del punto de vista agronómico e hidráulico, para que aplique la cantidad de agua que necesitan los cultivos.

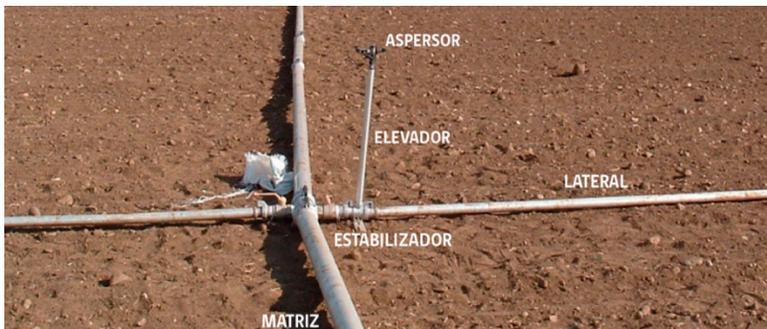


Figura 14. Esquema sistema de riego por aspersión.

La demanda de agua de los cultivos es variable pero podemos hacer una relación que, en general, se acerca a la mayoría de los sistemas de riego por aspersión. Considerando una demanda diaria de 7 mm en la época de mayor calor, 18 horas de tiempo disponible para regar en un día y una eficiencia de aplicación de riego del 75%, se necesitaría un caudal disponible de 1,4 litros por segundo por hectárea.

La presión que necesita el sistema puede ser entregada por una bomba accionada por energía eléctrica convencional, energía eléctrica fotovoltaica, petróleo, bencina o por la energía

producida por una caída de agua que se conduzca entubada y de al menos unos 30 a 40 m de desnivel respecto al terreno a regar.

La elección de cualquiera de estas fuentes de energía para accionar la bomba incidirá directamente en los costos operacionales del sistema.

Hay que recordar que la energía proporcionada por una caída de agua no tiene costo operacional, lo mismo que la energía fotovoltaica. En los otros casos, las bombas que funcionan con bencina tienen un costo de operación mayor.

La elección de la disposición espacial (marco) de los aspersores se realiza teniendo en cuenta fundamentalmente: la curva de precipitación de los aspersores, tipo de instalación (fija o móvil) y condiciones de viento.

¿Cuál es la forma de ubicar los aspersores?

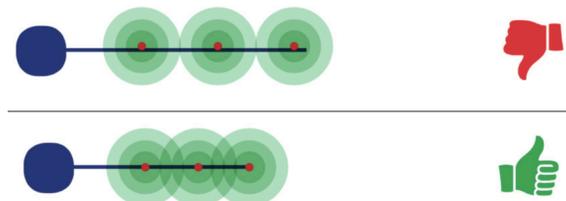


Figura 15. Forma de ubicar los aspersores.

El traslape de los aspersores es importante debido a que así se asegura la uniformidad de aplicación del agua.

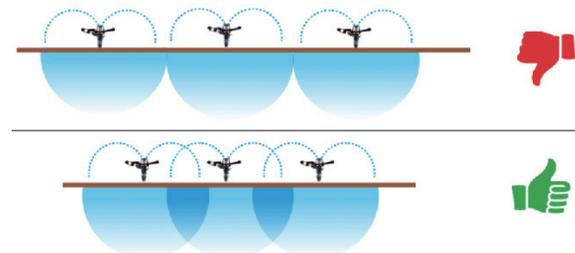


Figura 16. Traslape de los aspersores.

3.3. Ventajas y limitaciones

En general, la eficiencia de aplicación del riego por aspersión es alta, entre un 75% a 85%, por lo que requiere una menor cantidad de agua por superficie en comparación con riego superficial. Algunas de sus principales ventajas son:

- Se puede regar eficientemente suelos pesados y suelos con alta velocidad de infiltración, tales como los de textura media a gruesa, o suelos poco profundos, especialmente cuando se trata de cultivos de alta densidad como cereales y empastadas.

- Permite una distribución uniforme y controlada de los caudales aplicados, aún en terrenos de topografía irregular y pendiente fuerte.
- Tiene efecto sobre las heladas a través de la energía proporcionada por la aplicación de agua con el sistema, pudiéndose utilizar cuando las temperaturas descienden bajo el nivel tolerado por el cultivo.
- Permite aplicar fertilizantes con el agua de riego (fertirriego).

3.4. Sistemas de bombeo eléctricos y a combustión

Generalmente los equipos de bombeo requeridos por los sistemas de riego son bombas centrífugas (de eje horizontal o vertical) impulsadas por motores eléctricos o de combustión interna (Figura 17). La dimensión del equipo dependerá del caudal y de la presión de operación requerida por el sistema de riego, pero su selección también dependerá de la energía disponible en el predio. Si bien es cierto los bombeos eléctricos disponen de una gran variedad de bombas que se adaptan a una mayor cantidad de condiciones (en requerimientos de caudal y presión), en los sistemas de combustión interna la variedad de opciones es menor. Antes de seleccionar un sistema de bombeo es necesario también evaluar el caudal que entrega la fuente de agua disponible y otros antecedentes como la distancia a la fuente de energía y la altura de succión que requerirá el sistema de bombeo.



Motobomba.



Motobomba.



Electrobomba.



Tractobomba.

Figura 17. Sistemas de bombeo eléctrico y combustión.

Las bombas centrífugas son versátiles y normalmente usadas sobre el terreno donde la distancia vertical de la succión es menor a 6 m. Todas las bombas centrífugas deben ser cebadas con agua antes de su operación, la línea de succión y el cuerpo de la bomba deben estar llenas de agua y libres de aire. Para el bombeo desde

pozos profundos normalmente se utilizan bombas sumergibles que normalmente poseen un costo mayor. En proyectos de riego las bombas centrífugas son utilizadas para el bombeo de agua desde tranques, embalse, cauces y pozos someros, generalmente son menos costosas, requieren menos mantenimiento, son fáciles de instalar y son más accesibles para las labores de mantenimiento.

3.5. Tipos de riego por aspersión

3.5.1. Móvil o tradicional

El sistema de riego por aspersión móvil es de montaje eventual, puesto que todos sus elementos son móviles (tuberías matrices y secundarias, laterales, elevadores y aspersores). También el equipo de bombeo puede ser móvil, normalmente accionado por un motor de combustión o motobomba o bien una bomba conectada a la toma de fuerza de un tractor, que se va cambiando de posición.

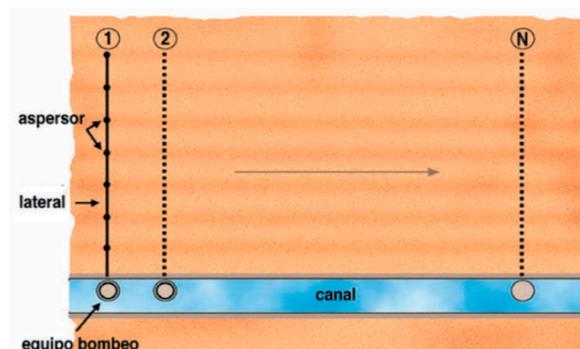


Figura 18. Sistema de aspersión móvil.

3.5.2. Semifijo

Este sistema normalmente se caracteriza por tener un equipo de bombeo fijo y la red de tuberías matrices suelen ir enterradas y su conexión a la red de tuberías secundarias y laterales porta aspersores se realiza mediante hidrantes (Figura 19). Normalmente los laterales pueden ser tuberías de aluminio o PVC.



Figura 19. Tipos de hidrantes: A) hidrante de PVC y B) hidrante de aluminio.

3.5.3. Fijo

Son aquellos sistemas que mantienen inmóviles todos los elementos que componen la instalación. La tubería matriz, secundaria y laterales se encuentran enterrados y sólo se observan en el terreno los elevadores para conectar los aspersores (Figura 20 A). Su uso principal es en empastadas en superficies pequeñas.

Una de las ventajas de este sistema tratándose de pequeños agricultores, es que son de muy fácil manejo ya que solo se deben abrir y cerrar válvulas y cambiar aspersores, a menos de que todos los elevadores cuenten con aspersores instalados. La desventaja de este sistema es que obliga a realizar muchas zanjas en el terreno para instalar las tuberías matrices y porta laterales y el costo en tuberías es mayor. Además, tanto la preparación de suelo como el manejo agronómico y cosecha mecanizada del cultivo es dificultosa.

Una variante de estos sistemas fijos son los llamados de “cobertura total” en los que toda la red de tuberías se instala sobre el terreno inmediatamente después de la siembra y se mantienen instalados hasta antes de la cosecha. El manejo es similar a la alternativa enterrada pero se usa más en cultivos como remolacha, achicoria, bulbos de flores, etc. (Figura 20 B).

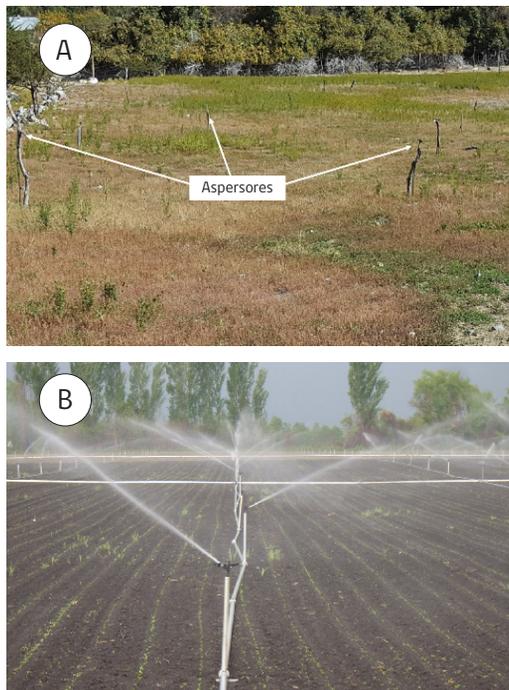


Figura 20. A) Riego por aspersión fijo enterrado y B) cobertura total.

4. RIEGO LOCALIZADO O MICRORIEGO

4.1. Antecedentes básicos

El microriego o riego localizado consiste en la aplicación de agua sobre la superficie del suelo o bajo éste, utilizando para ello tuberías a presión y emisores. El sistema normalmente humedece una fracción del suelo, generalmente próximo a la planta (Figura 21), generando un volumen de suelo regado denominado bulbo húmedo.



Figura 21. Aplicación de agua mediante microriego.

En microriego la importancia del suelo es principalmente de soporte físico y de proporcionar agua y nutrientes en volúmenes reducidos. Es conveniente aplicar al suelo el agua y fertilizantes en cantidades pequeñas y con alta frecuencia, es decir, el número de riegos en una temporada es elevado y en cada uno de ellos se aportan pequeñas cantidades de agua. Con esto se intenta mantener constante la humedad del suelo, lo que permite óptimas condiciones de desarrollo para la planta. Sin embargo, esto último no siempre es posible debido a que en texturas de suelo muy finas una alta humedad en forma permanente puede provocar serios problemas de aireación en las raíces del cultivo, por lo tanto, es un método de riego que obliga a realizar una programación del riego ajustada a cada caso.

4.2. Características generales

En el riego localizado o microriego se utilizan emisores que permiten la salida de agua desde las tuberías laterales hacia las plantas ya sea como gotas o aspersión. Estos emisores son los llamados goteros, microaspersores y microjets.

Componentes de un sistema de riego localizado (Figura 22):

Unidad de impulsión. Es uno de los principales componentes de un sistema de riego presurizado, ya que la fuente impulsora es la que debe otorgar presión y caudal de agua suficiente para la correcta operación del sistema.

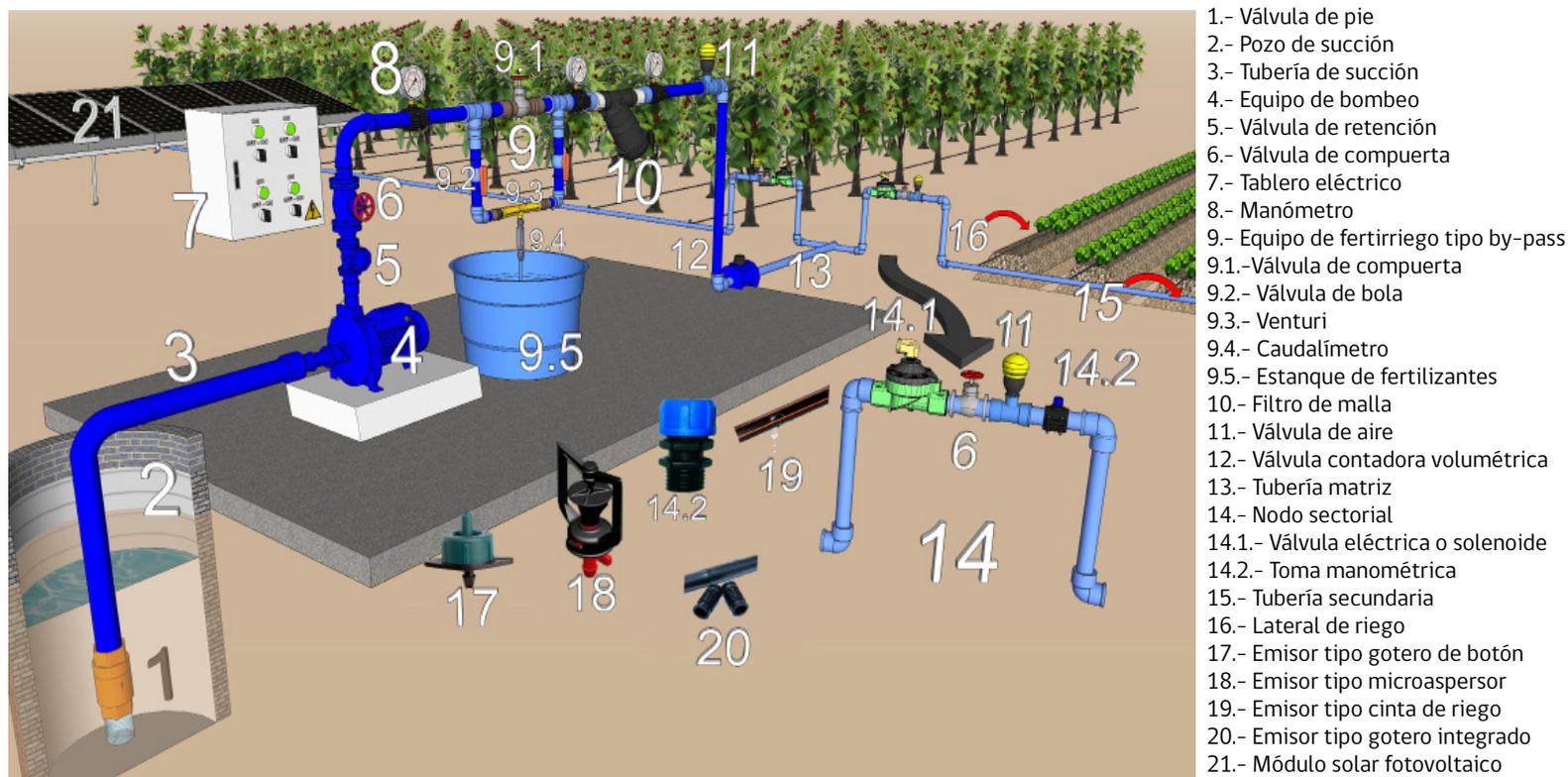
Unidad de filtrado y fertilización. Es esencial utilizar aguas limpias para un buen trabajo del método de riego por goteo y por ello los filtros son una parte fundamental del cabezal. La fertilización a través del riego permite facilitar el aporte de nutrientes solubles en agua a través de la red de conducción y se realiza a través del sistema de fertirriego. El más común es del tipo by-pass con venturi.

