Manual de **riego para agricultura**

de **zonas áridas** en el norte de Chile

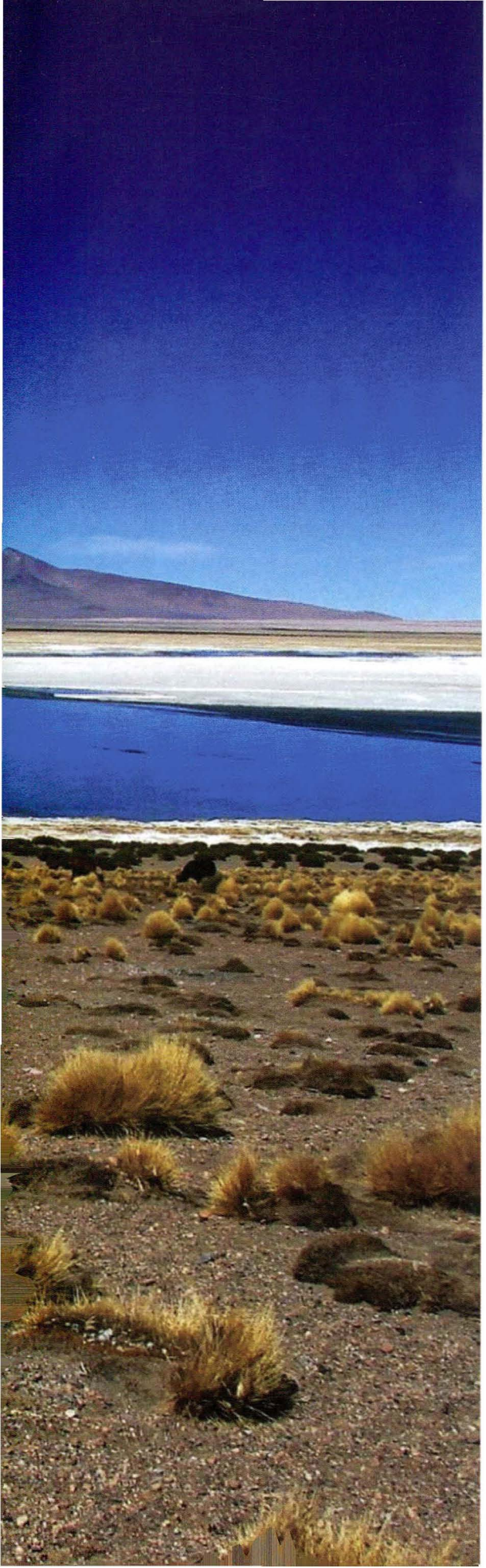
2020

CNR
Ministerio de Agricultura

Gobierno de Chile

Mejor Riego para Chile

yo cuido el agua



Manual de **riego** **para** **agricultura** de **zonas áridas** en el norte de Chile

Autores:
Óscar Reckmann Anselmo
Ingeniero agrónomo,
M. Sc. en riego y drenaje
Universidad de Concepción

José Vial Recabarren, Sicólogo
Universidad Academia de Humanismo Cristiano

Andrés Arriagada Puentes, Sociólogo
Universidad de Concepción

Periodista:
Francisco Fabres Bordeu
Periodista P. Universidad Católica de Chile
M. Sc. en comunicación social
Universidad de Chile

Diseño, diagramación e ilustraciones:
Juan Pablo Fuentes Arenas
Publicista Universidad Uniacc

Guillermo Uribe Villalobos
Diseñador Universidad de Los Lagos

Supervisor del programa:
José Vial Recabarren, Sicólogo
Comisión Nacional de Riego

La ejecución del programa y la elaboración de este material de apoyo a la capacitación ha estado a cargo de la consultora Asagrin Limitada.

Para efectos de facilitar la lectura de este documento y de acuerdo a las normas gramaticales vigentes, solo se utilizará el género masculino para referirse a ambos géneros.

El presente manual ha sido elaborado en el marco de la ejecución de la iniciativa de TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA PARA MEJORAR EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA EN LA COMUNA DE CALAMA desarrollada por la Comisión Nacional de Riego, que tiene como objeto promover la asistencia técnica, capacitación y el seguimiento en el uso de tecnologías de riego adquiridas por pueblos originarios, pequeños y medianos agricultores.

Este documento de apoyo se divide en 5 capítulos donde se explican los aspectos técnicos básicos para manejar el riego en las zonas áridas. Se utilizó un lenguaje sencillo para que todos lo entiendan y si hay algo muy difícil las personas pueden consultarlo con un asesor técnico que los ayude.

Además de los capítulos de contenido técnico, se incorporaron dos tipos de recuadros o textos para mostrar casos reales que sirven de ejemplos de lo que se puede hacer, y también dar la visión de especialistas con mucha experiencia en el tema.

Índice de contenidos

PRESENTACIÓN 7

CAPíTULO I: Infraestructura de riego intrapredial 8

1.1. Pequeños embalses o estanques de acumulación de agua 9

1.2. Compuertas u obras de derivación 10

1.3. Canales u obras de distribución 11

CAPíTULO II: Métodos de riego para zonas áridas 12

2.1. Riego por bordes 13

2.2. Mejoras en el riego por bordes o Era 16

2.3. Riego por goteo 17

2.4. Sistema de raíz flotante 18

CAPíTULO III: Lo que hay que saber para invertir en un sistema de riego tecnificado 20

3.1. ¿Con qué fuentes de agua cuento en el predio? 21

3.1.1. Identificar la fuente de agua 21

3.1.2 Distancia entre la fuente de agua y el sector de riego 21

3.1.3. Recorrido de la tubería matriz 21

3.2. ¿Cuánta agua tengo disponible en el predio? 22

3.3.¿Cuáles son las fuentes de energía en mi predio? 23

3.3.1. Energía eléctrica 24

3.3.2. Energía solar 25

3.3.3. Energía gravitacional 26

3.3.4. Generadores diésel 26

3.4. ¿Cuál es el cultivo que voy a regar? 27

3.5. ¿Cuánta agua va a requerir mi cultivo? 27

3.6. Con el agua que tengo, ¿qué superficie puedo regar? 29

3.7. ¿Cuánto es el costo de inversión y ejecución de la obra que necesito? 31

CAPíTULO IV: Gestión de la Calidad del Agua 32
4.1. Aspectos básicos que definen la calidad de agua 33
4.2. La gestión de calidad de aguas en Chile 37
4.3. Oportunidades de gestión 41
4.3.1. Gestión de calidad de aguas a nivel territorial 41
4.3.2. Gestión de calidad de aguas a nivel local 48
4.3.3. Gestión de calidad de aguas a nivel predial 51

CAPíTULO V: Tecnología para el monitoreo y mejoramiento de la calidad de aguas 56
5.1. Efecto de las sales sobre el cultivo 57
5.2. Medición, monitoreo y seguimiento de salinidad en agua de riego 60
5.3. Algunas recomendaciones para defenderse del problema de las sales 63
5.4. Osmosis inversa para bajar el nivel de sales 64

PALABRAS FINALES 68

BIBLIOGRAFÍA 69

Presentación

La agricultura de riego es el aporte de las necesidades de agua a los cultivos mediante diversos métodos para su aplicación. En zonas áridas es aun más importante entregar la cantidad y calidad de agua precisa en el momento adecuado, optimizando así el uso de este recurso.

Para alcanzar este objetivo se requiere de inversiones en infraestructura de riego, como canales, marcos partidores, compuertas, estanques de acumulación, riego por aspersión, riego por goteo y otros que exigen, a su vez, un conocimiento técnico y el desarrollo de habilidades y competencias para su manejo y operación.

Este manual entrega criterios y conceptos que facilitan la toma de decisiones en la selección, adaptación y manejo eficiente de un sistema de riego, según las condiciones de cada predio. El presente documento está orientado hacia agricultores que deseen adquirir conocimientos y dominio en el manejo del agua, así como en la operación y mantención de los sistemas de riego mecanizado.

Los contenidos desarrollados en este documento consideran una descripción general de los métodos existentes y adecuados para el riego en zonas áridas, además de aspectos de manejo de calidad del agua y restricción hídrica, condición crítica de los sistemas productivos insertos en los ecosistemas de zonas desérticas.

El lector contará con material de autoayuda para enfrentar aspectos de manejo del agua a nivel predial, como recomendaciones, criterios y herramientas para apoyar sus actividades diarias, con el fin de maximizar la productividad de sus cultivos y aumentar la competitividad de su negocio.

Capítulo I

Infraestructura de riego intrapredial

El buen uso y ahorro de agua en los sistemas de riego a nivel de campo se inicia con el agua que nace del río y realiza su recorrido hasta llegar a la entrada del predio. Revestimientos de canales, obras de conducción, obras de distribución y captación son determinantes en la disminución de pérdidas y mayor eficiencia en el sistema durante ese trayecto.

Los sistemas productivos bajo riego a nivel predial pueden incluir distintos tipos de infraestructura para la distribución y acumulación de agua, que revisaremos en las páginas siguientes.

1.1. Pequeños embalses o estanques de acumulación de agua

Estas obras se construyen con el fin de disponer de una reserva y regular el riego, especialmente cuando existen turnos entre los agricultores.

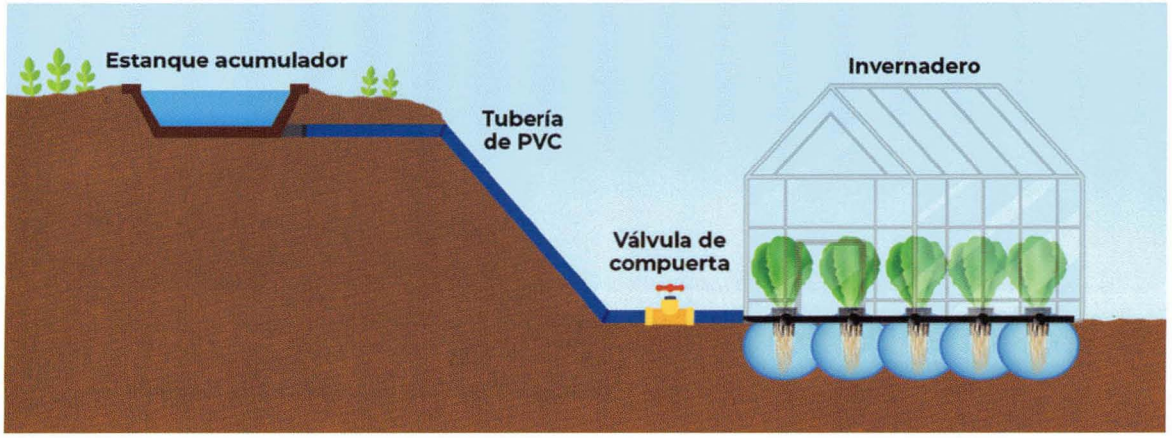


Figura 1. Se puede aprovechar el desnivel para otorgar presión a la red de riego por goteo en el invernadero.

Un agricultor de Chiu-Chiu cuenta con una obra de acumulación de agua con capacidad para 120.000 litros. Actualmente el agricultor riega una superficie aproximada de media hectárea, en la que cultiva lechuga bajo plástico y alfalfa.