Elementos de regulación y control. Son aquellos dispositivos que se ubican en la red de conducción para regular y controlar

el flujo de agua dentro de las tuberías, tales como válvulas de compuerta, de bola, de aire, contadora volumétrica, eléctricas o solenoides, manómetros, etc.

Red de conducción y distribución. La tubería principal o matriz, generalmente de PVC, conduce el agua desde la caseta de bombeo o cabezal a las tuberías secundarias o terciarias, también de PVC, dependiendo del diseño que se haya realizado. Las tuberías terciarias alimentan las tuberías laterales o porta emisores, las que finalmente son las que entregan el agua al cultivo.

Emisores. Los emisores son estructuras que reducen la presión prácticamente a cero en el caso de los goteros, aplicando de esta manera el agua a la forma de una gota en la superficie del suelo, o liberan el agua a baja presión asperjada en finas gotas como los microaspersores y microjets.



- 1.- Válvula de pie
- 2.- Pozo de succión
- 3.- Tubería de succión
- 4.- Equipo de bombeo
- 5.- Válvula de retención
- 6.- Válvula de compuerta
- 7.- Tablero eléctrico
- 8.- Manómetro
- 9.- Equipo de fertirriego tipo by-pass
- 9.1.- Válvula de compuerta
- 9.2.- Válvula de bola
- 9.3.- Venturi
- 9.4.- Caudalímetro
- 9.5.- Estanque de fertilizantes
- 10.- Filtro de malla
- 11.- Válvula de aire
- 12.- Válvula contadora volumétrica
- 13.- Tubería matriz
- 14.- Nodo sectorial
- 14.1.- Válvula eléctrica o solenoide
- 14.2.- Toma manométrica
- 15.- Tubería secundaria
- 16.- Lateral de riego
- 17.- Emisor tipo gotero de botón
- 18.- Emisor tipo microaspersor
- 19.- Emisor tipo cinta de riego
- 20.- Emisor tipo gotero integrado
- 21.- Módulo solar fotovoltaico

Figura 22. Componentes de un sistema de riego localizado.

4.3. Ventajas y limitaciones

Algunas de las principales **ventajas** de los sistemas de microriego son:

- El sistema permite riegos frecuentes con lo cual se logra un alto grado de control sobre la oportunidad y cantidad de agua aplicada.

- Un sistema bien diseñado, instalado, mantenido y operado, permite lograr una alta eficiencia de aplicación, reteniendo entre un 85-95% del agua aplicada en el sistema radicular.
 - El agua es aplicada en zonas muy cercanas al sistema radicular, permitiendo reducir riesgos de erosión, escorrentía superficial, percolación profunda de agua y nutrientes u otros químicos a las napas de agua subterránea.
 - La distribución del agua es altamente uniforme, reduciendo la necesidad de sobregar algunas áreas del predio con el propósito de aumentar el riego de otras zonas donde la cantidad de agua aplicada por el sistema es menor.
 - El uso de sistemas de microriego ha demostrado aumentar la producción y la calidad de los productos agrícolas en muchos cultivos.
 - Los fertilizantes pueden ser inyectados en cantidades precisas directamente a la zona radicular y en el momento oportuno permitiendo un óptimo desarrollo del cultivo.
 - Los equipos de bombeo son generalmente más pequeños en comparación a los sistemas de aspersión tradicional.
 - Menos tráfico de maquinaria en los huertos ya que la aplicación de químicos puede realizarse a través del sistema de riego.
 - Una fracción de la superficie del suelo permanece siempre seca, reduciendo la evaporación, el crecimiento de maleza y favoreciendo el paso de maquinaria.
 - Los sistemas de microriego no aplican agua a las hojas, ramas o frutos evitando los riesgos de algunas enfermedades.
 - Los sistemas de microriego se adaptan bien a campos de formas irregulares y/o suelos con altas pendientes. El microriego es efectivo en suelos con baja velocidad de infiltración y baja capacidad de retención de agua.
 - El sistema es fácilmente automatizable lo que permite disminuir la mano de obra necesaria en su operación.
- Algunas **desventajas** del microriego son:
- Los sistemas de microriego requieren de personal calificado y entrenado.
 - El sistema posee un costo alto de inversión inicial.
 - El sistema requiere de agua de mayor calidad para prevenir el taponamiento de los emisores.
 - Los animales, la maquinaria y el tráfico de personas puede causar daños a las tuberías que se encuentran sobre el terreno.

- Roedores, insectos y la intrusión de raíces puede causar daños a las tuberías subterráneas.
- Los cultivos generalmente desarrollan un menor sistema radicular reduciendo su habilidad de sobrellevar periodos de estrés hídrico.
- Inspecciones regulares y corrección de problemas en el sistema y en sus componentes deben ser corregidas rápidamente para no provocar daños al cultivo.
- La acumulación de sales pueden ser un problema.

4.4. Tipos de riego localizado o microriego

Existen diferentes variaciones en el sistema de riego localizado relacionados principalmente con el tipo de emisor utilizado (Figura 23).

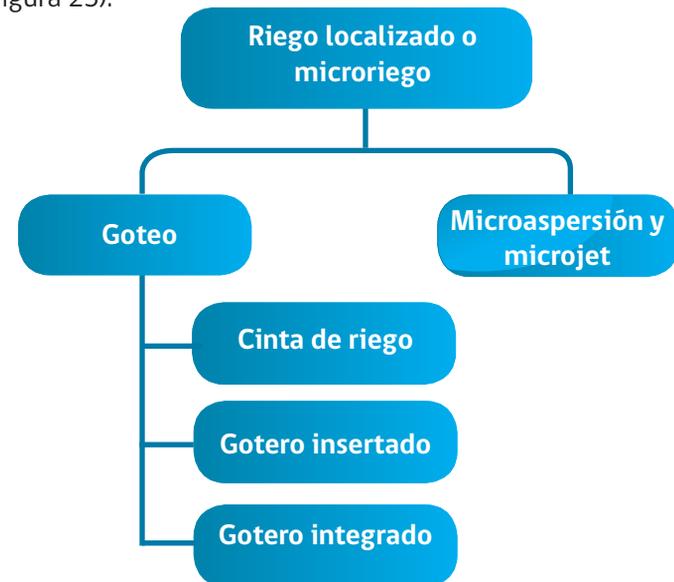


Figura 23. Tipos de microriego.

4.4.1. Goteo

El goteo es el sistema de microriego más utilizado en el país y en el mundo, y se caracteriza porque el agua circula a presión por una red de tuberías hasta llegar a los emisores denominados goteros. En los goteros el agua pierde presión y velocidad, saliendo gota a gota y son utilizados tanto en frutales como en cultivos hortícolas ya sea al aire libre como en invernaderos.

En sistema de riego por goteo se puede encontrar líneas de riego de pared gruesa con goteros insertados e integrados, líneas de riego de pared delgada con gotero integrado tipo "pastilla" y

cintas de riego. Los goteros insertados, también llamados “de botón” (Figura 24 A), son aquellos que se insertan externamente en la línea de riego y son fácilmente reconocibles por su particular forma. Los goteros integrados, en cambio, son generalmente de tipo cilíndrico y van ubicados al interior de la línea de riego desde fábrica (Figura 24 B).

Cada gotero se caracteriza porque el caudal de emisión varía según la presión interna del agua en la tubería en que se encuentran y es propio de cada modelo de gotero. Sin embargo, también existen en el mercado goteros llamados auto-compensados, que significa que el caudal que entregan es relativamente constante e independiente de la presión interna en la tubería si ésta se encuentra dentro de un rango determinado por su fabricante, generalmente de 0,5 a 3,5 bares. Se recomienda este tipo de emisores en aquellos equipos diseñados para regar sectores ondulados o con altas pendientes como laderas de cerro, por ejemplo.

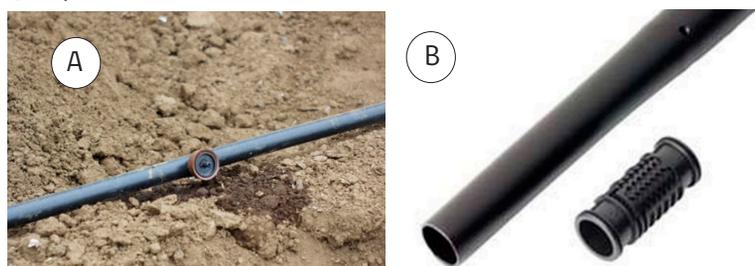


Figura 24. Tipos de goteros: A) de botón y B) integrado.

4.4.2. Microaspersión y microjet

En el riego por microaspersión y microjet el agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia muy fina, mojando una zona determinada que depende del alcance de cada emisor. Se utilizan principalmente para frutales como kiwis, nogales, cerezos, paltos y manzanos entre otros.

En este sistema se distinguen dos tipos de emisores, los microaspersores y los microjets (Figura 25). Los microaspersores son aquellos que cuentan con una pieza giratoria, llamada rotor o bailarina, donde el agua que sale desde un orificio o boquilla impacta el rotor con la presión suficiente para hacerla girar y de esta manera asperje el agua en círculos. Los microjets se diferencian de los anteriores en que el agua sale de la boquilla en forma vertical hacia arriba o hacia abajo e impacta sobre un plato o superficie fija, que puede ser de distintos tamaños y formas, lo que produce diferentes patrones de mojado y ángulos de aplicación.

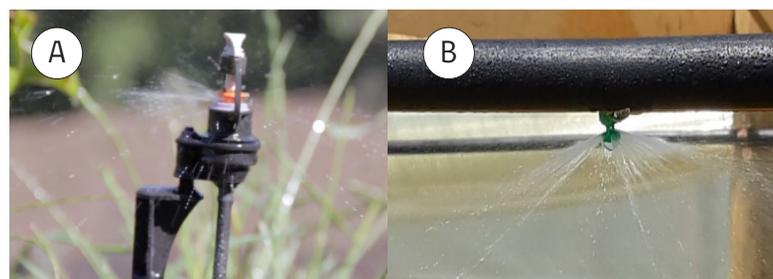


Figura 25. Microaspersor (A) y microjet (B).

En ambos sistemas, la aplicación del agua de riego es en forma de lluvia de gotas a baja altura y distribuida en una superficie relativamente amplia, desde 1,5 m de diámetro a más de 10 m. El rango de caudales en este tipo de emisores fluctúa entre 25 y 300 litros/hora, el que está determinado por el diámetro de la boquilla y su presión de operación. Este último factor, afecta de igual forma al diámetro de mojado, generándose diámetros mayores a mayores presiones. En riego por microaspersión se utiliza normalmente una sola lateral de riego por hilera de plantación.

4.4.3. Cinta de riego

Las llamadas cintas de riego son muy utilizadas en cultivos de hortalizas tanto al aire libre como bajo invernadero y se caracterizan por ser tuberías de paredes muy delgadas por lo que sin agua en su interior tienen una forma aplanada similar a una cinta. En la cinta de riego el laberinto del gotero es formado en el mismo material plástico y se caracterizan por tener espesores de pared muy delgados, desde 5 milésimas de pulgada o 0,13 mm, aunque lo más común es la de 8 milésimas de pulgada o 0,2 mm de espesor. En ellas el gotero puede ir dispuesto de 2 maneras: A) el laberinto del gotero es formado en el mismo material plástico desde fábrica o B) el gotero tiene forma de “pastilla” rectangular y se encuentra integrado en la línea de riego desde fábrica (Figura 26). A ambas se les llama normalmente “cintas de riego”.

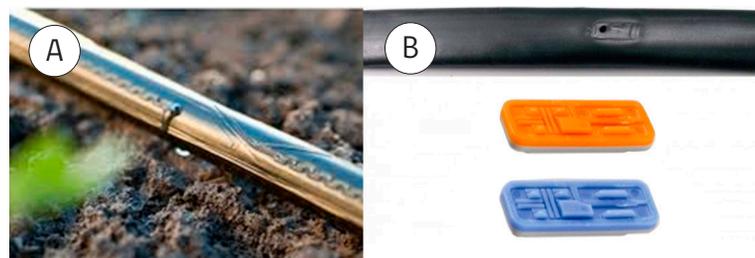


Figura 26. A) Cinta de riego y B) línea de riego de pared delgada con gotero integrado.

Dado lo cercano que se encuentran los emisores uno de otro, el riego por cintas tiene la particularidad de que en la superficie del suelo crea una banda continua de humedad (Figura 27) y no en puntos localizados como con las líneas de riego con goteros integrados o insertados.



Figura 27. Banda de mojamamiento uniforme en riego por cintas.

5. DEMANDA HÍDRICA

Para generar biomasa y producción, las plantas necesitan abrir sus estomas para capturar la luz y el CO_2 del ambiente, generando el proceso de fotosíntesis. Durante este proceso, las plantas liberan agua al ambiente mediante un proceso llamado transpiración. En el suelo ocurre otro proceso denominado evaporación, el cual consiste en la liberación del agua hacia la atmósfera desde la capa más superficial de este. La cantidad de agua que supone ambos procesos, transpiración y evaporación, suele considerarse de forma conjunta como la demanda hídrica del cultivo (Figura 28). Por lo tanto, las necesidades de agua de los cultivos están representadas por la suma de la evaporación directa de agua desde el suelo más la transpiración de la planta, requerimiento conocido como evapotranspiración (ETc).

La evapotranspiración (ETc) se expresa en dimensiones de altura de agua por unidad de tiempo, generalmente milímetros por día o mm/d. Para los cultivos es de fácil interpretación expresar los requerimientos hídricos en altura de agua puesto que 1 mm de altura de agua, ya sea como agua caída en una lluvia o aplicada mediante aspersión o microrriego, equivale a que en 1 metro

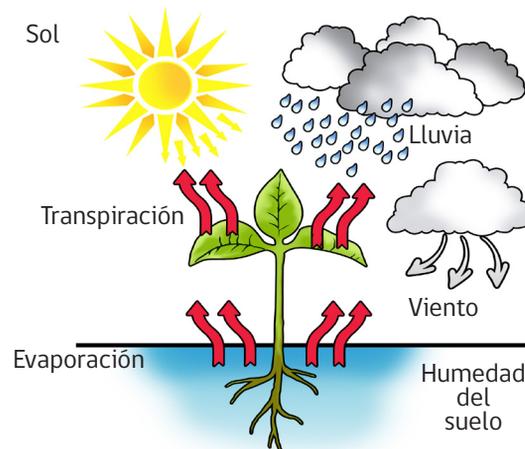


Figura 28. Esquema de la evapotranspiración.

cuadrado de superficie cayó o se aplicó 1 litro de agua, lo que se expresa como 1 L/m^2 . Por ejemplo, una precipitación de 20 mm sobre un cultivo se debe entender como que cayeron o se aplicaron 20 litros de agua por cada metro cuadrado de cultivo.

La demanda de agua de cada cultivo varía dependiendo de la variedad, del periodo fenológico, zona geográfica y época del año en que se encuentre.

5.1. Métodos de estimación

La evapotranspiración del cultivo (ETc) puede determinarse a partir de la siguiente ecuación:

$$ETc = ET_0 \times Kc$$

Dónde: ET_0 es la evapotranspiración de referencia (mm/d) y Kc es el coeficiente de cultivo (adimensional, ver capítulo 5.2).

ET_0 corresponde a la demanda de agua de un cultivo de referencia (generalmente pasto o alfalfa) en crecimiento activo, sana, que sombrea completamente la superficie del suelo y que no sufre de escasez de agua. La ET_0 normalmente es estimada mediante el uso de bandejas de evaporación y estaciones meteorológicas.

5.1.1. Bandeja de evaporación

El método más sencillo para estimar ET_0 es utilizar el evaporímetro de bandeja clase A, el cual se encuentra estandarizado. La bandeja es un recipiente cilíndrico de lata galvanizada de 120,7 cm de diámetro y 25 cm de altura, colocado sobre apoyos de madera que descansan sobre el suelo. El fondo del estanque debe tener una altura de 15 cm con respecto al suelo y se debe llenar con agua limpia, procurando mantener el nivel de agua a una distancia de 5,0 a 7,5 cm del borde (Figura 29).

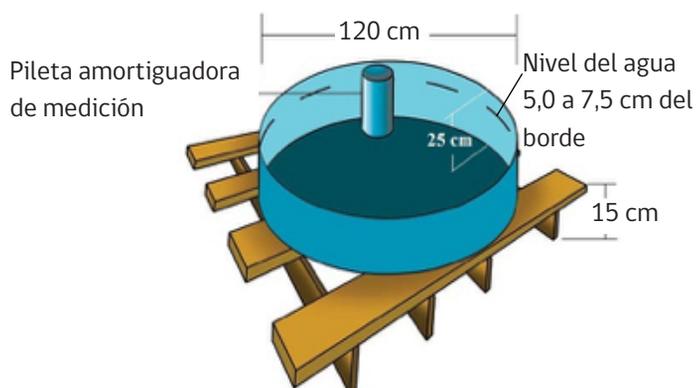


Figura 29. Bandeja de evaporación.

Para poder medir la evaporación desde la bandeja clase A, se debe llenar y marcar un determinado nivel de agua dentro del estanque, que servirá de punto de referencia para la medición posterior. Cada día se llenará el estanque hasta el nivel establecido.

La estimación de E_{To} en función de la evaporación de bandeja (E_b) se calcula a partir de:

$$E_{To} = E_b \times K_b$$

Dónde: E_b es la evaporación de bandeja (mm/d) y K_b es un coeficiente de bandeja (adimensional) que normalmente tiene valores entre 0,6 y 0,85, que dependen del carácter y la extensión de la cobertura vegetal que circunda el tanque desde donde se aproximan los vientos predominantes en la zona, de la velocidad de este y de la humedad relativa.

5.1.2. Estación meteorológica

La estación meteorológica o estación meteorológica automática (EMA) tiene como principal objetivo registrar el comportamiento de diferentes variables medioambientales, como la temperatura y humedad relativa del aire, la velocidad de viento, radiación solar y la precipitación. Las cuatro primeras son utilizadas para determinar la evapotranspiración de referencia (E_{To}). En Chile existe una red agroclimática nacional (RAN) que reúne a más de 400 EMAs y cuyos reportes diarios son presentados en el portal web de AGROMET.

Con el registro de estas variables y aplicando un modelo físico-matemático llamado "Penman-Monteith" por sus autores, se puede determinar la evapotranspiración de referencia de la zona donde se encuentra la estación. En la Figura 30 se muestra una estación meteorológica utilizada para determinar evapotranspiración de referencia.



Figura 30. Estación meteorológica automática.

5.1.3. Portales web

Existen portales web disponibles para todo usuario donde pueden consultar por la evapotranspiración de referencia de forma gratuita. Estos portales permiten mostrar en tiempo real toda la información entregada por las EMAs a lo largo de todo el país. Algunos de los cuales son:

- www.agroclima.cl
- www.agromet.cl
- Aplicación para celular: CampoClima

5.2. Coeficiente de cultivo (K_c)

La mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de E_{To} , por lo que E_{To} representa un indicador de la demanda climática. El K_c , por su parte, representa qué fracción de la E_{To} efectivamente está evapotranspirando el cultivo en un momento dado y está directamente ligado a su estado de desarrollo.

Los valores de coeficiente de cultivo (K_c) han sido obtenidos para condiciones ideales de humedad en el suelo y para diferentes cultivos sin problemas fitosanitarios (Tabla 5).

Para el caso de invernaderos, donde las condiciones climáticas son diferentes a las que hay al aire libre, es necesario realizar un ajuste que corrija el valor de la E_{To} . Se ha determinado a grandes rasgos una disminución de un 30% de la evapotranspiración dentro del invernadero, valor aproximado y que se debe utilizar solo como referencia.

Tabla 5. Coeficientes de cultivos (Kc) para diferentes cultivos y frutales según período de desarrollo.

Cultivo	Porcentaje de la estación de crecimiento					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
	Establecimiento	Desarrollo del cultivo	Media estación	Inicio Madurez	Madurez fisiológica	
Alfalfa	0,3-0,4	Promedio 1,10				
Avena-Trigo primavera	0,3-0,4	0,70-0,80	1,00-1,15	0,60-0,70	0,20-0,25	
Empastada	0,3-0,4	Promedio 1,00				
Remolacha	0,25-0,4	0,60-0,70	0,90-1,10	0,90-1,10	0,80-0,90	
Papas	0,40-0,50	0,70-0,80	1,00-1,20	0,95-1,00	0,65-0,75	
Tabaco	0,30-0,40	0,70-0,90	1,00-1,20	0,90-1,00	0,75-0,85	
Maíz	0,30-0,50	0,70-0,85	1,00-1,20	0,80-0,95	0,50-0,60	
Frejol verde	0,30-0,40	0,65-0,75	0,95-1,050	0,90-1,95	0,85-0,95	
Frejol grano	0,30-0,40	0,70-0,80	1,05-1,20	0,65-0,750	0,25-0,30	
Vid	0,30-0,50	0,60-0,80	0,80-0,90	0,60-0,80	0,50-0,70	
Frutales hoja caduca	0,40-0,50	0,75-0,85	1,10-1,20	1,10-1,20	0,70-0,90	
Cítricos y Paltos	0,60-0,70	0,60-0,70	0,80-0,90	0,80-0,90	0,60-0,70	
Frutales con cubierta verde entre hilera	Promedio 1,00					
Arveja verde	0,40-0,50	0,70-0,85	1,05-1,20	1,00-1,15	0,95-1,05	
Pimentón	0,30-0,40	0,60-0,75	0,95-1,10	0,95-1,10	0,80-0,90	
Cebolla guarda	0,40-0,50	0,60-0,80	0,95-1,15	0,80-1,00	0,70-0,80	
Cebolla verde	0,40-0,50	0,60-0,75	0,95-1,10	0,95-1,10	0,95-1,10	
Tomates	0,30-0,40	0,60-0,80	1,10-1,25	0,80-1,00	0,60-0,80	
Sandía	0,40-0,50	0,70-0,80	0,95-1,05	0,80-0,95	0,65-0,75	
Melón, Zapallo	0,40-0,50	0,60-0,75	0,95-1,05	0,70-0,80	0,60-0,70	
Hortalizas de arraigamiento superficial	0,30-0,40	0,60-0,75	0,90-1,10	0,90-1,10	0,80-0,90	

6. MANEJO DE RIEGO

Para manejar correctamente un sistema de riego se deben conocer conceptos importantes referentes al almacenamiento del agua en el suelo. Para esto se definirán conceptos como densidad aparente, textura, humedad aprovechable, contenido de humedad del suelo y profundidad de raíces.

6.1. Densidad aparente

La densidad aparente se define como la relación que existe entre el peso de una muestra de suelo seco y el volumen que ocupa dicha muestra. El volumen incluye tanto las partículas sólidas como el espacio poroso existente entre ellas, definido en gran medida por la textura del suelo y por el grado de agregación entre las partículas del suelo conocido como su estructura. A diferencia

de la textura, la densidad aparente es una propiedad que varía con las condiciones estructurales del suelo, las que dependen de condiciones de manejo, tales como el paso de maquinaria u otras labores agrícolas. Este parámetro puede servir como un indicador del grado de compactación que tiene el suelo y la restricción que pueda existir al desarrollo de las raíces de las plantas.

6.2. Textura

El suelo está compuesto por diferentes tamaños de partículas que lo forman, existiendo tres fracciones: arena, limo y arcilla, las que combinadas en distintas proporciones definen las distintas texturas de suelo como por ejemplo, suelos arenosos, francos, arcillosos y las posibilidades intermedias de combinación. Por ejemplo, si el resultado de un análisis textural de suelo entrega un 20% de arcilla, 40% de arena y 40% de limo, el suelo de acuerdo al triángulo de textura es clasificado como un suelo franco (Figura 31). Para el uso del triángulo textural seleccionamos primero cualquiera de los 3 componentes, por ejemplo el porcentaje de arena (40%), luego nos movemos hacia la arcilla para intersectar ya sea con la horizontal proveniente de la arcilla (20%), o con la diagonal que viene del limo (40%). Basta con dos componentes para determinar una textura ya que el tercero se obtiene indirectamente.

Una forma práctica para determinar la textura de un suelo es frotando entre las yemas de los dedos una muestra de suelo húmedo. Si la sensación al tacto es áspera, significa que el suelo posee un mayor porcentaje de arena. Si es pegajosa, la que predomina es la arcilla, y si es muy suave, similar a la harina o talco, es el limo el que está en mayor proporción. La muestra debe estar húmeda, con la cantidad justa de agua de modo que la consistencia sea semejante a una masa de cemento lista para la construcción. La muestra se amasa formando un cilindro (lulo). Si ésta se forma, pero se rompe fácilmente, es probable que el suelo tenga arcilla, pero también bastante arena, por eso se rompe (por ejemplo franco arcilloso). Si no se forma, se trata de un suelo con mucha arena y poca arcilla (por ejemplo un franco arenoso). Así, siempre es recomendable primero determinar si la textura de suelo es fina (franco-arcillosa, arcillosa), media (franco) o gruesa (arenosa).

6.3. Humedad aprovechable

El contenido de humedad a capacidad de campo (CC) es la humedad del suelo después de 24 a 48 horas de haber sido mojado abundantemente y se ha dejado drenar el agua libremente. En otras palabras, capacidad de campo se define como la máxima cantidad de agua que un suelo es capaz de retener. El contenido de humedad a punto de marchitez permanente (PMP) es la humedad del suelo en la que la planta se marchita y ya no es capaz de recuperar su turgencia. En otras palabras, es el contenido de humedad del suelo, en el que la planta se marchita a pesar de regarla después de alcanzado este punto. Un suelo a PMP se ve extremadamente seco pero aun así contiene agua en una muy pequeña cantidad imposible de ser extraída por el cultivo.