Figura 2. Estanque revestido con geomembrana de 120.000 litros de capacidad.

Es conveniente, como una buena práctica agrícola, tener conocimiento de la superficie posible de regar de acuerdo al volumen de agua embalsada en un estanque. En la tabla siguiente se presentan los tamaños típicos de los estanques existentes en la zona, se indican sus dimensiones -largo, alto y ancho-, además de su capacidad de acumulación y la superficie diaria de cultivo de hortalizas que puede regar cada uno de ellos.

La Corporación Nacional de Desarrollo Indígena, CONADI, entrega cada año subsidios para obras de riego y drenaje, entre ellas, obras de acumulación de agua y obras que permiten potenciar las actividades agrícolas. Para más información, visite la página web: www.conadi.gob.cl

Tabla 1. Superficie de hortalizas (hectáreas) posible de regar según capacidad de acumulación del estanque.

Dimensiones del estanque			Capacidad de contenido (litros)	Hectáreas posible de regar	
Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad de agua (m)		Riego por tendido	Riego por goteo
18	6	3	324.000	2,58	4,65
12	4	2	96.000	0,77	1,38
10	4	2	80.000	0,64	1,15
8	3	2	48.000	0,38	0,69

Fuente: elaboración propia.

1.2. Compuertas u obras de derivación

Estos dispositivos permiten el desvío de las aguas desde una corriente principal, permitiendo la entrada al predio en la cantidad que le corresponde.

Figura 3. Para el ingreso del agua desde el canal al cultivo en la terraza se utiliza una compuerta.

Figura 4. El agua ingresa a la terraza y manualmente mediante pala se distribuye el agua en la "Era".

Según la zona del país, existen compuertas diseñadas en madera o metal acordes con el recurso hídrico disponible para el productor. La vida útil de estos dispositivos depende del cuidado que se les dé en la operación y de la mantención periódica.

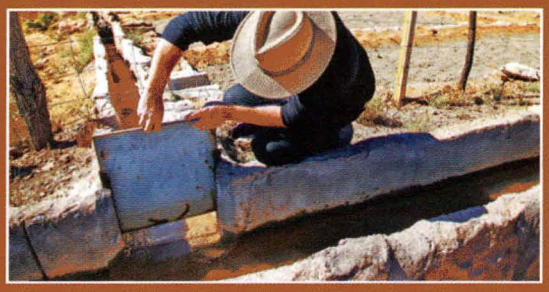


Figura 5. Compuerta metálica que permite la distribución del agua de riego al interior del predio.

Compuerta ubicada en Chiu-Chiu, cuya operación es en forma manual, lo que permite regular el flujo de agua y su distribución hacia los distintos sectores del predio.

1.3. Canales u obras de distribución

Estas obras permiten la distribución del agua, conduciéndola hacia los sectores de cultivo. En la medida que cuenten con algún tipo de revestimiento, que se encuentren libres de malezas y que no haya elementos que puedan obstruir el flujo, su funcionamiento será adecuado, reduciendo significativamente las pérdidas de agua durante la conducción.

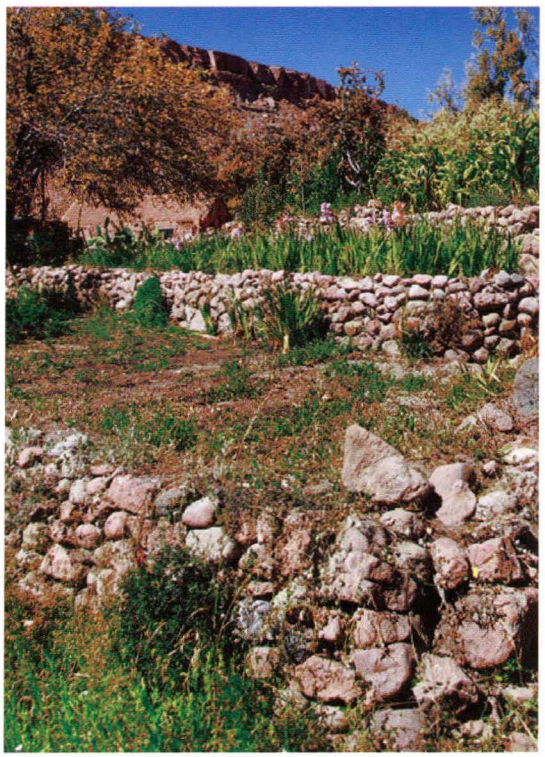


Figura 6. En las terrazas se utilizan canales de distribución para la entrega del agua.

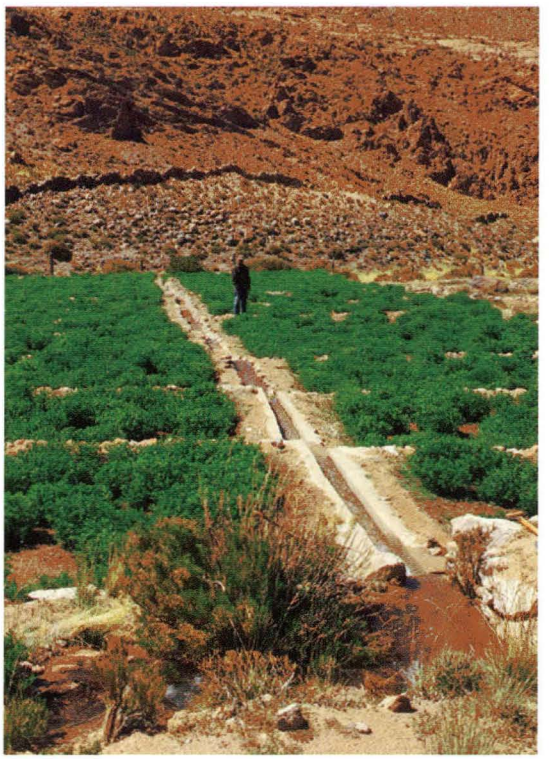
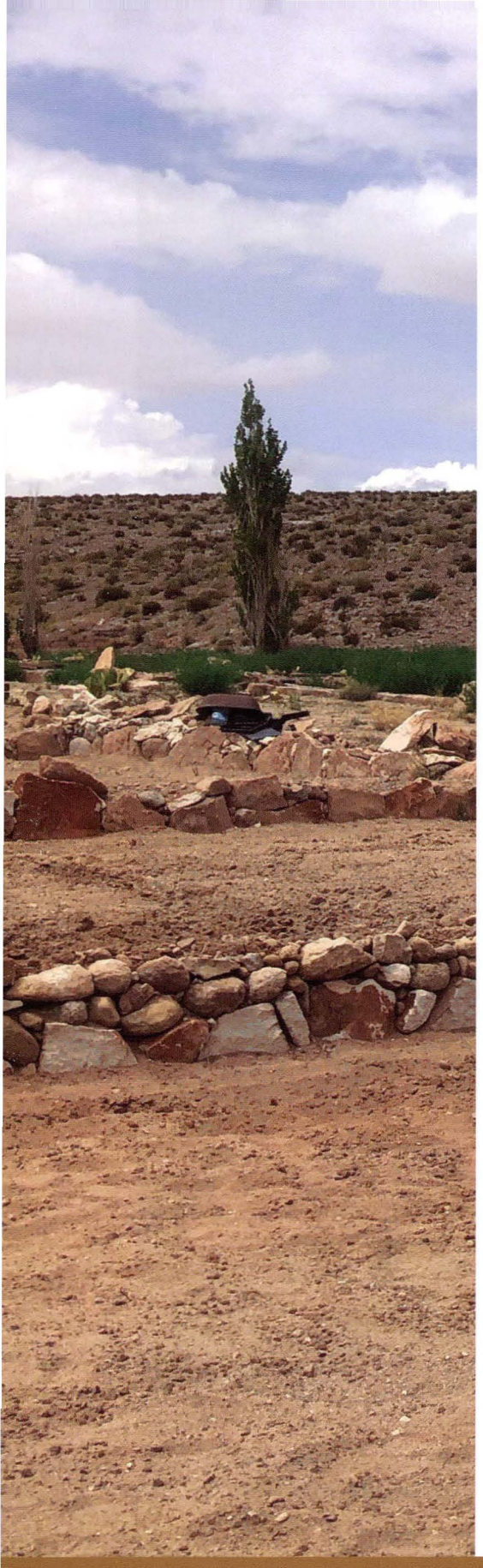


Figura 7. Terrazas cultivadas con alfalfa con un canal de distribución al centro.



Capítulo II

Métodos de riego para zonas áridas

Existen varios métodos de riego que pueden ser utilizados en zonas desérticas. Un ejemplo son las técnicas de origen ancestral que, con el tiempo, se han perfeccionado hasta alcanzar muy altos niveles de eficiencia, con bajo consumo de energía.

2.1. Riego por bordes

Este método utiliza los desniveles existentes en el predio, conduciendo el agua por la fuerza de gravedad.

Es muy importante que el sector a regar con este método cuente con un terreno nivelado en el sentido en que avanza el agua, con una pendiente inferior a uno por mil (10 cm en 100 m de largo). Idealmente, el desnivel del terreno entre el punto donde ingresa el agua y el lugar de salida en el sector regado no debe ser mayor a 2 cm en terrazas de 20 m de largo. Con ello se asegura una buena uniformidad de riego.

Figura 8. Cultivo en terrazas en Ayquina.

Figura 9. Cultivo en terrazas en Ayquina, que permite el riego por bordes. Este sistema, bien diseñado y manejado, ofrece una eficiencia de riego de alrededor de 50%, lo que significa que de cada 100 litros de agua que se entregan, las plantas aprovechan la mitad.

Al analizar el movimiento del agua en el suelo al regar, la Era, por sus dimensiones y características, se observa que cumple perfectamente los requisitos de un riego uniforme y eficiente. Distancias cortas y pendientes suaves, 0,1 por ciento en el sentido del movimiento del agua, permiten un avance lento y pausado hacia el final de la Era y una distribución muy homogénea en el sentido del avance del agua, cubriendo la totalidad del ancho de esta y humedeciendo en forma pareja todos sus rincones.

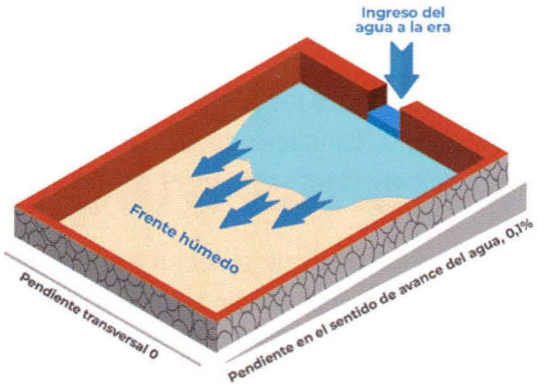


Figura 10. Esquema del movimiento del agua en una Era.

Visión de un especialista:

El cultivo y riego en **Era**

Óscar Reckmann A.
Ingeniero agrónomo

Los ecosistemas del desierto en la Comuna de Calama están habitados por comunidades agrícolas ancestrales, cuyo sistema productivo se caracteriza por contar con un rubro ganadero en el que normalmente predomina la alfalfa como recurso forrajero. La existencia de forraje para la alimentación animal siempre ha sido un tema relevante y es así como, gracias a la alta productividad y a su valor nutritivo, la alfalfa es considerada una de las mejores fuentes de alimentación para el ganado.