Al considerar capacidad de campo y punto de marchitez permanente como un límite superior e inferior de almacenamiento de agua en el suelo, el contenido de agua que está entre estos dos límites se define como humedad aprovechable que puede ser consumida por las plantas (Figura 32). Estos límites variarán dependiendo de la textura del suelo. En suelos arcillosos la humedad aprovechable es mayor que en suelos arenosos (Tabla 6).

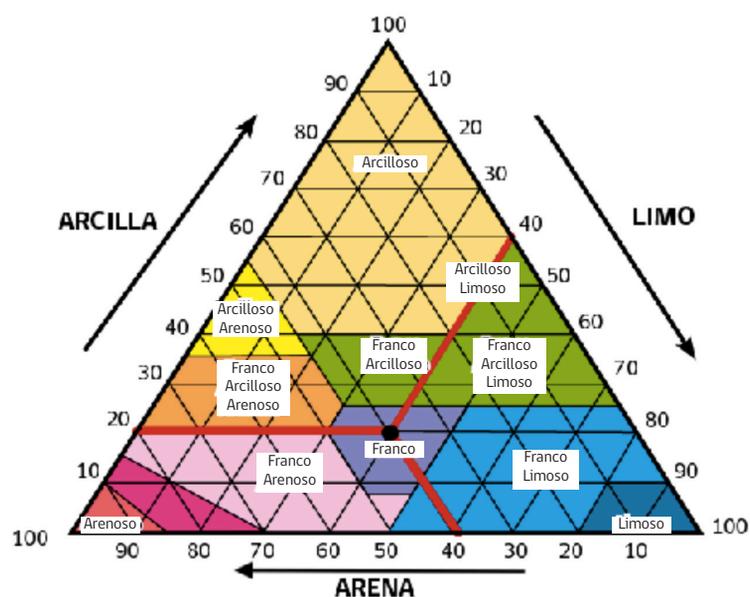


Figura 31. Triángulo textural de suelos.

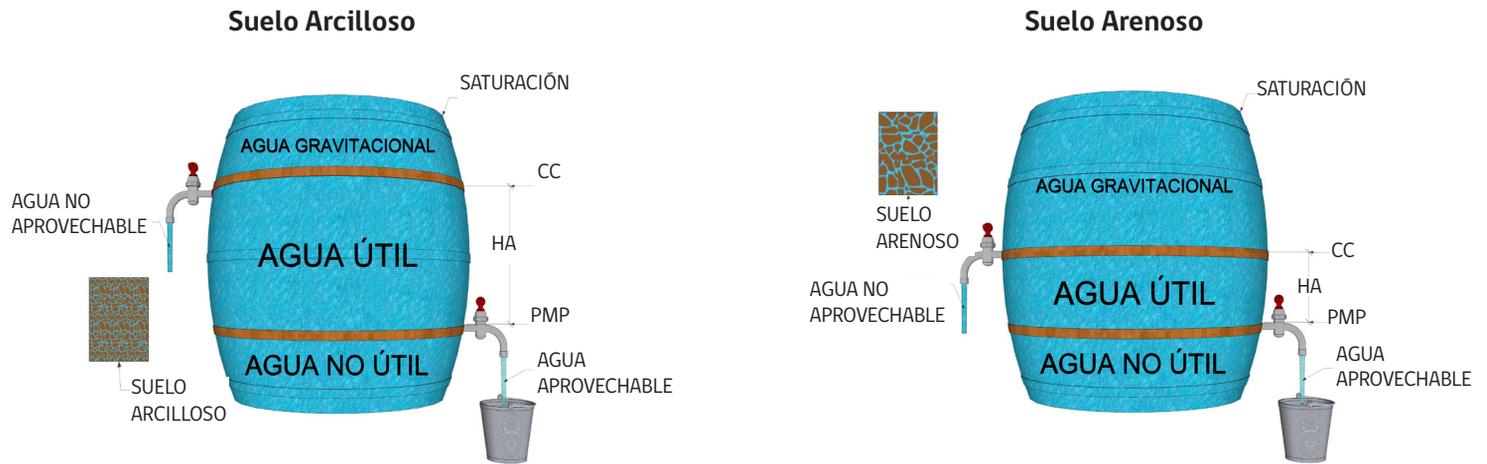


Figura 32. Retención de agua de un suelo arcilloso y arenoso.

Tabla 6. Humedad aprovechable para suelos presentes en las regiones de Biobío, Ñuble y Araucanía.

Tipos de suelo	Densidad aparente (g/cm ³)	Capacidad de campo (%)	Punto marchitez permanente (%)	Volumen de agua de agua aprovechable (litros de agua /m ³ de suelo)
Arenoso	1,55 - 1,80	6 - 12	2 - 6	90
Franco-Arenoso	1,40 - 1,60	10 - 18	4 - 8	120
Franco	1,35 - 1,50	18 - 26	8 - 12	170
Franco-Arcilloso	1,30 - 1,40	23 - 31	11 - 15	190
Arcilloso-Arenoso	1,25 - 1,35	27 - 35	13 - 17	210
Arcilloso	1,20 - 1,30	31 - 39	15 - 19	230
Trumao	0,90 - 1,24	45 - 60	15 - 33	280

6.4. Contenido de humedad del suelo

El contenido de humedad del suelo se refiere a la cantidad de agua presente en el suelo. La humedad del suelo depende exclusivamente de los aportes de agua que reciba éste y de la extracción de agua que tenga de acuerdo al tipo de cultivo presente en el predio.

6.5. Profundidad de raíces

La profundidad de raíces de un cultivo anual cambia rápidamente con el tiempo, a partir de emergencia a madurez (Figura 33). Por tanto, una adecuada programación del riego, requiere el conocimiento de la profundidad efectiva de raíces en cada período de tiempo analizado. Así, este valor determinará la profundidad del suelo desde donde se extrae agua. En otras palabras, si el

suelo tiene 1,80 m de profundidad, pero el cultivo está en una etapa temprana de desarrollo (por ejemplo, 20 cm de profundidad de raíces), el valor a considerar para el riego es 20 cm, es decir, donde se encuentran las raíces extractivas de agua. En el caso de frutales, una vez que las plantas se encuentran en su segundo año o más de producción, las raíces se encuentran establecidas y serán consideradas así para el resto de la temporada. Algunas profundidades de cultivos se pueden observar en Tabla 7.

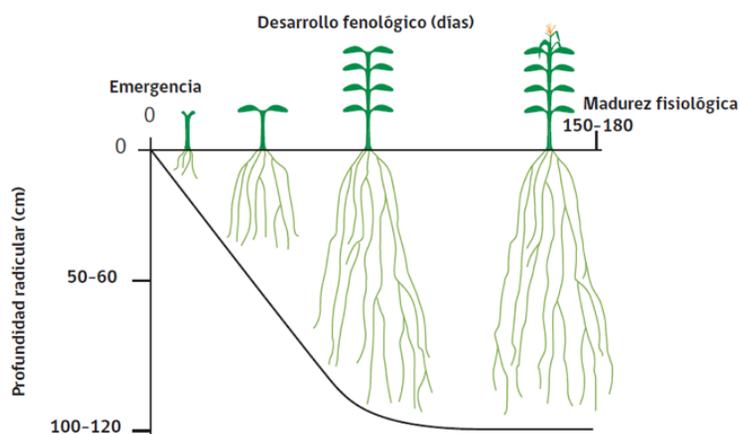


Figura 33. Profundidad de raíces para un cultivo anual, por ejemplo, maíz.

Tabla 7. Profundidad radicular para diferentes cultivos y la profundidad de manejo de riego.

Cultivo	Profundidad radicular (cm)	Profundidad de manejo del riego (cm)
Ajo, Ají	80	60
Alfalfa	150	90-120
Arándano, Frutilla	45-60	30-45
Brócoli, Coliflor	45-60	30-45
Espárragos	90-120	60-90
Granos pequeños	105	75-90
Maíz, Remolacha, Maravilla	120	75-90
Lechuga	50-80	60
Papas	60	45-60
Poroto Soya	120-150	75-90
Porotos	75	45-60
Tomate	30-90	30-60
Trigo invierno	120-150	90-100
Trigo primavera	100-120	80-90
Zanahoria	70-100	90

6.6. Periodos críticos de riego según cultivo

Es bien conocido que todo estrés hídrico producirá una disminución en los rendimientos y la calidad de los cultivos. Sin embargo, hay periodos fenológicos, en donde el efecto puntual de un estrés hídrico es mayor. Normalmente estas etapas corresponden a una fase de activo crecimiento, en un breve período de tiempo, donde ocurren grandes cambios de tamaño en algún componente de producción de la planta. Así, déficit hídricos suaves que hubiesen producido una disminución leve en el rendimiento final en otros periodos fenológicos del cultivo, causan grandes disminuciones en la producción si ocurren en algún período crítico al déficit hídrico. La Tabla 8 muestra para diferentes hortalizas, frutales y cultivos, los periodos críticos al estrés hídrico durante etapas fenológicas específicas.

Tabla 8. Diferentes periodos críticos al estrés hídrico durante etapas fenológicas específicas.

Hortalizas	
Arveja	Comienzo de floración y durante hinchamiento del capi
Berenjena	Floración y desarrollo del fruto
Brócoli	Desarrollo del pan o pella
Cebolla (bulbos)	Durante la formación del bulbo
Cebolla (semilla)	Floración
Coliflor	Requiere riegos frecuentes desde siembra a cosecha, especialmente durante el desarrollo del pan
Espárrago	Comienzo de emisión de follaje
Lechuga	Requiere riego durante todo su período vegetativo, en especial durante formación de la cabeza
Melón	Floración y desarrollo del fruto
Papas	Desde floración a cosecha, especialmente a inicios de la formación del tubérculo
Pepino	Desde floración a cosecha
Pimentón y ají	Desde floración a cosecha
Rabanito	Formación y crecimiento de la raíz

Repollo	Requiere riego durante todo su período vegetativo, en especial durante formación de la cabeza
Tomate	Floración a crecimiento rápido de los frutos
Zanahoria	Alargamiento de la raíz
Zapallo	Desarrollo del brote y floración
Frutales y hortofrutícolas	
Cerezos y duraznos	Período de crecimiento rápido del fruto que antecede a la madurez
Cítricos	Floración y formación del fruto
Damascos	Floración y desarrollo de los botones florales
Frutillas	Desarrollo del fruto a madurez
Olivos	Previo a floración, durante el crecimiento del fruto y último período de madurez de los frutos
Vides	Comienzo del crecimiento en primavera hasta pinta de las bayas
Cultivos	
Avena	Comienzo de emergencia de la espiga a completa espigadura
Alfalfa (semilla)	Inicio período de floración
Alfalfa y otras empastadas	A través de todo su período de crecimiento, en especial se recomienda aplicar agua inmediatamente después de un corte o talajeo
Maíz	Previo formación del polen, polinización y formación de la mazorca
Maravilla	Desde formación de flor a madurez de semilla
Remolacha (producción de raíces)	No existe indicación clara. Aparentemente durante los dos primeros meses después de emergencia
Remolacha (semilla)	Durante floración y desarrollo de la semilla
Trigo	Espigadura, formación de grano y dos semanas antes de floración

6.7. Frecuencia y tiempo de riego

6.7.1. Riego por surco

Control de caudal

El caudal a utilizar por surcos, debe ser el mayor posible siempre que no produzca arrastre y erosione el suelo en el surco, principalmente en la cabecera. El manejo de riego con caudales importantes permite acortar el tiempo de avance del agua desde la cabecera hasta el final del surco y, de esta manera disminuir las pérdidas por infiltración en la cabecera, aumentando la eficiencia de aplicación en la parcela.

La forma más sencilla de medir caudales es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. El flujo de agua se desvía desde la reguera hacia un surco mediante un tubo recto o un sifón que descarga en un recipiente de volumen conocido y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronómetro. Para los caudales de hasta 4 L/s, es adecuado un recipiente de 20 litros de capacidad de modo que conociendo el tiempo que demora en llenarse se puede estimar el caudal conducido (Figura 34). En Tabla 9 se presentan valores de referencia para este propósito.

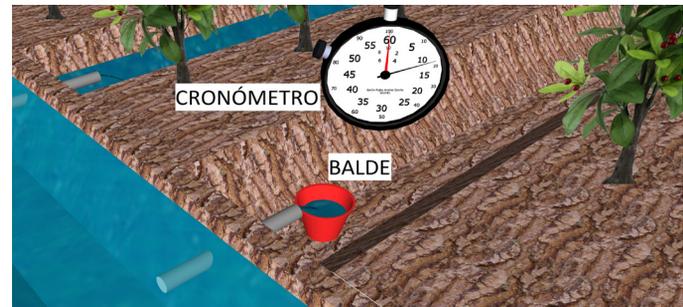


Figura 34. Medición de caudal en riego por surcos.

Tabla 9. Caudal del surco (L/s) según el tiempo de llenado de un balde de 20 litros.

Tiempo de llenado (segundos)	Caudal del surco (L/s)
200	0,1
67	0,3
50	0,4
40	0,5
27	0,8

20	1,0
16	1,3
13	1,5
11	1,8
10	2,0
9	2,3
8	2,5
7	2,8
6,5	3,0
6	3,3
5,5	3,5
5	4,0

Los caudales máximos no erosivos dependen en gran medida de la textura de suelo y la pendiente del terreno, a continuación se observan recomendaciones de los caudales máximos según tipo de suelo y pendiente en Tabla 10.

Tabla 10. Caudales máximos no erosivos.