Figura 13. Cultivo de trigo en Eras.

Figura 14. Cultivo de alfalfa con riego en Eras, Chiu-Chiu.

Además, como la cantidad de agua no es alta y la velocidad de su circulación tampoco, se evita la erosión (pérdida de suelo). El recorrido del agua en distancia corta a lo largo de la Era favorece la infiltración, llegando el frente húmedo a una profundidad similar en todos los puntos, asegurando agua disponible en contacto con las raíces del cultivo.

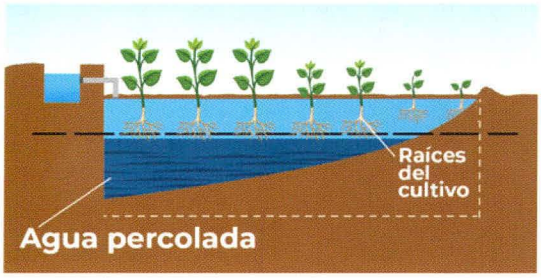


Figura 11. En una Era larga aumenta la permanencia del agua en la cabecera, lo que incrementa su pérdida por percolación.

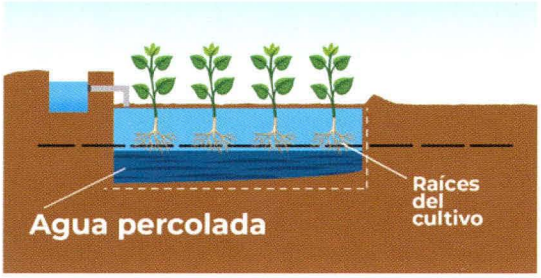


Figura 12. En una Era corta el agua llega más rápido al final y se infiltra en el suelo en forma homogénea, disminuyendo su pérdida por percolación.

Esta es una excelente especie forrajera para una amplia gama de suelos, incluyendo los de las zonas áridas del norte de Chile. Considerando el riego un factor determinante en la productividad de la alfalfa, se hace necesario utilizar en su cultivo métodos eficientes.

Figura 15. Eras preparadas para siembra, junto a red de canales.

La Era es una unidad de cultivo que ocupa una porción de terreno normalmente rectangular, de dimensiones no superiores a 50 m² (por lo general de 10 metros de largo por 5 metros de ancho) y con una profundidad de suelo útil no superior a los 30 cm. En este espacio desde sus orígenes el agricultor ha reemplazado el suelo existente por otro de mayor fertilidad, mejorándolo temporada tras temporada con la incorporación de guano o abono verde. Entonces la Era es prácticamente un macetero que contiene un suelo fértil y de muy buena calidad, con altos niveles de materia orgánica, alta porosidad, aireación y drenaje apropiado.

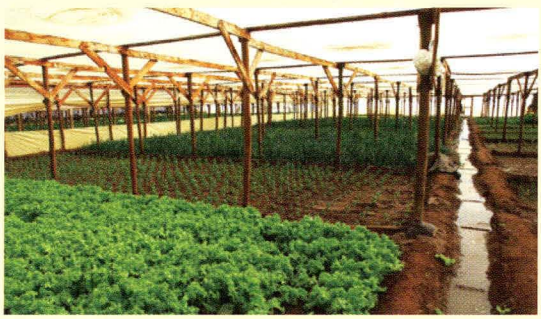


Figura 16. Hortalizas cultivadas en Eras bajo sombreadero.

El uso de métodos gravitacionales en el desierto, como el riego por bordes, conocido como Era en Atacama, corresponde a técnicas de manejo del agua para regar que han desarrollado principalmente los pueblos atacameños y quechua desde hace unos nueve mil años.

Figura 17. Cultivos de ajo y tunas en "Era".

2.2. Mejoras en el riego por bordes o Era

Este método de riego de alta eficiencia se puede incluso mejorar en dos aspectos muy puntuales; reducir la pérdida de agua durante la conducción desde la fuente hacia la entrada de la Era, y controlar el caudal en la cabecera. La pérdida de agua en la conducción ya es un tema resuelto como resultado del revestimiento en piedra que se practica desde tiempos inmemoriales en los canales. El control de caudal se puede abordar mediante compuertas de metal o madera dimensionadas y de fácil manipulación a la entrada de cada Era, o reemplazarlas por una tubería de PVC agrícola con varias compuertas, ubicadas a distancias uniformes entre sí en toda su extensión, sistema conocido como método de aducción Californiano. Esta tubería se instala en la cabecera de la Era y la regulación de la cantidad de agua que ingresa en cierto tiempo a través de cada compuerta se maneja mediante el grado de abertura. Así se mejora la distribución y homogeneidad del frente de agua en profundidad, reduciendo significativamente las pérdidas por percolación.

Figura 18. Método de aducción Californiano: compuertas abiertas a lo largo de la tubería con el agua a caudal constante y uniforme ingresando a la platabanda.

2.3. Riego por goteo

Este método de riego funciona con una red de tuberías de distribución de PVC y polietileno o "plansa" y requiere un equipo de bombeo para que el agua esté con presión al interior de la tubería. Por lo tanto, necesita energía eléctrica o combustión, un generador o, en su remplazo, utilizar desniveles de terreno sobre los 15 metros que permitan desde un estanque acumulador entregar agua con presión al sistema.

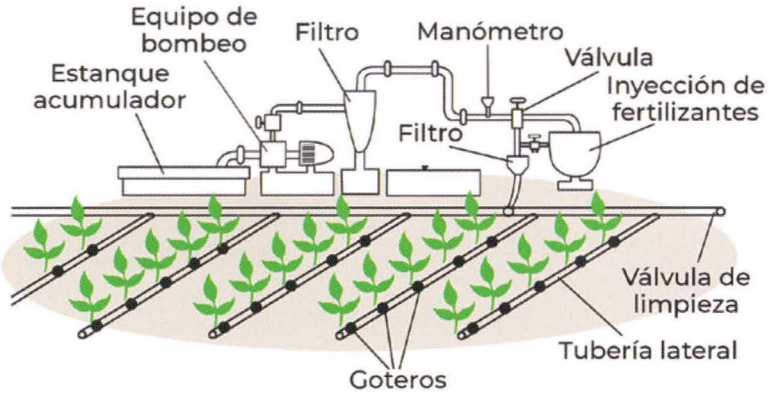


Figura 19. Esquema de un sistema de riego por goteo operado con una bomba.

La eficiencia del riego por goteo es de un 90%; en este caso, de cada 100 litros de agua que se le entregan al cultivo, 90 son utilizados por las plantas y 10 se pierden.

El método de riego por goteo permite atenuar el problema de la calidad del agua lavando el exceso de sales del suelo como lo muestra la figura 20.

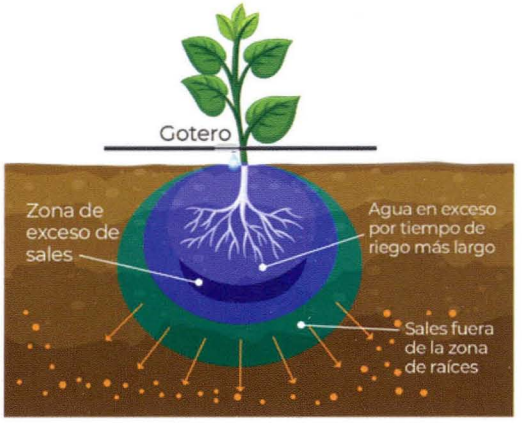


Figura 20. Lavado de sales mediante el riego.

Por otra parte, el riego por goteo permite efectuar cultivos hidropónicos (figura 21), administrando de una manera eficiente el recurso y controlando los problemas de calidad del agua.

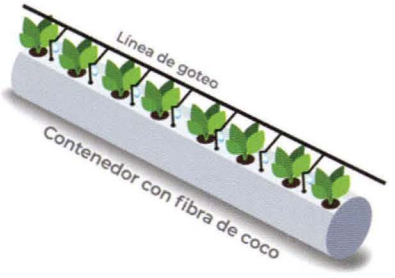


Figura 21. Esquema de uso de riego por goteo en cultivo hidropónico.

2.4. Sistema de raíz flotante

Otra alternativa de cultivo hidropónico es el sistema de raíz flotante. Esta metodología se distingue por no usar ningún tipo de sustrato ni tampoco riego por goteo. Permite un mayor control del agua, tanto en calidad como en cantidad. Se utiliza comúnmente para hortalizas y se adapta muy bien para el cultivo de lechuga.

En el sistema de raíz flotante se usa una mesa normalmente construida de madera, a una altura de 1,5 m sobre el nivel del suelo, por la cual circula agua. En su parte superior se mantienen las plantas insertas en planchas de poliestireno (plumavit) que flotan en el agua.

Figura 22. Raíces de lechuga hidropónica en pleno crecimiento.

Nosotros lo hicimos
DE NADA A TODO

La experiencia de Franco Centellas y su cónyuge, Agustina Morales, con cultivo hidropónico en el oasis de Calama.

Figura 24. Don Franco y la Sra. Agustina en su invernadero con su cultivo de lechuga hidropónica.

Franco Centellas no tenía ni un cultivo en su parcela, pero, de un espacio árido y sin posibilidades de realizar agricultura tradicional, la transformó en una producción semiintensiva, con incorporación de tecnologías de riego y tratamiento del agua, aumentando la eficiencia en el uso del recurso con energía fotovoltaica (paneles solares). Le fue bastante fácil poner en operación el equipo gracias a su experiencia en obras de construcción en minería. Sin embargo, uno de los inconvenientes que hoy enfrenta es el precio del análisis de agua con fines de monitoreo y seguimiento, que vale sobre $100.000. Además debe realizarlo en Antofagasta pues el servicio no está disponible en Calama.

¿Cómo lo logró?

Un elemento clave que gatilló este cambio fue la capacidad del agricultor de obtener subsidios del Estado para materializar su inversión. Franco opina que "hay que atreverse", él tenía suficiente agua, pero no de calidad y lo resolvió con la incorporación de una planta de tratamiento predial.

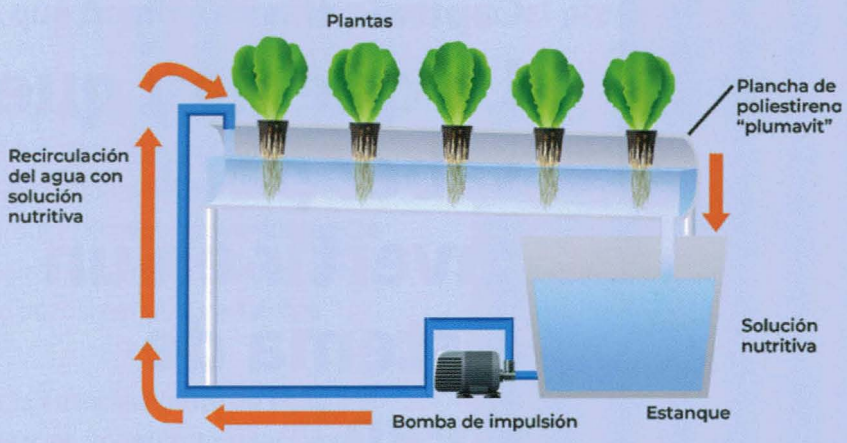


Figura 23. Esquema de cultivo hidropónico con raíz flotante usando un sistema de recirculación.

Se recibe el agua con solución nutritiva en un estanque acumulador y mediante un equipo de bombeo se recircula, permitiendo su aireación (figura 23). Como el agua se vuelve a utilizar una y otra vez, aumenta la eficiencia de su uso.

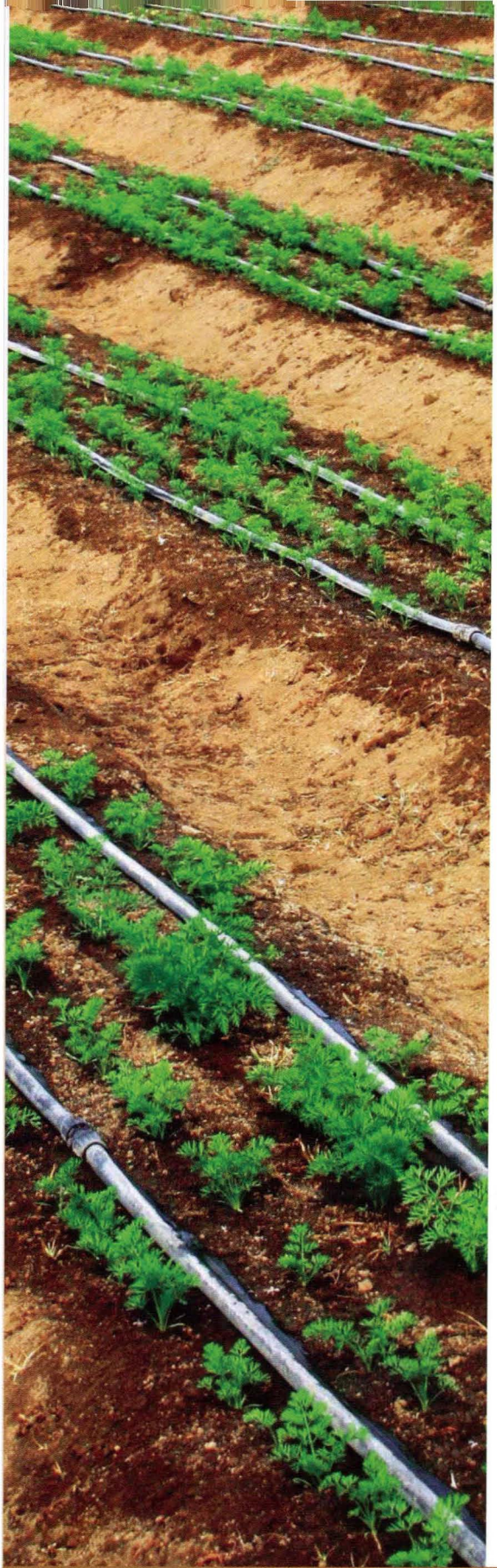
Figura 25. Lechugas hidropónicas con desarrollo completo, listas para su cosecha.

Luego, el suelo pasó a ser la limitante; entonces, su segundo paso fue la búsqueda de alternativas productivas y descubrió la tecnología de cultivo hidropónico en raíz flotante. La inversión total fue de $40.000.000 (cuarenta millones de pesos), incluyendo la planta de tratamiento de osmosis inversa, filtros de abatimiento para boro y arsénico, y caseta. De ese total recibió $22.500.000 de fondos provenientes de la Comisión Nacional de Riego (CNR); la CNR le aportó un subsidio del 80%. El costo de operación de la planta de tratamiento está asociado fundamentalmente a la reposición de la membrana del filtro que se realiza 2 veces al año, y el precio de la membrana es $790.000. Su planta procesa 1.000 litros de agua por hora, con un potencial de riego máximo de 5.000 m².

Se necesita gestión y asesoría

El señor Centellas destaca que "para transformarse en empresario se requiere gestión", fundamental en la búsqueda de financiamiento, y asesoría. "Teniendo los recursos suelo y agua, más voluntad para salir adelante, es posible emprender y generar negocios rentables".

Hoy, él cuenta con un invernadero de 132 m² con cultivos hidropónicos, que produce quinientas lechugas semanales, generando ingresos que cubren sus costos de operación y le otorgan una rentabilidad sobre un 15% de lo que invierte.



Capítulo III

Lo que hay que saber para invertir en un sistema de riego tecnificado

Para obtener los mejores resultados productivos y económicos en el uso integrado del agua y la energía en sistemas tecnificados, como el riego por goteo, todos los elementos que intervienen tienen que ser óptimos. Los subtítulos del capítulo muestran las preguntas que hay que hacerse y responder para tener éxito en cada caso particular. A lo largo del capítulo se entregan las claves para responderlas.

3.1. ¿Con qué fuentes de agua cuento en el predio?

3.1.1. Identificar la fuente de agua: es vital identificar las fuentes de agua disponibles en el predio; en la cuenca del río Loa se encontrarán aguas superficiales provenientes de ríos o canales y aguas subterráneas, resultantes de pozos, norias o vertientes.

3.1.2 Distancia entre la fuente de agua y el sector de riego: es importante relacionar la ubicación de la fuente con respecto al sector a regar, observando y midiendo a qué distancia se encuentra en relación al sitio más alejado donde se desea establecer el cultivo. A mayor distancia, mayor es el esfuerzo necesario para mover el agua entre un punto y otro, y mayor es el costo en metros de tubería.

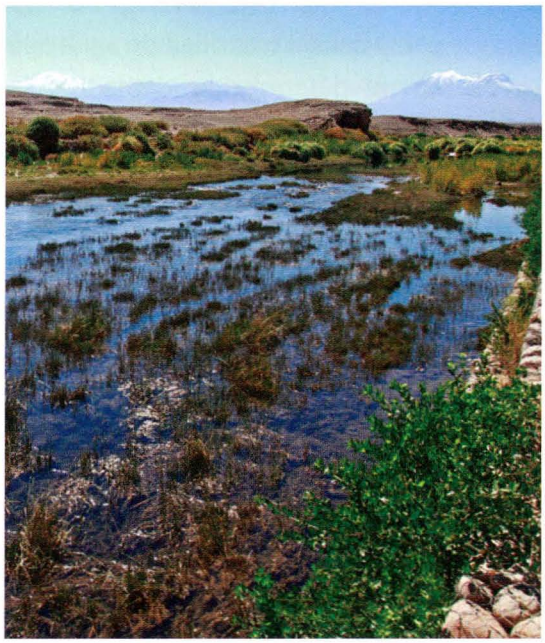


Figura 26. Río Salado, que abastece una serie de canales en la comuna de Calama.

3.1.3. Recorrido de la tubería matriz: hay que establecer el recorrido que debiera seguir la tubería que va a conducir el agua desde la fuente hasta el sector de riego.

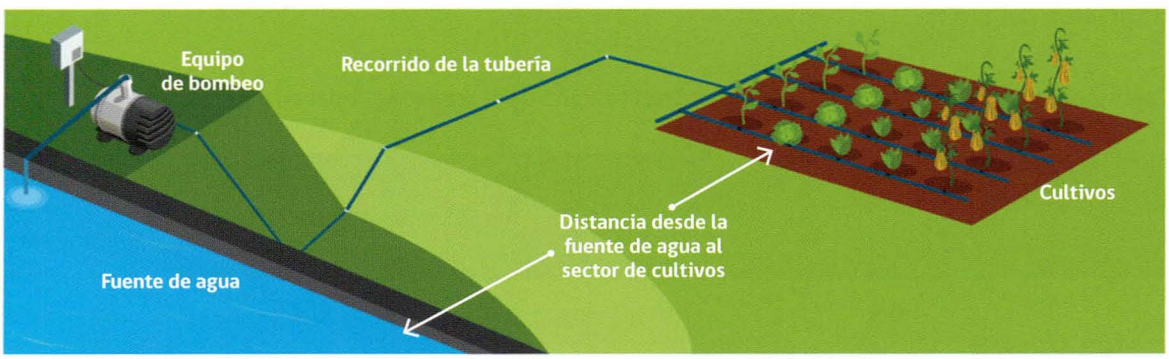


Figura 27. Recorrido de la tubería matriz desde la fuente de agua hacia el cultivo con sistema de riego por goteo.

Es importante conocer el recorrido, ya que puede ser necesario hacer desvíos. En la medida que el trazado sea más largo, mayor será el requerimiento de energía por parte de la bomba para mover el agua y, por lo tanto, mayor será el costo por consumo de electricidad en cada riego. Por otro lado, como el valor de la inversión resulta más caro al tener que comprar más metros de tubería, es conveniente elegir el recorrido más corto posible.

3.2. ¿Cuánta agua tengo disponible en el predio?

La disponibilidad de agua en el predio se expresa como caudal (cantidad de agua que circula en un determinado tiempo) y la unidad comúnmente conocida es litros por segundo (l/s). El agua con que cuenta el predio es conferida por ley y se encuentra registrada en los títulos de dominio de la propiedad o como título aparte en el registro de propiedad de aguas del Conservador de Bienes Raíces comunal, provincial o regional. En las escrituras de propiedad de las aguas aparece la cantidad disponible expresada en litros por segundo o, cuando no están perfeccionados, se expresan como regadores, acciones o partes.

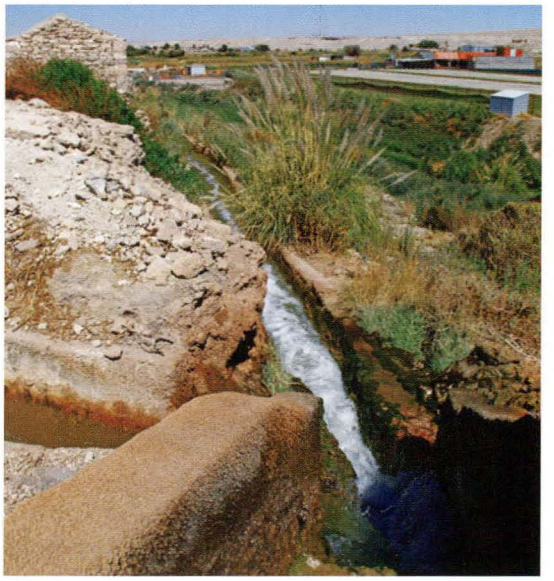


Figura 28. Agua de riego disponible en el predio.

Esta cantidad es clave para determinar la superficie posible de regar con el caudal que dispone el predio.

En la tabla siguiente se presenta la superficie de hortalizas posibles de regar con riego tendido en la provincia de Calama, en plena temporada de cultivo en el mes de diciembre, según el caudal disponible del predio.

Tabla 2. Superficie posible de regar con riego por tendido de acuerdo al caudal en Calama.

Caudal (litros por segundo)	Superficie de hortalizas posibles de regar con riego tendido (hectáreas)
0,5	0,4
1	0,8
2	1,6
3	2,4
4	3,3

Fuente: elaboración propia.

3.3. ¿Cuáles son las fuentes de energía en mi predio?