Tipo de suelo	Pendiente del suelo (%)			
	0,1	0,2	0,3	0,5
	Caudal máximo no erosivo (litros/segundo)			
Suelo muy erosionable	1,1	0,45	0,25	0,12
Suelo poco erosionable	2,15	0,85	0,5	0,25

La frecuencia de riego permite establecer cada cuántos días se debe regar, procurando optimizar el uso del agua para maximizar la producción y calidad de los productos agrícolas. La frecuencia de riego depende, además de las características de la planta y medio ambientales, de las propiedades hidráulicas del suelo, método de riego y capacidad de retención de agua del suelo.

Algunos de los aspectos importantes a considerar es la evapotranspiración del cultivo (relación del agua consumida por las plantas) expresada en milímetros de altura de agua, la que se relaciona con la cantidad de agua transpirada por la planta y la evaporada desde el suelo. Una planta evapotranspira más cuando se encuentra bien hidratada (regada), fomentando su desarrollo y aumentando la producción. La evapotranspiración de cultivo se debe relacionar con la cantidad de agua útil o aprovechable del suelo en la profundidad efectiva de raíces (Tabla 9), para el período de crecimiento analizado. Por ejemplo, si el valor total de agua útil o aprovechable para la planta es de 75 milímetros en 60 centímetros de profundidad efectiva de raíces, implica que la planta puede llegar a disponer de 75 litros de agua por metro cuadrado de suelo a esa profundidad de raíces, que es equivalente a 750 metros cúbicos de agua por hectárea de terreno a igual profundidad. Si consideramos una evapotranspiración diaria de 7,5 mm, en teoría la capacidad del suelo se agotaría en 10 días. Sin embargo, en la práctica no se espera el agotamiento total del suelo para volver a regar sino que se considera una parte, con el fin de que el suelo disponga siempre de un contenido que no afecte significativamente el rendimiento del cultivo. Este valor es en promedio de un 50%.

En la Tabla 11 se muestran las frecuencias de riego para cultivos relevantes en la zona regados por surcos.

Tabla 11. Frecuencias de riego para cultivos regados por surcos en las regiones del Biobío, Ñuble y Araucanía.(*).

Región	Cultivo	Suelo														
		Arcilloso					Franco					Arenoso				
		Frecuencia de riego (días)					Frecuencia de riego (días)					Frecuencia de riego (días)				
		Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Biobío y Ñuble	Frutales	14	11	10	13	17	10	8	7	10	13	4	3	3	3	5
	Hortalizas	7	4	2	3	4	2	1	1	2	3	1	1	1	1	1
Araucanía	Maíz	12	7	7	9	-	10	6	6	7	-	2	1	1	2	-
	Leguminosas y tubérculos	12	6	4	6	9	9	5	3	4	7	3	1	1	1	2

(*). Los valores mostrados en esta tabla son solo referenciales y deben ser ajustadas de acuerdo a las condiciones de suelo y clima de cada predio.

El tiempo de riego permite establecer durante cuánto tiempo debo regar, procurando optimizar el uso del agua para maximizar la producción y calidad de los productos agrícolas. El tiempo de riego depende de las características de la planta y medio ambientales, de las propiedades hidráulicas del suelo, método de riego, capacidad de retención de agua del suelo y condicionado por el caudal que se aplica en la entrada del sistema. Para determinar el tiempo de riego se necesita conocer la capacidad de infiltración que tiene el suelo del predio, puesto que este hará variar el tiempo de oportunidad en las cuatro fases características

que posee un riego superficial (avance, almacenamiento, vaciado y receso) y permitirá conocer el tiempo óptimo para entregar la cantidad de agua que necesita el cultivo.

Dado que las eficiencias de aplicación de los riegos superficiales son bajas, entre un 30% a 50%, los tiempos de riego en ocasiones son excesivos puesto que de un 100% de agua utilizada para regar, un 70% a 50% se pierde por escorrentía, percolación profunda, evaporación, etc. En la Tabla 12 se muestran los tiempos de riego en horas para cultivos relevantes en la zona regados por surcos.

Tabla 12. Tiempos de riego para cultivos regados por surcos en las regiones del Biobío, Ñuble y Araucanía.(*)

Región	Cultivo	Suelo														
		Arcilloso					Franco					Arenoso				
		Tiempo de riego (h)					Tiempo de riego (h)					Tiempo de riego (h)				
		Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Biobío y	Frutales	8	15	22	14	8	5	9	13	10	5	1	2	4	2	1
Ñuble	Hortalizas	3	3	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Araucanía	Maíz	6	7	7	7	5	3	4	4	3	3	1	1	1	1	2
	Leguminosas y tubérculos	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1

(* Los valores mostrados en esta tabla son solo referenciales y deben ser ajustadas de acuerdo a las condiciones de suelo y clima de cada predio..

6.7.2. Riego por aspersión

Como en todo sistema de riego presurizado, en aspersión el caudal del emisor es de gran relevancia puesto que permitirá calcular la tasa de aplicación con que se está regando el cultivo y así el tiempo en que debe permanecer funcionando el equipo en cada postura. Para medir el caudal de un aspersor se debe disponer de un recipiente de unos 20 litros de capacidad, un cronómetro y una manguera para dirigir el agua que sale desde la boquilla del emisor hacia el recipiente o balde. La presión en el interior del aspersor es determinante en el caudal entregado y la distancia de mojamiento del emisor, por lo que debe también ser conocida mediante la inserción de un manómetro con adaptador cónico en la salida de la boquilla del aspersor (Figura 35). En la medida que la presión sea mayor, mayor será el caudal y el alcance del chorro, pero será el fabricante el que defina por catálogo los rangos de presión adecuados y los diámetros de boquillas posibles de usar.

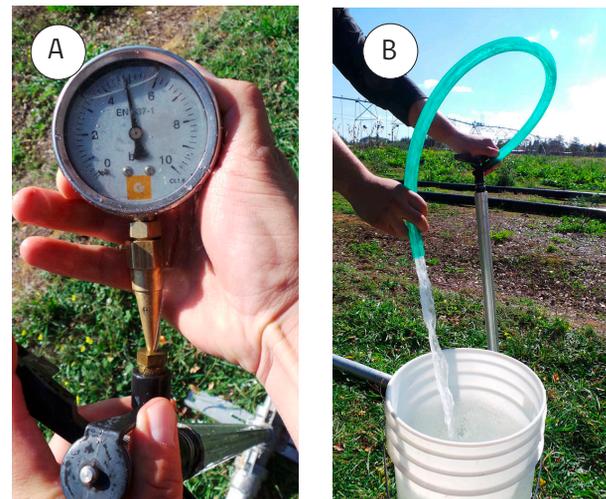


Figura 35. A) Medición de presión y B) caudal en riego por aspersión.

Tasa de aplicación: La tasa de aplicación es la cantidad de agua que precipita sobre el área a regar en un lapso de tiempo determinado, y se mide en milímetros de altura de agua por cada hora de riego (mm/h). Como una forma de facilitar los cálculos, la tasa de aplicación de un equipo de riego se considera como un valor promedio que asume una distribución de agua uniforme sobre toda el área regada. Es importante señalar que la tasa de aplicación de un sistema de riego por aspersión debe ser menor o igual a la velocidad con que el suelo es capaz de infiltrar el agua, con el fin de evitar inundaciones y posibles escurrimientos superficiales (Tabla 13). Desde el punto de vista de diseño, se deben barajar diferentes opciones de aspersores en las que un mayor alcance o radio de mojamiento proporcione una pluviometría o tasa de aplicación más baja puesto que una misma cantidad de agua se reparte en una mayor superficie.

Tabla 13. Tasas de aplicación máximas según tipo de suelo para riego por aspersión tradicional.

Tipo de suelo	Tasa de Aplicación máxima (mm/h)
Arcilloso	5
Franco-Arcilloso	8
Franco	10
Franco-Arenoso	12
Arenoso	25
Trumao	10

En la Tabla 14 se muestran ejemplos de tasa de aplicación con varias disposiciones y con tres caudales de aplicación del aspersor. Por ejemplo, si un sistema de riego por aspersión tradicional posee una distribución cuadrada o rectangular (Figura 36) con aspersores que entregan un caudal de 18 litros/minuto, con una disposición de 12x12 metros (distancia entre aspersores en el lateral x distancia entre laterales porta aspersores), la tasa de aplicación de ese sistema será de 8 mm/h, es decir, que por cada hora de riego el equipo aplica al cultivo 8 litros de agua por cada metro cuadrado de suelo.

Tabla 14. Tasas de aplicación según marco de disposición y caudal de los aspersores.

Marco de disposición aspersores (m x m)	Q (L/min)	Tasa de aplicación (mm/h)
9x12	18	10
12x12	18	8
12x15	18	6
9x12	48	27
12x12	48	20
12x15	48	16
9x12	60	33
12x12	60	25

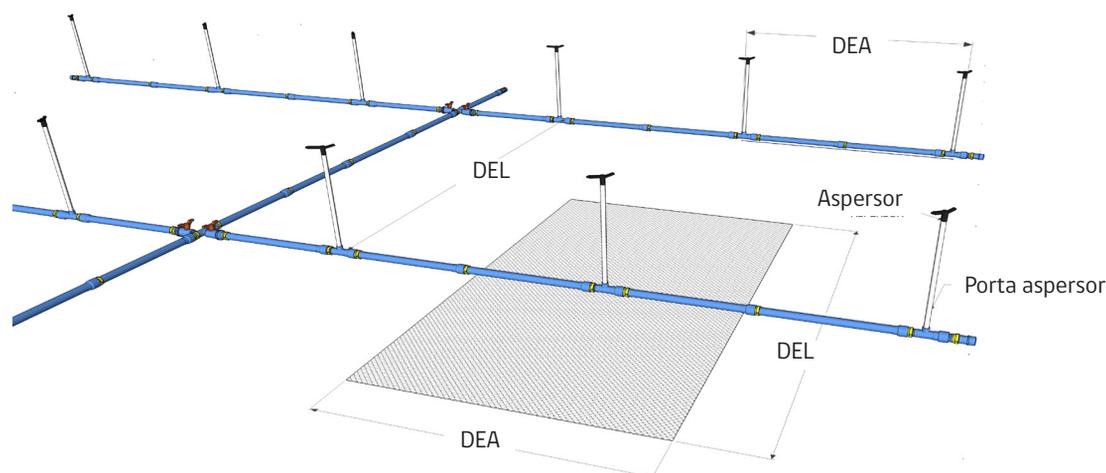


Figura 36. Disposición de aspersores en cuadrado o rectangular. DEL: distancia entre laterales y DEA: distancia entre aspersores.

En riego por aspersión tradicional la frecuencia de riego se determina de la misma forma que un riego superficial por surcos, puesto que la frecuencia depende de las características de la planta y medio ambiente, propiedades hidráulicas del suelo y su capacidad de retención de agua. Los valores habituales de frecuencias de riego se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Frecuencias de riego para cultivos regados por aspersión en las regiones del Biobío, Ñuble y Araucanía.(*)

Región	Cultivo	Suelo														
		Arcilloso					Franco					Arenoso				
		Frecuencia de riego (días)					Frecuencia de riego (días)					Frecuencia de riego (días)				
		Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Biobío y Ñuble	Empastadas	6	5	4	6	7	5	3	3	4	6	1	1	1	1	2
	Hortalizas	7	4	2	3	4	2	1	1	2	3	1	1	1	1	1
Araucanía	Cereales	12	7	7	9	-	10	6	6	7	-	2	1	1	2	-
	Empastadas	8	6	5	7	10	6	4	4	6	8	2	1	1	2	3
	Leguminosas y tubérculos	12	6	4	6	9	9	5	3	4	7	3	1	1	1	2

(* Los valores mostrados en esta tabla son solo referenciales y deben ser ajustadas de acuerdo a las condiciones de suelo y clima de cada predio.

El tiempo de riego en aspersión depende de las características de la planta y medio ambientales, de las propiedades hidráulicas del suelo, capacidad de retención de agua del suelo y condicionado por la tasa y eficiencia de aplicación del sistema de riego. Para determinar el tiempo de riego se necesita conocer la cantidad de agua que consume el cultivo diariamente, el número de días que no se ha regado, la eficiencia de aplicación del sistema de riego por aspersión tradicional (75%) y la tasa de aplicación del

sistema de riego, permitiendo conocer el tiempo óptimo para entregar la cantidad de agua que necesita el cultivo en cada etapa de su desarrollo.

Por ejemplo, si la eficiencia de aplicación del riego por aspersión es de un 75%, un 25% de lo aplicado se pierde principalmente por el viento y evaporación, en una menor proporción por escorrentía, percolación profunda, etc. En la Tabla 16 se pueden observar los tiempos de riego referenciales para cultivos relevantes en la zona.

Tabla 16. Tiempos de riego para cultivos regados por aspersión tradicional en las regiones del Biobío, Ñuble y Araucanía.(*)

Región	Cultivo	Suelo														
		Arcilloso					Franco					Arenoso				
		Tiempo de riego (h)					Tiempo de riego (h)					Tiempo de riego (h)				
		Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Biobío y Ñuble	Empastadas	3	5	7	8	8	2	3	4	5	5	1	1	2	2	2
	Hortalizas	4	4	3	4	4	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
Araucanía	Cereales	7	8	8	8	5	4	5	5	5	3	2	2	2	2	1
	Empastadas	3	5	7	7	8	2	3	4	4	5	1	1	2	2	2
	Leguminosas y tubérculos	5	4	5	5	5	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1

(* Los valores mostrados en esta tabla son solo referenciales y deben ser ajustadas de acuerdo a las condiciones de suelo y clima de cada predio.

6.7.3. Riego por goteo

Conocer el espaciamiento entre los emisores y el espaciamiento o la distancia entre las líneas de riego (Figura 37), es básico para determinar la tasa de aplicación o precipitación del equipo de riego. En riego por goteo, las distancias entre los emisores varían entre 10 cm o 0,1 m a 1,0 m o más, es decir, desde 10 goteros por cada metro lineal de tubería.