El agua requerida por los cultivos no siempre se encuentra cercana, debe movilizarse desde la fuente, que puede ser un canal cuya entrada al predio está a cierta distancia del sector a regar y, por lo tanto, es necesario conducirla desde ese punto hasta el sector de los cultivos. Para ello se requiere energía, por lo que se hace necesario observar y analizar las energías disponibles en el predio para lograr la mayor eficiencia y menor costo posibles en la conducción, en la distribución, y luego en su uso en la aplicación al agua de riego.

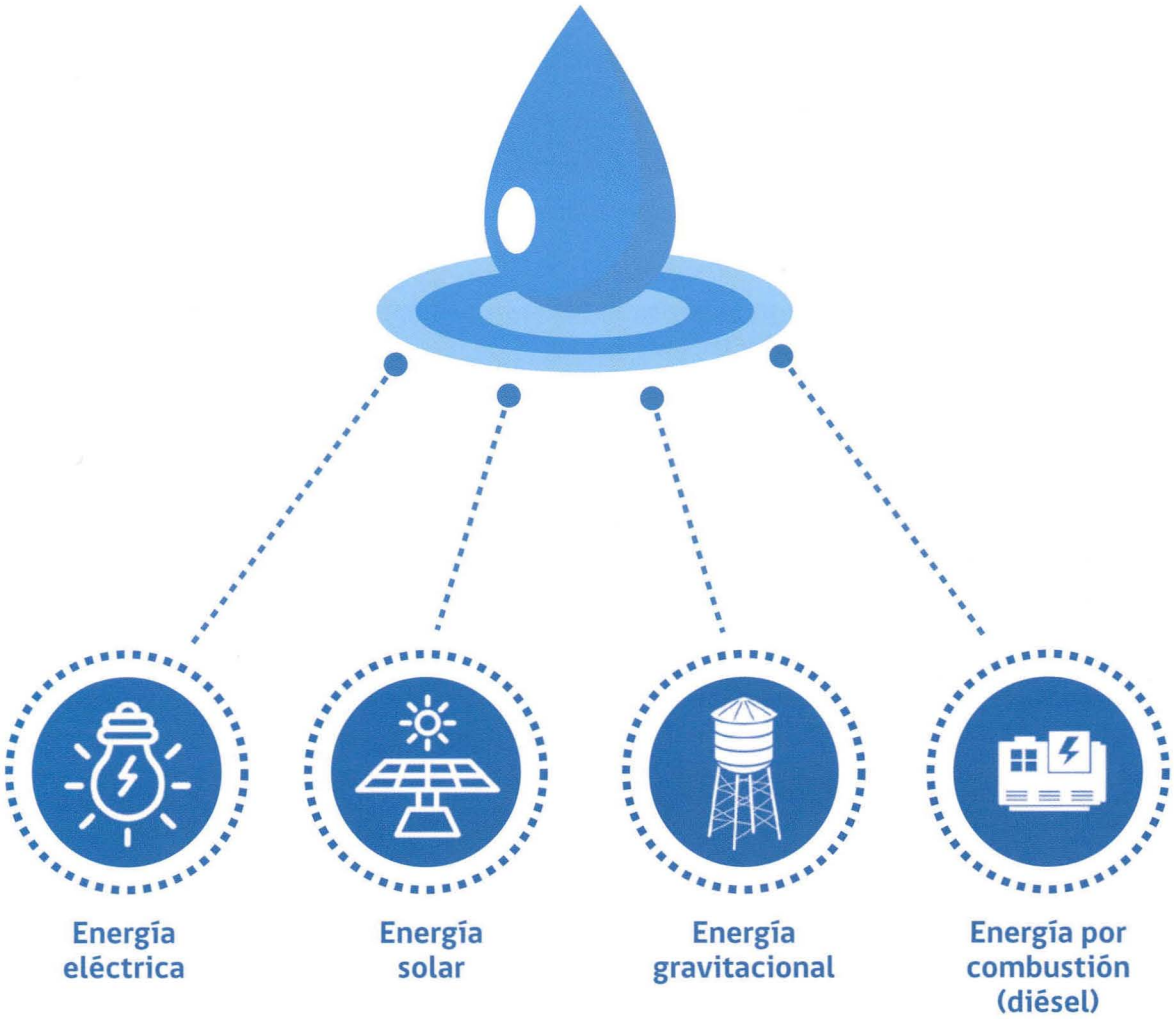


Figura 29. Energías posibles de usar para el riego tecnificado en el predio.

Las energías disponibles a nivel predial son las que se observan en la figura de arriba y que se describen a continuación.

3.3.1. Energía eléctrica: está inmediatamente disponible cuando existe red eléctrica en la zona y, en este caso, es necesario tener en cuenta la distancia entre el empalme eléctrico y la fuente de agua. A mayor distancia entre ambos puntos, mayor es el costo en su habilitación para riego, especialmente por el costo del cableado eléctrico y los postes, más la mano de obra y los otros insumos.

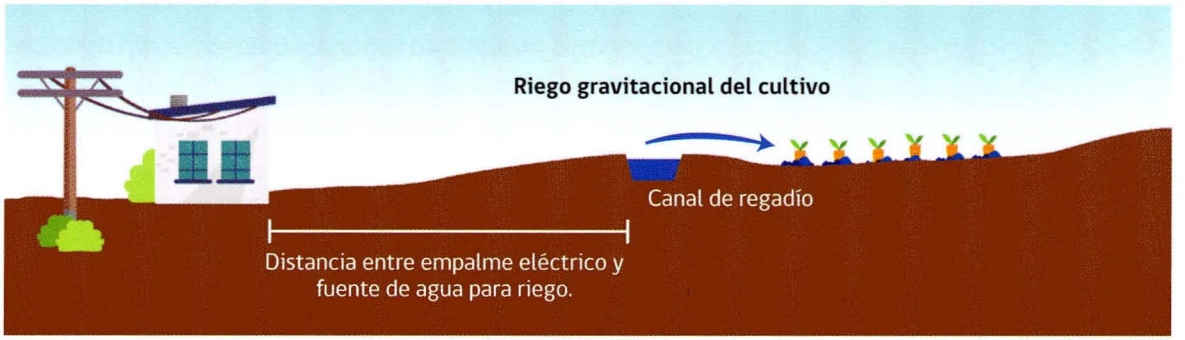


Figura 30. Sistema de riego gravitacional, riego por inundación desde canal de regadío.

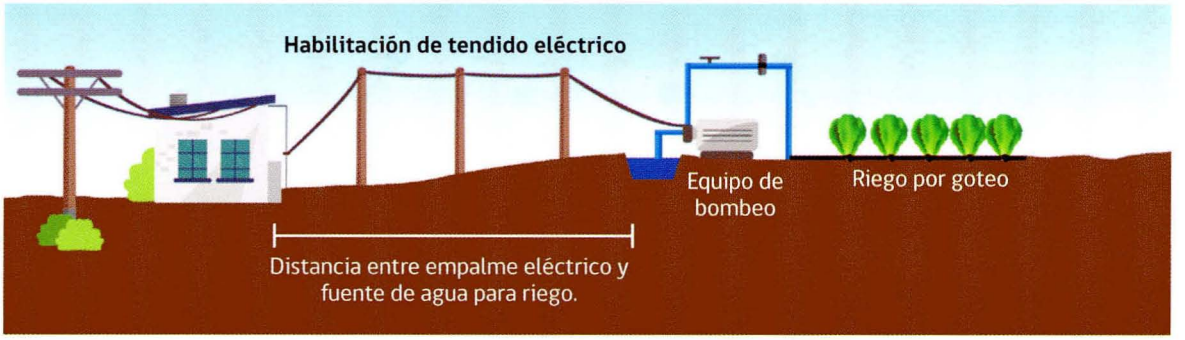


Figura 31. Habilitación de tendido eléctrico para realizar riego por goteo.

Si se desea invertir en tecnología de riego, el equipo de bombeo de agua quedará instalado junto al canal indicado en la figura y desde ahí la bomba impulsa el agua para regar el cultivo por goteo.

Se debe establecer la distancia entre el empalme eléctrico a nivel domiciliario y el punto donde se encuentra la fuente de agua (canal o pozo). En este lugar se habilitará el equipo de bombeo eléctrico que opera abasteciendo al sistema de riego por goteo. El valor de dicha distancia permite realizar una estimación preliminar de lo que significará el nivel de inversión para tecnificar el riego con una fuente de energía eléctrica.

En la siguiente tabla se muestran valores unitarios asociados a la habilitación de un tendido eléctrico monofásico, cuyo valor varía con la distancia entre el empalme y la fuente de agua.

Tabla 3. Valores asociados a la habilitación de un tendido eléctrico monofásico.

Ítem	Especificaciones técnicas	Requisitos de instalación	Valor unitario ($)*
Postes	Poste de madera de Pino Radiata, de diámetro mínimo 6", de 6 m de largo.	El poste se instala dentro de una base de cemento de 0,50 x 0,50 x 1 m, previa aplicación de un producto impermeabilizante en su base, por una altura de 1,3 m. Distancia entre postes: 20 m.	45.000
Cable eléctrico	Alambre concéntrico, 1,5 mm de espesor tendido eléctrico monofásico.	Conductor tipo NSYA para intemperie.	45.000

*Valores a inicios de 2020.
Fuente: elaboración propia.

Un dato importante que debe ser considerado es el costo de operación del riego por goteo, producto del consumo de energía eléctrica durante el mes de mayor demanda de agua en la zona, esto es, en diciembre. Si se trabaja con un equipo de bombeo de 0,5 HP para el riego de dos invernaderos de 120 m² (20 m de largo por 6 m de ancho), asumiendo que cada invernadero se riega media hora al día durante los 31 días del mes, el consumo mensual estimado por concepto de energía eléctrica para riego es de $3.000 (valor a inicios de 2020).

3.3.2. Energía solar: se capta mediante módulos fotovoltaicos o paneles solares y se transforma de energía eléctrica continua a energía eléctrica alterna, igual a la que proviene de la red pública. Entonces, la energía fotovoltaica soluciona el problema de abastecimiento de energía cuando no se cuenta con una red eléctrica cercana al predio.

Figura 32. Día de campo en Calama donde se explica el sistema fotovoltaico (paneles solares) para riego.

3.3.3. Energía gravitacional: esta posibilidad se hace evidente en el predio por la topografía predominante. Gracias a los desniveles, se puede implementar una serie de soluciones que permiten aprovechar la energía gravitacional para otorgar presión al agua de riego. Por ejemplo, acumular agua en estanques en altura con respecto al sector de riego.

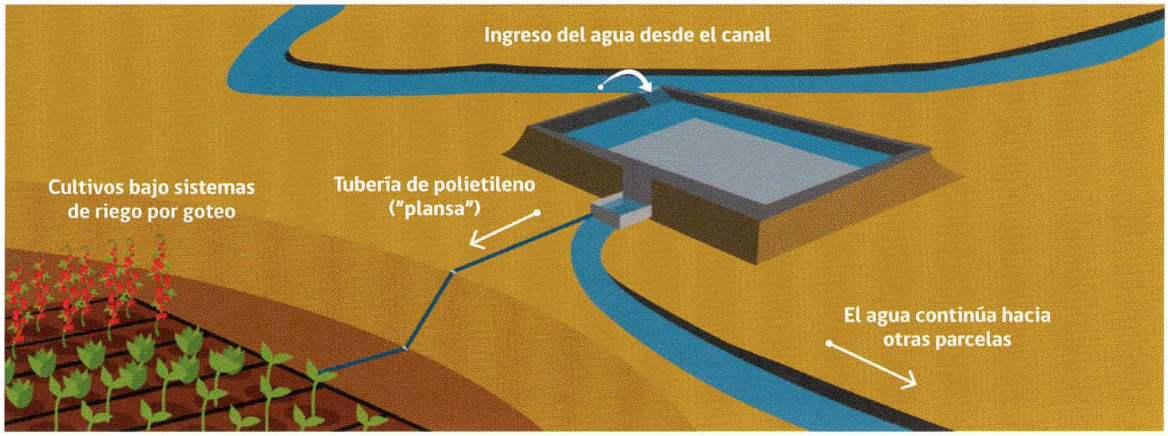


Figura 33. Riego por goteo con presión otorgada por el desnivel entre el estanque y sector de cultivos.

En riego por goteo se requiere como mínimo 12 metros de desnivel para una correcta operación.

3.3.4. Generadores diésel: es una alternativa cuando no se cuenta con energía eléctrica o cuando la habilitación de un módulo de energía solar es de muy alto costo. No es la más económica desde el punto de vista de sus costos de operación, pero puede resolver el problema de abastecimiento de energía en situaciones puntuales. También es muy útil cuando se cuenta con energía fotovoltaica y debe existir un respaldo en los eventos en que la radiación sea muy baja y resulte imprescindible continuar con el riego.

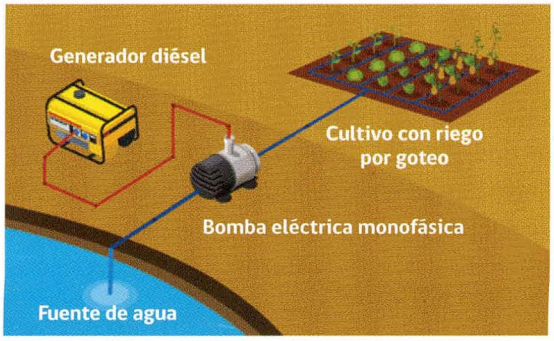


Figura 34. Generador Diesel alimentando con electricidad bomba en riego por goteo.

Un equipo generador diésel utilizado para operar una bomba de 0,5 HP que levante un caudal de 0,5 litros por segundo a una altura de 20 metros, para el riego de dos invernaderos de 120 m² cada uno, durante media hora diaria por invernadero, regando todos los días del mes, tiene un costo de operación estimado por consumo de combustible (petróleo) de $80.000 en diciembre. Este corresponde al mes de mayor consumo de agua por parte de la planta. El equipo generador tiene un costo aproximado de $500.000 (valores a inicios de 2020).

3.4. ¿Cuál es el cultivo que voy a regar?

Un sistema tecnificado, como el riego por goteo, implica una inversión importante y, además, coexiste un costo de operación del equipo muy relacionado con la energía que se utilizará. Por lo tanto, es necesario considerar aspectos económicos, especialmente del mercado y el precio de venta del producto que resulta de la explotación.

Figura 35. Algunas hortalizas y frutales cultivados en la cuenca del río Loa, cuyo precio justifica la inversión en riego tecnificado.

Productos de alta demanda en la zona, como las tunas, tomates y damascos, que obtienen buenos precios en el mercado local, son atractivos para ser cultivados con riego tecnificado. Desde el punto de vista agronómico, se debe considerar la distancia de plantación sobre y entre las hileras, las características de las raíces del cultivo y la susceptibilidad a enfermedades del suelo. Debe advertirse que en algunos cultivos, como praderas (alfalfa, trébol) y cereales (avena, trigo), no es conveniente regar con este método por el alto costo de inversión y manejo.

3.5. ¿Cuánta agua va a requerir mi cultivo?

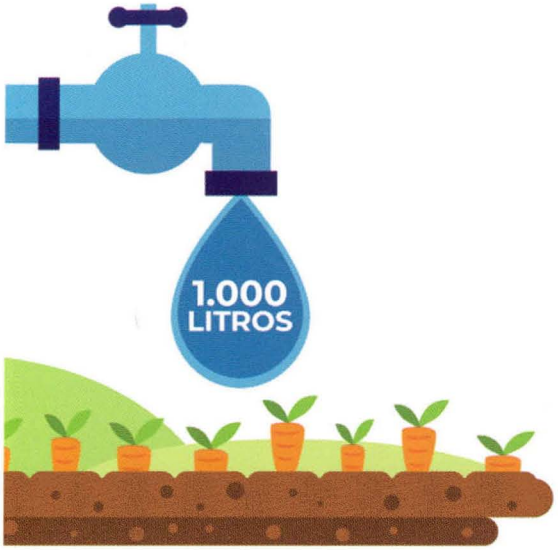


Figura 36. Volumen de agua requerido para producir 16 kilos de zanahoria en Calama.

El agua es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de los cultivos y por lo tanto debe manejarse cuidadosamente. No hay duda de que se requiere para producir más alimentos, pero también es claro que hoy en día constituye un recurso cada vez más escaso.

A modo de ejemplo, para producir 16 kilos de zanahorias se requieren alrededor de mil (1.000) litros de agua por temporada en la cuenca del río Loa en la comuna de Calama, correspondientes a cerca de 112 unidades de zanahoria plantadas en un metro cuadrado.

Existe una serie de factores que determinan la demanda de agua por parte de las plantas, entre ellas están las características del cultivo, como el desarrollo de las raíces, el tipo de hojas, la época de plantación, poda, ubicación geográfica y elementos del clima, como la temperatura, el viento, la radiación solar y la humedad relativa. Estos últimos tienen una gran influencia en la cantidad de agua que consume la planta, son los que provocan que la atmósfera que rodea al cultivo actúe como una zona de alta captación de humedad.

Figura 37. Variables que determinan la demanda de agua de un cultivo.

3.6. Con el agua que tengo, ¿qué superficie puedo regar?

La superficie máxima posible de regar depende fundamentalmente de dos factores, el primero de ellos es la cantidad de agua que consume el cultivo, lo que se conoce como demanda de agua de parte de las plantas. Esta se expresa en los litros de agua que consume la planta en un día, considerando el periodo de mayor demanda de este vital elemento. En la cuenca del río Loa, por ejemplo, esto sucede en pleno verano.

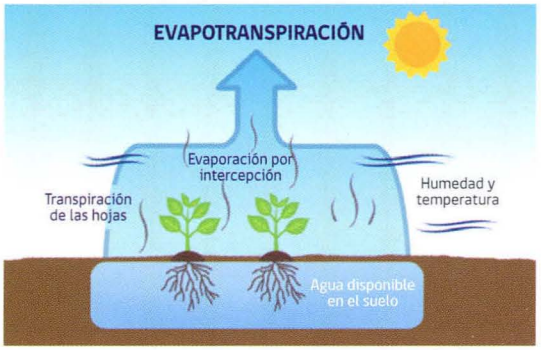


Figura 38. La demanda de agua se calcula en el periodo de mayor consumo por parte de la planta.

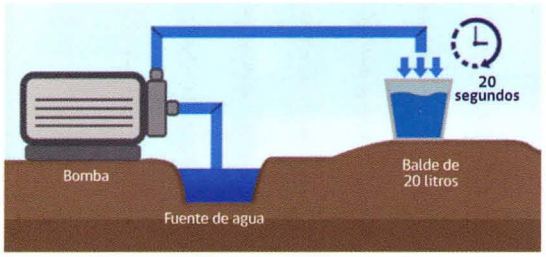


Figura 39. Determinación del caudal que entrega una bomba.

El segundo factor es el caudal, equivalente al tiempo transcurrido para llenar un balde de volumen conocido, por ejemplo, si un balde de 20 litros tarda 10 segundos en llenarse su caudal es 20 litros en 10 segundos, o lo que es lo mismo 2 litros por segundo.

Ambos valores, es decir, la demanda de agua por parte de la planta y el caudal disponible en el predio, se comparan. A partir de dicha información se puede estimar la superficie máxima posible de regar.

Figura 40. Cultivos en terrazas con distintas demandas de agua, como maíz, avena y tunas.

Por ejemplo, en el sector de Caspana, si el caudal es de un litro por segundo, lo que equivale a 3.600 litros por hora. Esa agua se almacena en un estanque acumulador durante la noche. En una hora se acumulan 3.600 litros y en cinco horas que corre agua hacia el estanque se almacenan en total 18.000 litros.

Figura 41. Estanque acumulador comunitario de Caspana.

En Caspana, el consumo de agua de una planta de tuna en el mes de diciembre es de aproximadamente dos litros por día, que corresponde al mes donde la planta consume más agua.

Figura 42. Planta de tuna y su consumo diario.

Si comparamos el agua acumulada en el estanque con el agua que consume la planta en un día, esta alcanza para abastecer a 9.000 plantas de tuna (18.000 litros en el estanque dividido por dos litros de consumo de agua por planta al día).

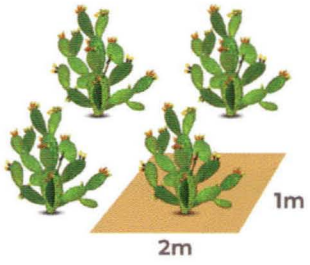


Figura 43. Superficie que ocupa una planta de tuna.

Si una planta de tuna ocupa un espacio de 2 m^2 (2 metros de largo por 1 metro de ancho), la superficie total plantada posible de regar en diciembre es de 18.000 m^2 o 1,8 hectáreas (9.000 plantas por 2 m^2 de espacio que ocupa cada planta).

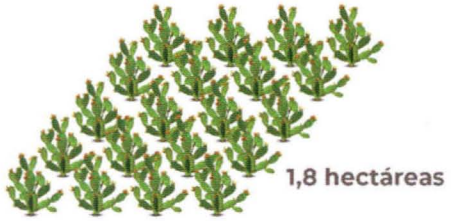


Figura 44. Superficie máxima posible de regar de acuerdo con el ejemplo descrito.

3.7. ¿Cuánto es el costo de inversión y ejecución de la obra que necesito?

Una vez definido el cultivo a establecer, la superficie total de acuerdo con la cantidad de agua disponible, el método de riego y la fuente de energía para impulsar el agua, se debe estimar el costo aproximado de la inversión. Para ello, el productor debe consultar la lista de precios de los equipos y componentes del sistema de riego con proveedores locales, y también buscar apoyo con sus asesores técnicos.

Un aspecto importante a considerar en el estudio de costos es estimar el costo de operación del sistema de riego en su conjunto. Es necesario aclarar desde el principio qué significa el valor mensual de la operación del sistema de riego, especialmente con lo relacionado al consumo de energía. Este análisis se debe realizar considerando el funcionamiento del equipo en los meses de máxima demanda de agua que, en Calama, corresponden a diciembre y enero.