Otro dato importante es la separación entre las líneas de riego que no siempre equivale a la separación entre las hileras de cultivo, toda vez que en algunos frutales como paltos, nogales, cerezos, ciruelos, etc., cuyas hileras están separadas a más de 3 m, se tiende a utilizar más de 1 línea de goteo por hilera de plantación. En este último caso, para efectos de cálculo de la tasa de aplicación del equipo de riego, el espaciamiento de las laterales se considerará dividiendo la distancia entre las hileras de cultivo por el número de líneas de riego de cada hilera. Por ejemplo, en un cultivo cuyas hileras de plantación están separadas a 3 m y se disponen 2 líneas de riego por hilera, la separación entre ellas se considerará de 1,5 m, aunque en la práctica se dispongan una a cada lado de la hilera de cultivo. En hortalizas como el tomate, por ejemplo, se utiliza

una línea de riego por cada hilera de cultivo y la separación entre goteros dependerá de la distancia entre las plantas, aunque lo normal es utilizar goteros separados entre 0,2 m a 0,4 m. En el caso del cultivo de lechugas se utilizan goteros espaciados entre 0,1 m a 0,2 m.

La determinación de la tasa de aplicación del equipo de riego es fundamental para calcular los tiempos de riego o el tiempo que debe permanecer funcionando cada sector de riego. Para esto es necesario medir el caudal, en volumen por unidad de tiempo, que entrega un emisor promedio del sector de riego. Para medir este caudal en goteros es necesario disponer de un recipiente de unos 100 cc de capacidad, para recibir el agua entregada por el emisor, una probeta para medir el volumen de agua recogido y un cronómetro o reloj para registrar el tiempo de medición (Figura 38). En caso de usar un recipiente graduado, no será necesaria la probeta ya que se medirá el volumen recogido directamente en él. Para medir caudales de microaspersores y microjets se requieren los mismos materiales pero el recipiente deberá ser de más capacidad, por ejemplo 1 litro o 1.000 cc.

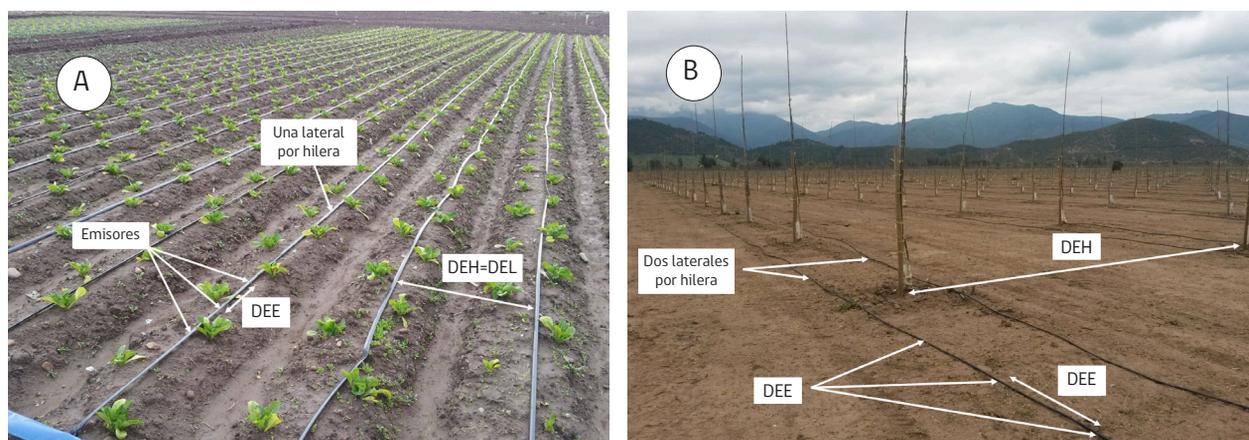


Figura 37. Distancia entre hileras (DEH), laterales (DEL) y emisores (DEE): A) una lateral por hilera y B) dos laterales por hilera.

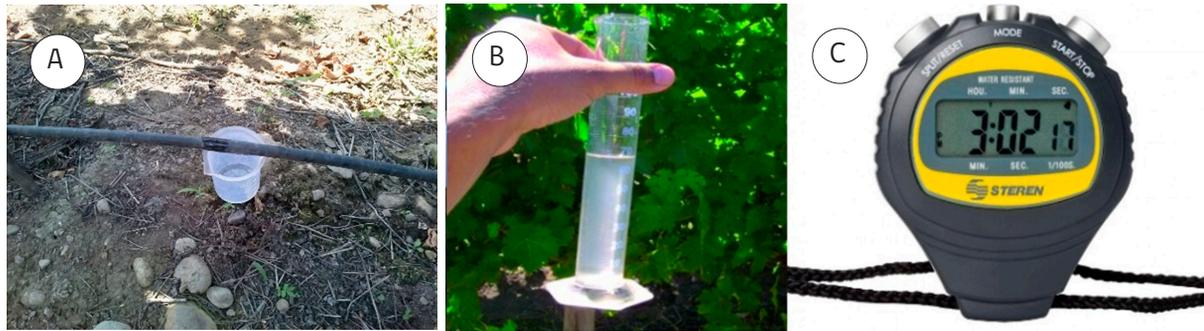


Figura 38. Medición de caudal : A) gotero sobre recipiente, B) probeta y C) cronómetro.

La Tabla 17 permite conocer fácilmente el caudal entregado por un gotero conociendo el tiempo que demora en llenarse un recipiente de 100 cc. La Tabla 18 muestra los tiempos y caudales para el caso de microaspersores y microjet.

Tabla 17. Caudal de un gotero (L/h) según el tiempo de llenado de un recipiente de 100 cc (0,1 litro).

Tiempo de llenado (segundos)	Caudal emisor (L/h)
360	1
180	2
90	4

Tabla 18. Caudal de un microaspersor o microjet (L/h) según el tiempo de llenado de un recipiente de 1000 cc (1 litro).

Tiempo de llenado (segundos)	Caudal emisor (L/h)
120	30
72	50
36	100

Una vez conocido el caudal del emisor, el siguiente paso para determinar la tasa de aplicación del equipo es medir la distancia en que se encuentran dispuestos los emisores sobre el cultivo tanto sobre la lateral de riego como entre las laterales de riego.

Supongamos un cultivo de tomates con emisores espaciados a 20 cm (0,2 m) sobre la línea de riego y una distancia entre hileras de plantas de 1,5 m y 1 sola lateral de riego por hilera de plantación. El área que corresponde a cada emisor será $0,2 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 0,3 \text{ m}^2$. Si después de medir el caudal de un emisor promedio resultó ser de 2 L/h, la precipitación del equipo será de $2 \text{ L/h} / 0,3 \text{ m}^2 = 6,7 \text{ mm/h}$. Si el caudal del emisor fuese la mitad, 1 L/h, la tasa de aplicación del equipo sería también la mitad, o sea, 3,3 mm/h. Si el número de laterales por hilera fuese 2, el área correspondiente a cada emisor será la mitad, lo que implica que la tasa de aplicación aumenta al doble.

En microriego se busca mantener permanentemente el suelo cercano a capacidad de campo, lo que se logra realizando riegos diarios en épocas de alta demanda de las plantas siempre que el suelo lo permita. En el inicio y final de la temporada los riegos podrían espaciarse aprovechando la capacidad de almacenaje del suelo. En este caso, la frecuencia de riego se

podría determinar de igual forma al riego por aspersión, si se opta por no regar diariamente. Se debe tener en consideración que las raíces de las plantas siempre se encontrarán restringidas al bulbo de humedecimiento generado por el emisor (Figura 39). El volumen humedecido es dependiente de la descarga del emisor, número de emisores por planta, textura de suelo y distancia de los emisores entre y sobre hilera de cultivo. Así, si se humedece el 50% del volumen total del suelo en cada riego, significa que la planta dispone efectivamente de la mitad del agua útil en la profundidad efectiva de raíces.

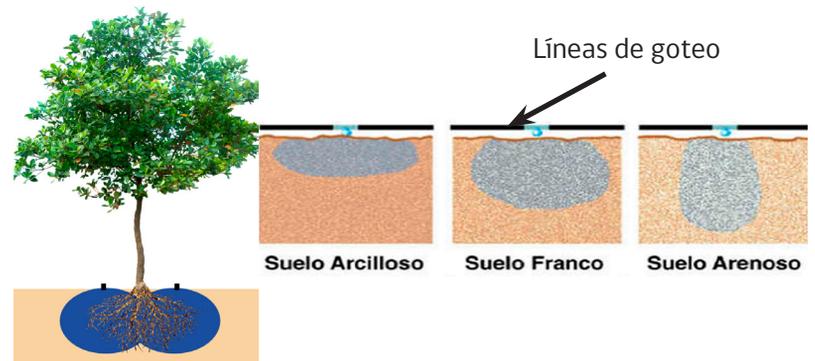


Figura 39. Bulbo húmedo en riego por goteo y cinta.

Tabla 19. Frecuencias de riego para cultivos regados por goteo en las regiones del Biobío, Ñuble y Araucanía.(*)

Región	Cultivo	Suelo														
		Arcilloso					Franco					Arenoso				
		Frecuencia de riego (días)					Frecuencia de riego (días)					Frecuencia de riego (días)				
		Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Biobío y Ñuble	Frutales	7	3	2	4	8	5	2	1	3	6	2	1	1	1	2
	Hortalizas	3	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Araucanía	Leguminosas y tubérculos	6	3	2	3	4	4	2	1	2	3	1	1	1	1	1

*) Los valores mostrados en esta tabla son solo referenciales y deben ser ajustados de acuerdo a las condiciones de suelo y clima de cada predio.

El tiempo de riego en goteo depende, además de las características de la planta y medio ambientales, de las propiedades hidráulicas del suelo, método de riego, capacidad de retención de agua del suelo y está condicionado por el caudal que se aplica a la planta o por la tasa de aplicación del equipo de riego. Para determinar el tiempo de riego se necesita conocer la cantidad de agua que consume el cultivo diariamente, el número de días entre cada riego (frecuencia de riego), la eficiencia de aplicación del sistema

de riego localizado (90% en goteo y cinta) y la tasa de aplicación del equipo.

Por ejemplo, si consideramos un huerto de frambuesas con una lateral por hilera, con goteros de 2 L/h en suelos arcilloso, franco y arenoso, un volumen de suelo humedecido del 50% y una distancia entre hilera y sobre hilera de los goteros de 3 m y 0,5 m, respectivamente, los tiempos de riego según la localidad donde se encuentre el cultivo, se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Tiempos de riego para riego por goteo con emisores de **2 L/h** en cultivo de Frambuesa con un marco de emisores de 3 m x 0,5 m.(*)

Región	Cultivo	Suelo														
		Arcilloso					Franco					Arenoso				
		Tiempo de riego (h)					Tiempo de riego (h)					Tiempo de riego (h)				
		Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Biobío y Ñuble	Frambuesa	4	2	3	4	4	4	2	3	2	3	2	2	3	2	3
Araucanía	Frambuesa	4	4	3	3	4	3	2	3	3	3	3	2	3	2	2

*) Los valores mostrados en esta tabla son solo referenciales y deben ser ajustados de acuerdo a las condiciones de suelo y clima de cada predio y espaciamiento entre y sobre hilera de los emisores.

Si consideramos un cultivo de manzanos con dos laterales por hilera, regado con goteros de 4 L/h en los mismos tipos de suelo del ejemplo anterior, un volumen de suelo humedecido del 50% y una distancia entre hilera y sobre hilera de los árboles de 4 m y 2 m, respectivamente, y un espaciamiento entre emisores de 0,5 m; los tiempos de riego según la localidad donde se encuentren se muestran en la Tabla 21.

Ahora, si analizamos un cultivo de hortalizas regado por cinta o con línea de riego de pared delgada con gotero integrado, con un marco de plantación de 0,75x0,2 metros en el caso de lechuga y 1,5x0,3 metros en tomate y considerando una línea por hilera con un espaciamiento de goteros de 0,2 m y 0,3 m en lechuga y tomate, respectivamente, y un caudal por emisor de 1 L/h, los tiempos de riego se muestran a continuación (Tabla 22).

Tabla 21. Tiempos de riego para riego por goteo con emisores de **4 L/h** en cultivo de Manzano con un marco de plantación de 4m x 2m.(*)

Región	Cultivo	Suelo														
		Arcilloso					Franco					Arenoso				
		Tiempo de riego (h)					Tiempo de riego (h)					Tiempo de riego (h)				
		Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Biobío y Ñuble	Manzano	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1
Araucanía	Manzano	2	3	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1

(* Los valores mostrados en esta tabla son solo referenciales y deben ser ajustados de acuerdo a las condiciones de suelo y clima de cada predio y espaciamiento entre y sobre hilera del cultivo.

Tabla 22. Tiempos de riego diario para cultivo de lechuga y tomate regados por cinta considerando un promedio de demanda de agua en las regiones de Biobío, Ñuble y La Araucanía.(*)

Cultivo	Tiempo de riego (min)				
	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Lechuga	13	23	36	32	22
Tomate	29	56	84	50	34

(* Los valores mostrados en esta tabla son solo referenciales y deben ser ajustados de acuerdo a las condiciones de suelo y clima de cada predio y espaciamiento entre y sobre hilera del cultivo.

7. RIEGO CON ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables son aquellas fuentes de energía que podemos encontrar de manera casi ilimitada en la naturaleza, y que su uso contribuye a cuidar el medioambiente, ya que generalmente no producen emisiones contaminantes. Entre las fuentes de energías que encontramos en esta categoría podemos

mencionar a la energía hidráulica, solar, eólica, geotérmica, de biomasa y mareomotriz. En la pequeña agricultura nacional, el mayor desarrollo y penetración en sistemas de riego lo ha tenido la energía solar fotovoltaica (FV), la que será desarrollada con mayor profundidad en este manual.



Bombeo de agua con energía eólica.



Aerogenerador.