El uso de energía solar para abastecer sistemas de riego tecnificado genera un ahorro directo en la operación. Esto se da especialmente en la zona norte de nuestro país, donde se disponen de aproximadamente 6 horas de radiación solar directa en el período de máxima demanda de agua, la cual es recibida y transformada en energía eléctrica útil a costo cero.

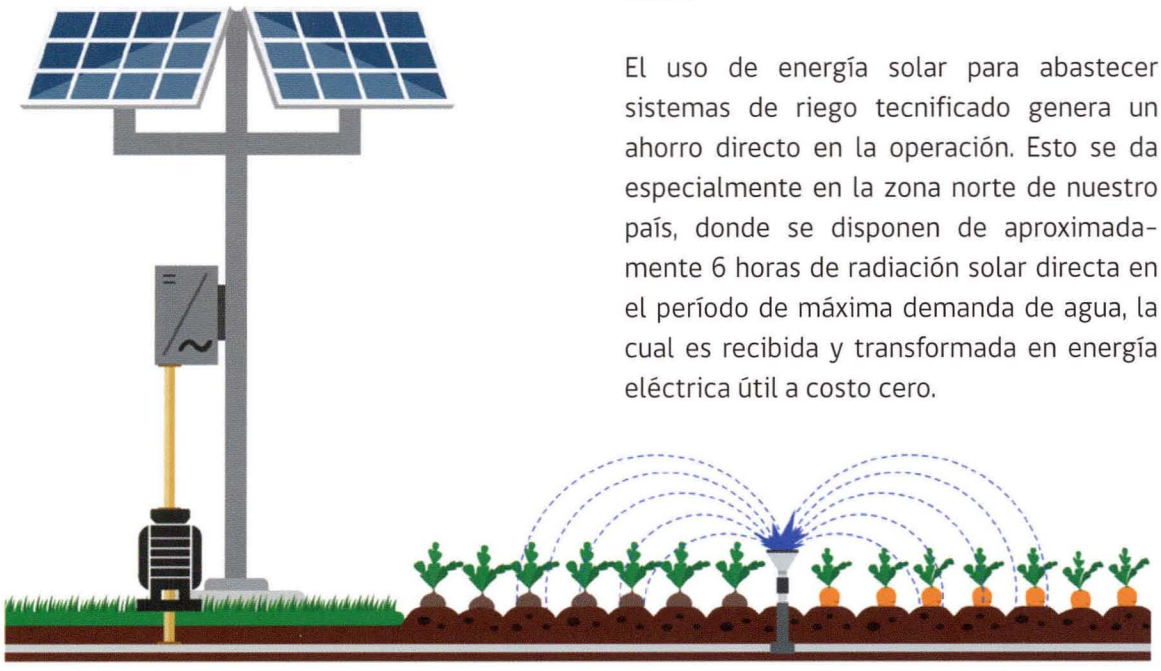
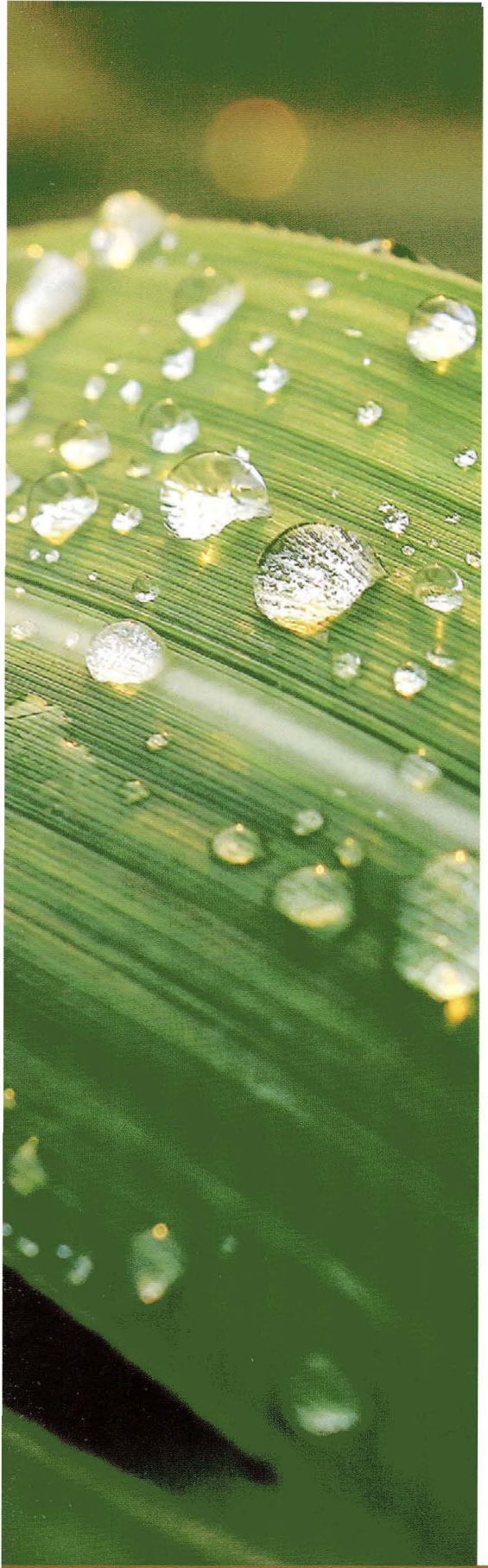


Figura 45. Esquema de sistema de riego con energía fotovoltaica (paneles solares).

La Ley 18.450, de Fomento al Riego, es un instrumento que, a través de un sistema de concursos, puede bonificar hasta un 90% de la obra de riego y drenaje en concursos para la pequeña agricultura. Permite incorporar Energías Renovables No Convencionales como la fotovoltaica a los proyectos que postulan a financiamiento como Concursos enfocados en la implementación de energías renovables, en especial microgeneración hidroeléctrica como complemento energético a proyectos de infraestructura de riego, con énfasis a proyectos que vengan de pequeña agricultura, sus organizaciones y pueblos originarios. Para mayor información, visite la página web: www.cnr.gob.cl



Capítulo IV

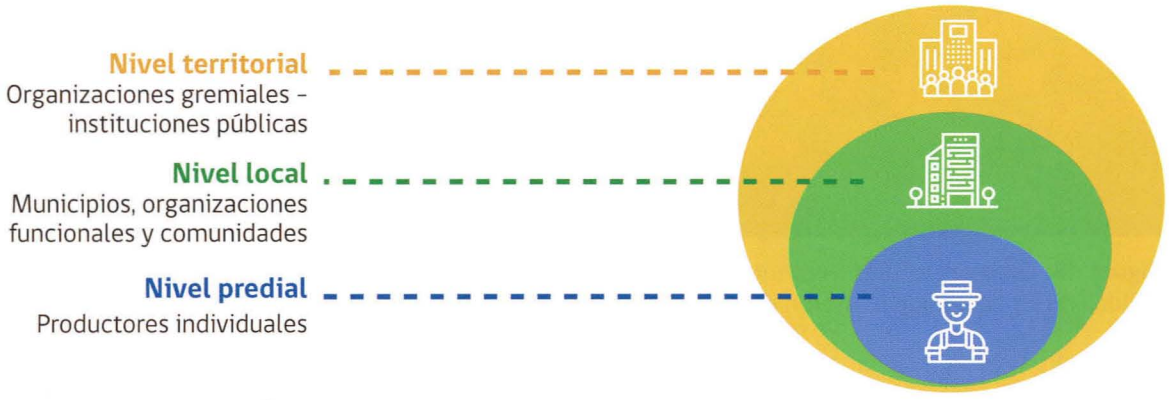
Gestión de la Calidad del Agua

En este capítulo trataremos de acciones a nivel local o territorial que contribuyan a generar condiciones para contar con agua limpia en el predio del agricultor.

La gestión conjunta con otros agricultores se vuelve fundamental en territorios de condiciones desérticas, donde gestionar la calidad del agua para responder a la demanda de productos frescos proveniente de zonas urbanas e industriales puede ser una gran oportunidad para el productor.

Revisaremos alternativas y experiencias de gestión de calidad de aguas de uso agrícola en el país, las que pueden ser replicadas en zonas áridas. Para abordar este desafío se requiere de esfuerzos en distintos niveles y de variados actores; por ejemplo, gremios, comunidades indígenas, municipios, servicios públicos y otras organizaciones. El trabajo conjunto aumenta el impacto de cada esfuerzo individual.

Figura 46. La gestión de calidad de aguas se ejecuta con acciones a distintos niveles.



4.1. Aspectos básicos que definen la calidad del agua

Cuando se habla de calidad de aguas, siempre debe hacerse la pregunta ¿para qué?. La exigencia no es la misma en agua para bebida, recreación o riego. En el caso de la calidad para riego, la gestión se entenderá como el resguardo del conjunto de características físicas, químicas y biológicas que permiten su uso en la producción de alimentos.

Figura 47. Los requerimientos de calidad del agua dependen del uso que se le da.

En primer lugar, estas características son determinadas por las necesidades propias del cultivo. Por ejemplo, en zonas áridas la salinidad y la presencia de elementos químicos como boro o arsénico, condicionan lo que se puede producir, limitando las opciones de los agricultores.

En segundo término, se encuentran los estándares que el agua debe cumplir para la producción agrícola de alimentos. Por un lado, el Estado los define a través de leyes y normas. Por otra parte, los compradores en el mercado lo hacen a través de requerimientos auditables donde pueden pedir la certificación de prácticas de manejo y de comercialización.

A los actores mencionados se suma la sociedad civil, la que manifiesta mediante "demandas sociales" lo que espera de un determinado cuerpo de agua, tanto en lo relacionado con su calidad como con sus usos. Esto supone un desafío para el Estado, el que debe incorporar estas demandas en sus normativas, y por supuesto también es un desafío para quienes deben llevarlas a la práctica, como los agricultores.

Figura 48. Cada vez es más frecuente que los supermercados en Chile y el extranjero exijan certificar la calidad de las aguas que se usaron en la producción de alimentos.