Sistema fotovoltaico para riego



Rueda hidráulica y generador en canal de riego.

Figura 40. Algunos tipos de energía renovables relacionadas con el riego.

La incorporación de energías renovables en el sector silvoagropecuario tiene un gran potencial de aplicación, puesto que se pueden incorporar a diversos procesos productivos, como riego, ordeña, cámaras de frío, almacenamiento, etc., permitiendo un aumento en la competitividad de la agricultura a todo nivel, debido a una disminución de los costos o autonomía energética. En Chile, para los clientes conectados a la red pública, la incorporación de energía renovable que pueda ser producida por cada agricultor, cuando no es utilizada en el campo o se genera más energía de la que consume, puede ser inyectada al sistema eléctrico convencional, en el marco de la Ley 20.571 también llamada de Generación Distribuida o Generación Ciudadana. En palabras simples, mediante un dispositivo electrónico denominado medidor bidireccional, se puede medir cuánta energía está inyectando el sistema FV a la red troncal y cuánta energía está consumiendo el agricultor de esta red, lo que favorece económicamente a este último al disminuir su consumo de energía en la temporada o “cuenta de luz”. Para más información sobre esta modalidad se puede encontrar en la página web del Ministerio de Energía: www.minenergia.cl/ley20571/

Todas las instalaciones de energías renovables y eléctricas tradicionales, deben ser efectuadas por personal competente y de acuerdo a las normas de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, SEC (www.sec.cl). A esta misma institución del Estado se debe recurrir en el caso de problemas o inconvenientes con la empresa distribuidora local con la que se debe suscribir el contrato de suministro de energía.

7.1. Energía solar fotovoltaica (FV)

Este tipo de energía es la que recibimos directamente desde el sol como radiación solar, y se puede aprovechar en forma de calor y/o electricidad. La electricidad se genera gracias a las

propiedades de ciertos materiales que producen el movimiento de electrones al recibir luz (Silicio, por ejemplo) y se utilizan en celdas para fabricar paneles fotovoltaicos.

Las principales características de la energía solar, es que su comportamiento durante el día es conocido, y existen buenas fuentes de información para el dimensionamiento de los proyectos. En el sitio web www.minenergia.cl/exploradorsolar/ se puede explorar el recurso solar y realizar el cálculo para sistemas FV en cualquier zona del país.

La energía eléctrica que se produce en los paneles FV durante el día, la podemos utilizar en riego. Para ello es necesario contar con los equipos eléctricos que puedan convertir la energía desde los paneles para ser utilizada por la bomba (Figura 41) y el excedente puede ser almacenado en baterías o bien inyectado a la red eléctrica convencional, dependiendo de la configuración de cada proyecto.

Si la energía que se genera es inyectada a la red eléctrica convencional, el tipo de sistema se denomina **on grid** (Figura 42 A). Si la energía que se genera, no se inyecta a la red y sólo se utiliza para una red interna o un consumo aislado, como una bomba o una casa, este tipo de sistema se denomina **off grid** (Figura 42 B).

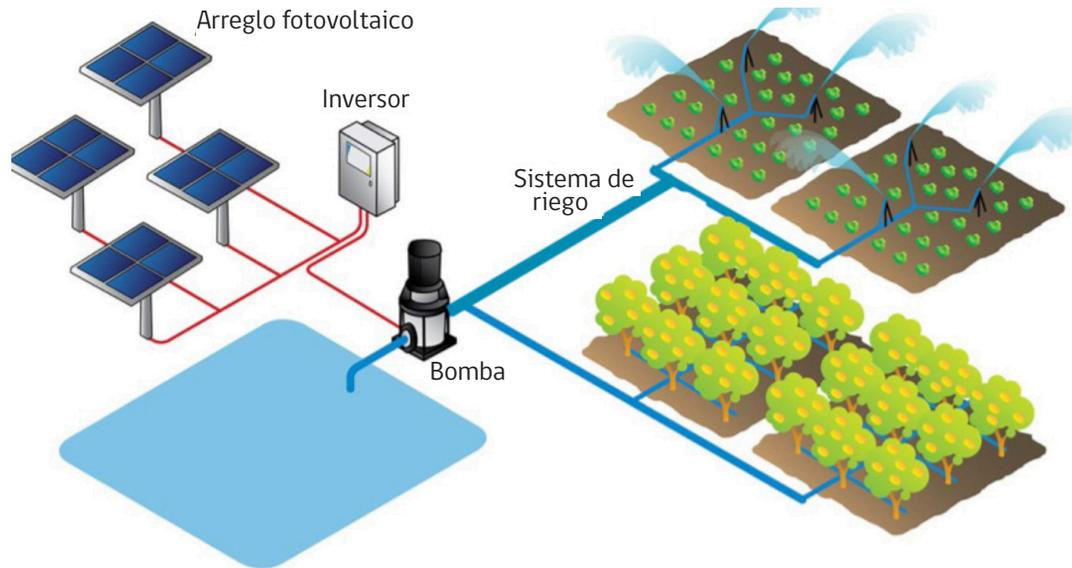


Figura 41. Esquema de un sistema de riego alimentado con energía FV.

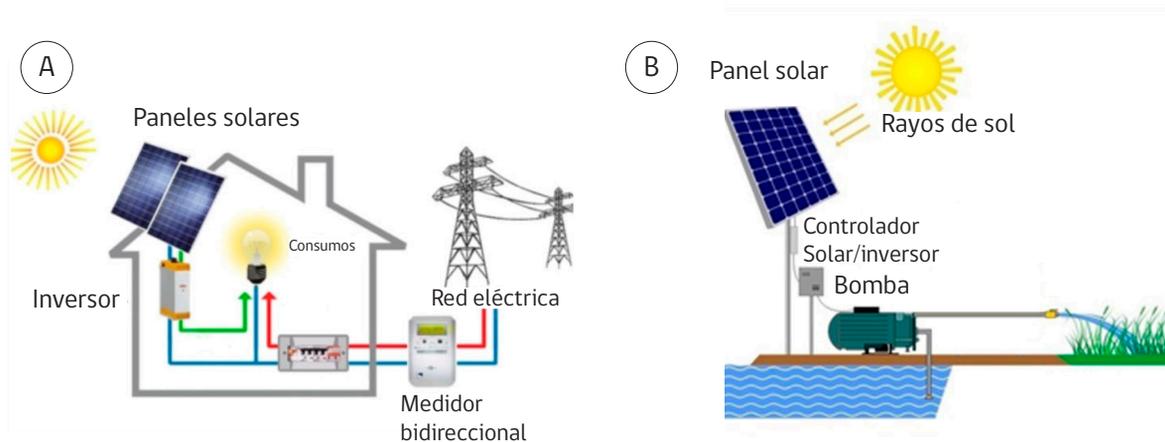


Figura 42. Configuración de un sistema FV: A) esquema de sistema on grid y B) esquema de sistema off grid para riego directo.

7.2. Descripción general de un sistema solar FV

Dependiendo de la configuración y la necesidad, los componentes del sistema FV pueden variar (Figura 43).

La configuración más sencilla incluirá paneles FV y un inversor o controlador que permita utilizar la energía directamente. Esto puede ser para autoconsumo e inyectar los excedentes a la red pública en un sistema on grid, o bien para bombeo, en un sistema off grid. En este último caso, se conectará el equipo de bombeo

directo a un controlador o inversor con variador de frecuencia, dependiendo del tipo de bomba, para utilizar el sistema sólo cuando haya luz solar.

Si se necesita utilizar energía fuera de las horas de sol, o utilizar una bomba, como si estuviera conectada a la red o un generador, se necesitará además de los elementos anteriores, un regulador de carga y baterías que almacenen la energía.

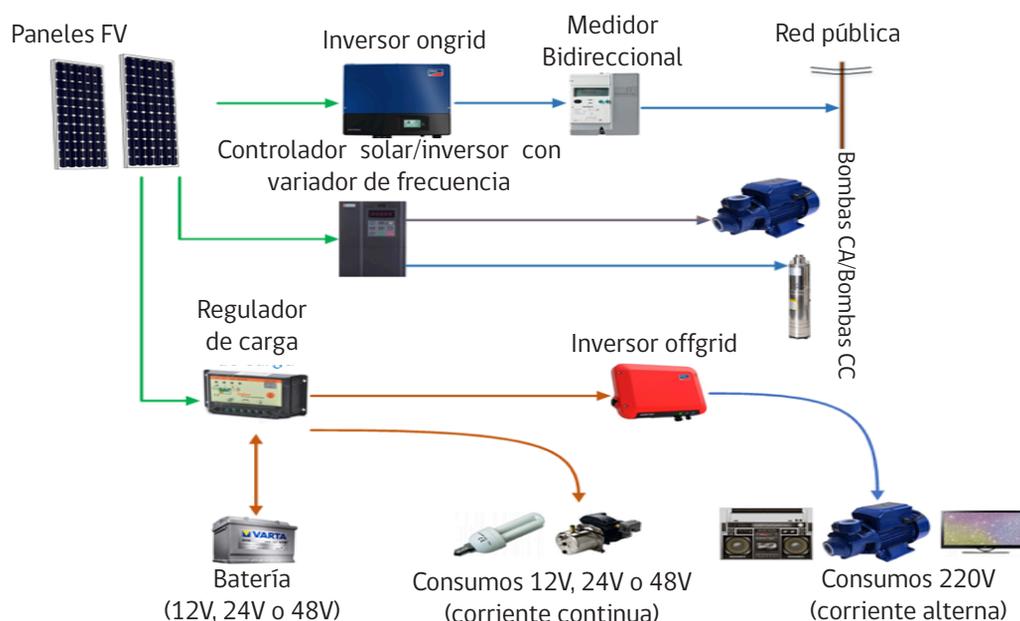


Figura 43. Componentes de un sistema solar FV.

7.2.1. Módulo fotovoltaico

El módulo FV es el corazón de cualquier tipo de instalación y está compuesto por celdas fotovoltaicas que se interconectan para formar un panel (Figura 44). Aquí es donde se convierte la energía del sol en energía eléctrica en corriente continua, la misma que se almacena en una pila o batería de auto o de celular.

Dependiendo del requerimiento energético, será necesario interconectar paneles para obtener la potencia necesaria que requiera el sistema. Al estar las celdas y los paneles interconectados, la limpieza del sistema y las sombras que puedan afectar son elementos fundamentales que se deben tener en consideración. De otra forma el sistema ve reducida su capacidad de operación.

Si bien la vida útil de los paneles FV es superior a los 25 años, la capacidad de los materiales empleados para la conversión de luz en energía eléctrica se reduce con el tiempo. Un buen panel no debiera perder más del 10% de esa capacidad a los 10 años y 20% a los 20 años, por lo que es necesario considerar este factor en el dimensionamiento de las instalaciones FV, y sobre todo en la calidad de los paneles, ya que este factor es importante en el desempeño del sistema en el tiempo.

Los paneles poseen una placa en la parte posterior que entrega información vital para el diseño y la selección de equipos (Figura 45).

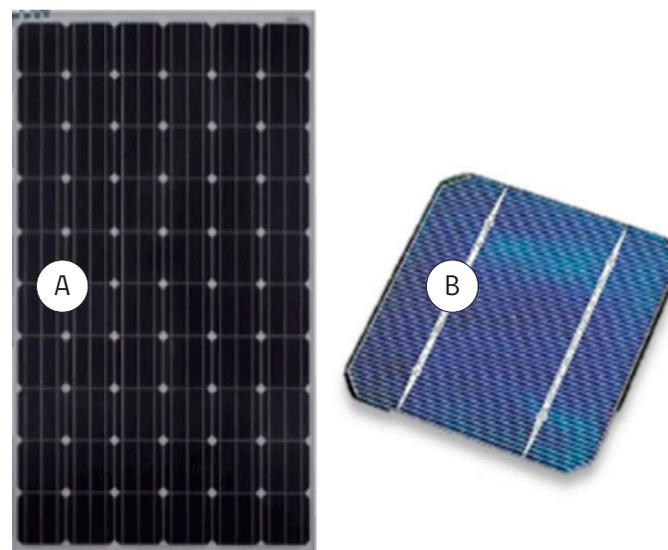


Figura 44. A) Panel fotovoltaico y B) celdas fotovoltaicas.

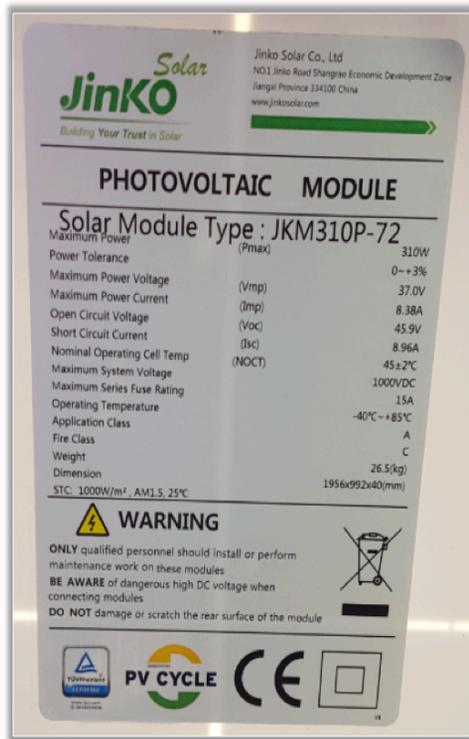


Figura 45. Placa informativa al reverso de un panel solar FV.

La mantención que se requiere es bastante sencilla, y consiste en mantener la limpieza de los paneles, y verificar que las conexiones eléctricas y anclajes se encuentren sin problemas.

Es recomendable que la limpieza se realice cuando los paneles se encuentren fríos -por las mañanas o por la noche- con un paño suave y húmedo, solo con agua, o con goma limpiavidrios, que permita la remoción de polvo, partículas y otros tipos de elementos (excremento de aves, por ejemplo), y posteriormente secar si fuese necesario. No es recomendable el uso de productos químicos o abrasivos que no estén expresamente recomendados por el fabricante, ya que estos pueden causar daño o disminuir la eficiencia del panel.

La periodicidad de la limpieza dependerá del lugar donde se emplacen los paneles. Si es cercano a caminos sin pavimentar o zonas con mucho polvo, la frecuencia de limpieza debiera ser mayor. Siempre es necesaria la realización de una inspección visual periódica para determinar la necesidad de limpieza.

Lo que nunca se debe realizar es la desconexión de los paneles, porque se pueden producir quemaduras u otros graves daños a las personas.

7.2.2. Inversor

Para utilizar la energía que se produce en los paneles FV o se encuentra almacenada en baterías (corriente continua), es necesario cambiar los parámetros eléctricos (tensión, intensidad, frecuencia) que se requieren para ser utilizada en sistemas convencionales (corriente alterna). Esta conversión se realiza dentro del inversor por medio de electrónica, con una alta eficiencia, sobre 96% (Figura 46).



Figura 46. Diferentes modelos de inversores.

El inversor permitirá que la energía que podamos obtener de los paneles FV o baterías, sea ocupada directamente por el equipo que queramos utilizar o inyectada a la red pública cuando tengamos excedentes.

Los inversores son equipos robustos y con poca intervención del usuario. La mayoría solo posee un interruptor de encendido y apagado e indicadores de funcionamiento, cuando están inyectando energía o de alarmas en caso de falla. Su vida útil es superior a los 10 años.

Los elementos fundamentales para la elección de un inversor son la potencia demandada, por ejemplo, por el equipo de riego, y la aplicación en que se utilizará. Un inversor para inyección a la red (on grid) no sirve para aplicaciones off grid.

Como la mayoría de los equipos que utilizamos con energía convencional funcionan con un suministro continuo y estable (bombas, ampolletas, radios, etc.), en los casos en que no exista red pública (off grid) deberemos agregar elementos electrónicos que permitan hacerlos funcionar. Esto se puede realizar de 2 maneras:

a) La configuración convencional off grid, almacena en baterías la energía que se produce en los paneles durante el día, y desde ahí,

se consume en 12 V /24 V, o bien el inversor extrae la energía en corriente continua para realizar la conversión a corriente alterna.

b) En riego, también se puede conectar un inversor con variador de frecuencia, directo a una bomba. Esto permite que la bomba funcione con una velocidad variable, por lo que el caudal y presión que se tengan no serán constantes. Esta aplicación es muy útil para la elevación y acumulación de agua, o el riego con sectores diseñados especialmente para cada valor horario.

7.2.3. Regulador de carga

Este dispositivo se encarga de controlar, por medio de electrónica, la energía que ingresa a las baterías, y regula permanentemente la intensidad de carga para alargar la vida útil de las baterías (Figura 47).

Su función es evitar sobrecargas y sobredescargas profundas de las baterías. Poseen una salida de energía en 12 V /24 V que puede ser conectada directo a consumos en esa tensión o a un inversor para utilizar equipos convencionales (usualmente 220 V).

La mayoría de estos equipos poseen un display o indicadores, que entregan al usuario información acerca del funcionamiento y estado del sistema. Según los valores que presente, se podrá saber si el sistema puede ser utilizado, cuanta carga falta, si existen fallas, etc.

La elección del regulador de carga dependerá de los parámetros técnicos que especifiquen los paneles, ya que existe restricción directa en este requisito.

Existen reguladores individuales, y también los hay integrados con inversores para aplicaciones off grid.

Dado que los inversores y reguladores de carga realizan su trabajo por medio de electrónica, en caso de fallas, la mayoría de las



Figura 47. Ejemplos de reguladores de carga.

veces es necesario el reemplazo del equipo, ya que su reparación es compleja o debe ser realizada por técnicos especializados.

Por esto es muy importante que, para extender su vida útil, los equipos estén bien dimensionados, instalados con los elementos correspondientes (cables y conectores) y los sistemas cuenten con las protecciones eléctricas necesarias.

7.2.4. Almacenamiento de energía

Cuando tenemos sistemas off grid, con almacenamiento de energía excedente, es clave la buena elección de la unidad de almacenamiento. El mayor desarrollo tecnológico en los últimos años en materia de energías renovables ha estado enfocado en cómo almacenar la energía que podemos obtener de la naturaleza para poder utilizarla posteriormente en distintos momentos, o para usarla con equipos que no funcionan si no es con un suministro continuo.

Actualmente los medios de almacenamiento más utilizados en instalaciones solares son las baterías, dentro de las cuales encontramos de gel, plomo ácido, OPZS, entre otras (Figura 48).

Dado que el proceso de almacenamiento de energía en las baterías se realiza por medio de una reacción química, existe una cantidad limitada de ciclos (carga-descarga) para su utilización.



Figura 49. Distintos tipos de baterías para sistemas fotovoltaicos.

Dependiendo del uso que se les dé a las baterías, estas se clasifican en ciclo profundo o ciclo corto.

Una batería de uso automotriz, por ejemplo, está diseñada para entregar una gran cantidad de energía, cercana a su capacidad nominal, en un breve periodo de tiempo, y posteriormente se vuelve a cargar, por lo que se denomina de ciclo corto. En aplicaciones donde se requiere un suministro constante de energía -una baja fracción de la capacidad nominal de la batería- por un período de tiempo largo, de 10 horas, por ejemplo, antes de proceder a su carga, se denomina ciclo profundo, ya que estas baterías están diseñadas para ser descargadas regularmente. Típicamente pueden descargarse entre un 50% y un 80%. Aunque se pueden descargar por debajo del 20%, no es recomendable hacerlo de manera periódica, ya que esto acorta la vida útil de la batería. Dado el volumen de energía que permiten almacenar cada una de las baterías, el cual es limitado, se deben interconectar entre ellas para aumentar su capacidad, formando un grupo o banco de baterías, que permite almacenar la energía que el sistema necesita (Figura 49).



Figura 49. Banco de baterías de ciclo profundo.

El tipo y número de baterías debe determinarse adecuadamente, sobre todo porque son el componente del sistema que menor vida útil puede presentar.

Un banco de baterías que se cargue y descargue muchas veces a la máxima capacidad, reducirá su vida útil. Un banco de baterías dimensionado para descargarse menos de un 50% de su capacidad extenderá considerablemente su vida útil. Estos valores se programan y controlan en el regulador de carga.

Otro de los factores que afecta la vida útil de las baterías es la temperatura, por lo que deben ser instaladas en lugares donde se las proteja del frío y calor, y cuenten con una buena ventilación.

Las baterías convencionales de autos o maquinaria agrícola

no están diseñadas para soportar ciclos de carga y descargas continuos por lo que no deben ser utilizadas en sistemas FV.

7.2.5. Medidor bidireccional

Cuando estamos frente a un sistema on grid o conectado a red, es necesario contar con un dispositivo que pueda registrar tanto los consumos de energía desde la compañía eléctrica como las inyecciones hacia ella que genere nuestro sistema, con el objeto de que se puedan valorizar ambos valores en la cuenta de consumo mensual. Este dispositivo es el denominado medidor bidireccional (Figura 50).

El cambio de medidor (o su reprogramación en el caso de los trifásicos) debe ser realizado por instaladores de la compañía distribuidora respectiva.



Figura 50. Medidores eléctricos bidireccionales, monofásicos y trifásicos.

7.3. Configuraciones típicas

La incorporación de energías renovables en riego presenta varias alternativas de implementación y diseño. Tradicionalmente, los primeros sistemas de riego abastecidos eléctricamente con energías renovables se utilizaron para elevar agua a un estanque o acumulador en altura y, desde ahí, ser distribuida para regar con la presión dado por el desnivel respecto a la zona cultivada. Estos sistemas utilizaron bombas especiales llamadas normalmente "bombas solares", de corriente continua, y diseñadas para funcionar con energías renovables.

En los últimos años, el avance tecnológico y electrónico ha permitido el desarrollo de inversores con variadores de frecuencia que permiten el uso de bombas convencionales de corriente alterna en la implementación en este tipo de sistemas de riego con acumulación, por lo que su implementación se ha extendido, principalmente debido a que es menor la cantidad de elementos que se requieren para operar: paneles FV y el inversor-variador para la bomba. Esta modalidad permite regar mientras se tenga agua suficiente en el acumulador (Figura 51).

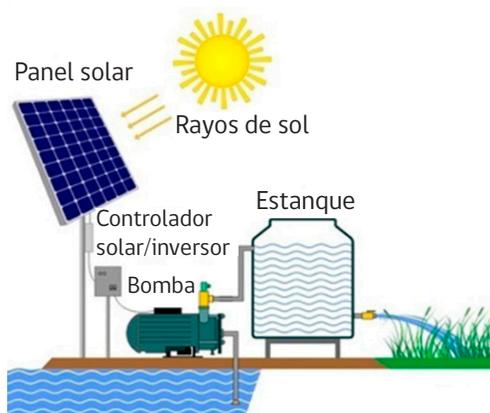


Figura 51. Sistema FV de riego con acumulación.

También se pueden implementar sistemas de riego directo, con este mismo tipo de inversor-variador de frecuencia, dimensionando los sectores de riego para el sistema FV. Para esto se diseñan los sectores de riego de acuerdo a la curva de producción energética del arreglo FV, o se puede sobredimensionar este último para extender la operación del sistema de riego la mayor cantidad de horas del día con el fin de utilizar un caudal y presión homogéneos. En esta modalidad se puede regar sólo cuando exista radiación solar (Figura 43 B). Cuando no hay posibilidad de conexión a red y no es posible regar sólo durante las horas de sol o no se puede acumular agua en altura para presurizar el riego, se debe necesariamente instalar un sistema FV con acumulación de energía en baterías (Figura 52).

Para esto es fundamental que el diseño y dimensionamiento del sistema FV y baterías se realice en función de la demanda eléctrica del sistema de riego (potencia de la bomba, en kW, multiplicada por las horas de riego). En este caso, el requerimiento energético de bombeo en horas de poca radiación o de noche, deberá ser satisfecho completamente por las baterías, las que deberán ser cargadas por el arreglo FV. Si se quiere energizar un sistema convencional, que cuenta con suministro eléctrico desde la red pública, y utilizar los beneficios de la ley de Generación Distribuida o Generación Ciudadana (Ley 20.571), se puede incorporar el uso de energías renovables para autoconsumo. Esto implica determinar la demanda energética del sistema de riego y luego dimensionar el sistema FV para esa demanda (Figura 53).

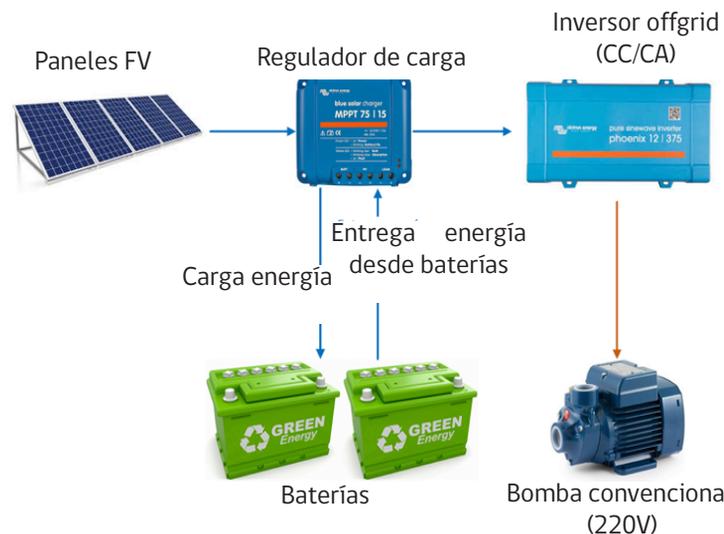


Figura 52. Sistema FV de bombeo en corriente alterna con almacenamiento en baterías (off grid).

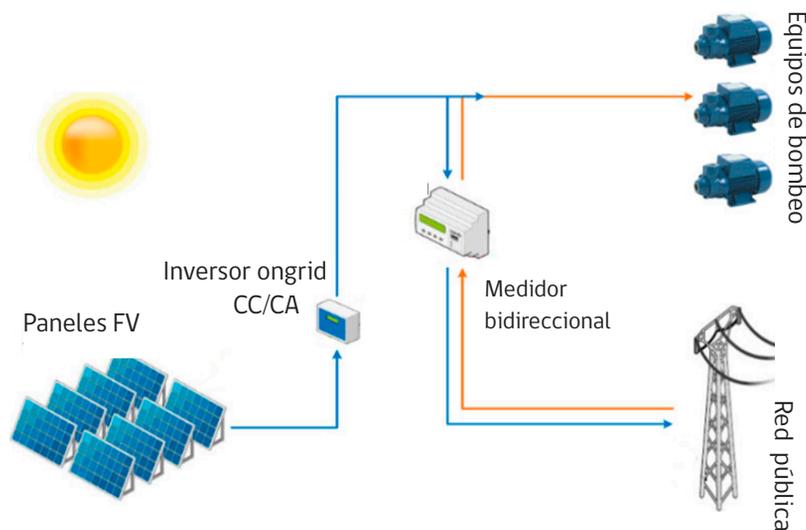


Figura 53. Sistema FV de bombeo en corriente alterna con inyección a red (on grid).



PROGRAMA

CAPACITACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN RIEGO PARA PEQUEÑOS AGRICULTORES EN LAS REGIONES DEL BIOBÍO Y LA ARAUCANÍA

Comisión Nacional de Riego
Av. Libertador Bernardo O'Higgins 1449, torre 1, piso 4
Santiago, región Metropolitana
Fono: (56-2) 2 425 7990
www.cnr.gob.cl



CHILE LO
HACEMOS
TODOS

yo
cuido
el agua