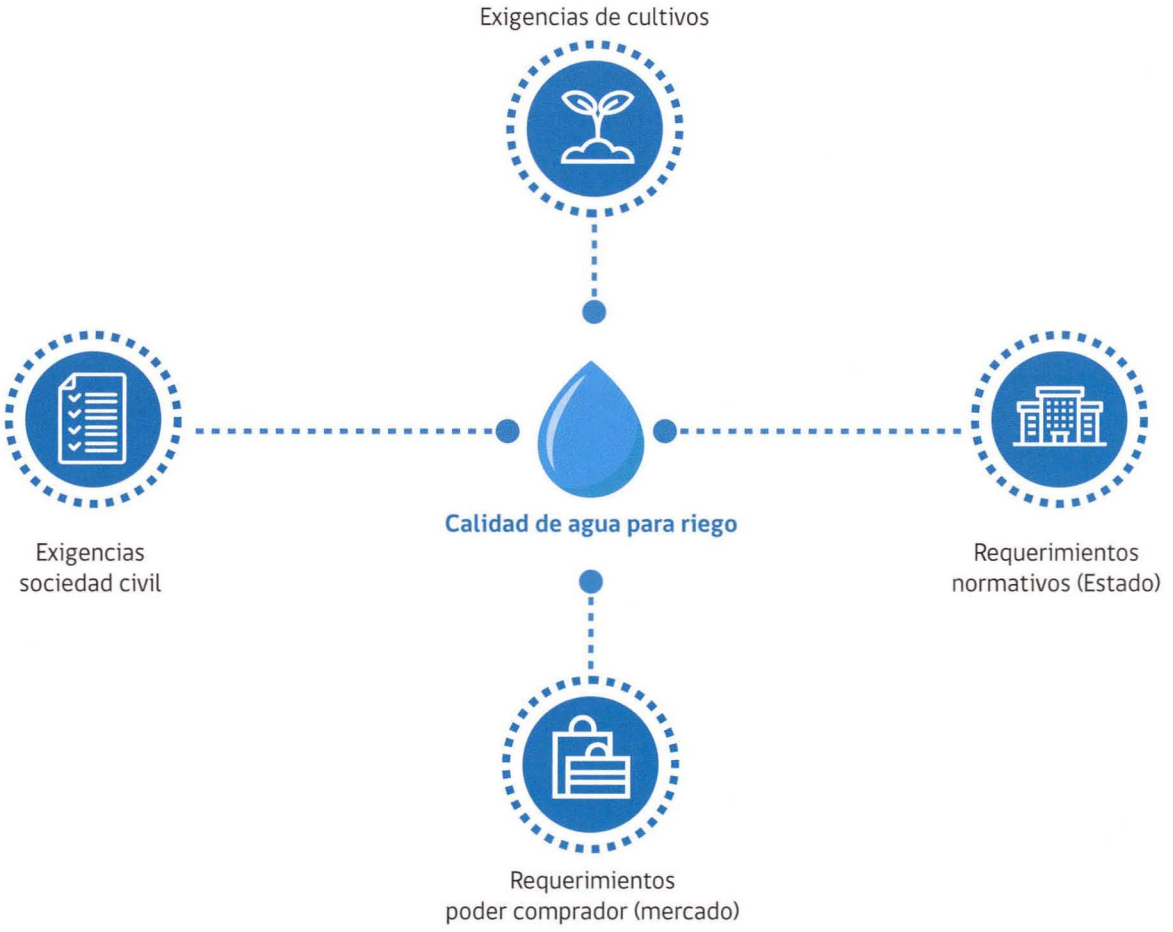


Figura 49. Requerimientos de calidad de agua de riego de diversos actores.

En nuestro país la principal referencia es la norma chilena 1.333 (NCH 1.333) "Requisitos de calidad para diversos usos". Data del año 1978 y establece los requisitos de calidad de agua de riego para la producción de alimentos a nivel nacional a través de 33 parámetros.

Hecha hace más de 40 años, la NCH 1.333 no considera la diversidad climática o productiva ni las características naturales del agua en las distintas cuencas desde Arica a Punta Arenas. Asimismo, las exigencias del mercado y las normativas internacionales han instalado requerimientos más exigentes, tal como se aprecia en la tabla 4, donde se comparan los estándares microbiológicos de nuestra norma con la ley de Modernización de la Inocuidad de los Alimentos (FSMA por su sigla en inglés) de Estados Unidos. Esta tendencia internacional pronto llegará a Chile con sus parámetros y quienes no los cumplan probablemente no podrán vender sus productos. Implementar medidas de gestión predial y extrapredial para conocer la calidad del agua de riego es la forma de asegurar la permanencia en el mercado.

Los requerimientos de FSMA incluyen parámetros no incorporados en la NCH 1.333, como es el caso de *E. coli.* Asimismo, resulta 2 veces más exigente en coliformes fecales, pues la normativa nacional fija el máximo en 1.000 en 100 ml y FSMA en 410 en 100 ml, incluyendo también un número mínimo de muestras (5 por año en 4 años o 10 por año en 2 años) para determinarlo. La cantidad de muestras no está definida en la NCH 1.333.

Tabla 4. Ejemplo de requerimientos microbiológicos del agua de riego en NCH 1.333 y FSMA (norma vigente en EE.UU.).

Norma	Carga bacteriana	Número de muestreos
NCh 1.333 Of 1978	≤1.000 coliformes fecales/100 ml número más probable (NMP)/100ml. SM 9221E *Escherichia coli* no incluida en norma.	No especificado
FSMA - EE.UU. inocuidad alimentaria.	1. No debe haber *E. coli.* 2. ≤126 unidades formadoras de colonia (UFC) de *E. coli*/100ml (media geométrica (X)) y un umbral estadístico de ≤410UFC/100ml (90%) SM 9222G	5 muestras por año en 4 años o 10 muestras por año en 2 años. Después 5 muestras por año.

Fuente: Elaboración propia en base a normativas.

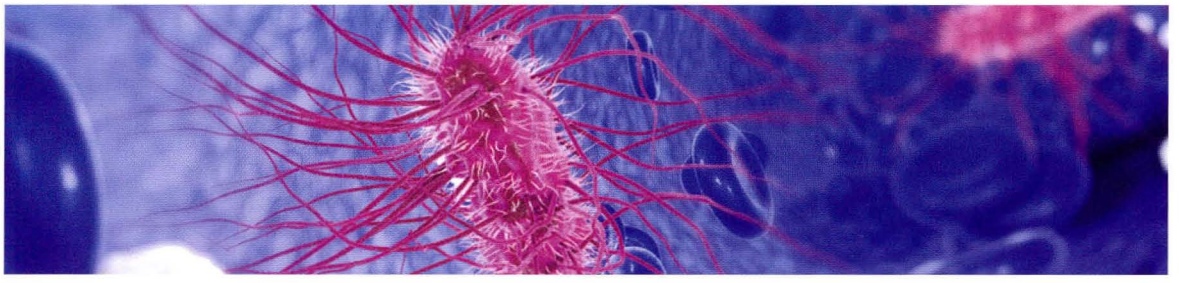


Figura 50. *Escherichia coli* vista al microscopio, algunos tipos de esta bacteria pueden provocar graves problemas de salud.

LA GESTIÓN DE CALIDAD DE AGUAS ES EL FUTURO

Vonn Castro Barrios, presidente de la Asociación de Agricultores de Calama, presidente y celador del canal Berna.

Figura 51. Vonn Castro Barrios.

Los productores de Calama están agrupados en 11 comunidades de agua que funcionan de manera autónoma de acuerdo con las decisiones de cada comunidad, indica Vonn Castro, y la gestión de calidad de aguas es una necesidad clave:

"La calidad del agua no es un tema. ¡Es un temazo! Donde comienza el río Loa hay muchas mineras que afectan con sus relaves, y la calidad de aguas se ha echado a perder con el tiempo, siendo casi inexplicable para muchos expertos el cómo nosotros como agricultores mantenemos vegetación y producción acá en Calama. Hace 20 o 25 años de una hectárea podíamos sacar entre 300 y 350 fardos de alfalfa por corte y hoy en día no superamos los 140".

En general los productores cuentan con superficies limitadas y riegan a tendido, explica. Con aportes de Codelco en una oportunidad se hizo un proyecto con una planta de osmosis inversa, lo que significó una solución para algunos agricultores, pero debido a la escasez de agua no benefició a la gran mayoría, opina el dirigente.

"A nosotros nos juega en contra el agua del río Salado. Si nosotros regáramos con agua solo del tranque de Conchi, seriamos un vergel, como era 25 años atrás, pero el agua de Conchi la DOH la destina principalmente como reserva de agua potable para casi toda la región".

Vonn Castro verifica que gran parte de los asociados son adultos mayores y no se ve el recambio: los jóvenes prefieren trabajar en la minería debido a los mejores ingresos. Lamenta que muchos estén dispuestos a vender a empresas contratistas, porque tierra y agua se cotizan muy bien, de manera que los integrantes de la Asociación han pasado de 3.000 hectáreas a no más de 600. Con todo, vislumbra una salida:

"Si tuviéramos mejor calidad de aguas, a lo mejor los más jóvenes se querrían quedar en el campo porque verían más oportunidad".

4.2. La gestión de calidad de aguas en Chile

Como hemos visto, la NCH 1.333 determina un criterio de calidad de agua para su uso en la producción de alimentos. Sin embargo, no indica cómo se resguarda ese criterio, qué actores debieran involucrarse ni qué obligaciones tiene cada uno para satisfacer este objetivo. Esta situación es aun más compleja si se trata de asegurar la calidad del agua de cauces artificiales (canales) o captaciones subterráneas. Las responsabilidades de la administración pública son difíciles de exigir y sus facultades de fiscalización difusas. ¿Quién puede gestionar la calidad del agua, entonces?

Aquí las organizaciones de las personas afectadas juegan un rol fundamental, porque si no vigilan ellas un bien tan precioso, tal vez nadie más lo haga.

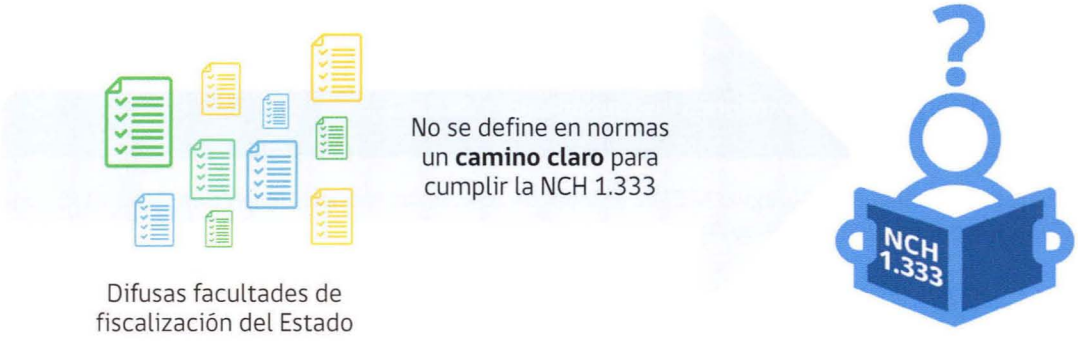


Figura 52. Dificultades normativas en la gestión de calidad de aguas.

La legislación chilena reconoce a las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) como espacio asociativo para la toma de decisiones sobre el tema. Estas organizaciones, en las que participan exclusivamente los titulares de derechos de aprovechamiento, tienen como principal objetivo la administración y distribución del agua bajo su jurisdicción, ya sea en cauces naturales (Juntas de Vigilancia), cauces artificiales (Comunidades de Agua y Asociaciones de Canalistas) o aguas subterráneas (Comunidades de Aguas Subterráneas).

Figura 53. reunión de Organización de Usuarios de Agua.

El título III del Código de Aguas, que asigna funciones a las OUA, les permite involucrarse de manera activa en la gestión de calidad de aguas. Esta facultad les da la posibilidad de ser actores principales en los niveles territorial y local, en tanto pueden realizar acciones en los cauces bajo su gestión involucrando en ellas a los titulares de derecho que conforman la Organización de Usuarios.

Para mayores referencias respecto a operación de las OUA la Comisión Nacional de Riego posee distintos manuales, los que se encuentran publicados en: https://www.cnr.gob.cl/agricultores/capacitacio/programa-capacitacion-nacional-a-organizaciones-de-usuarios-del-agua/

Cuadro 1. Rol de las OUA en la gestión de calidad de aguas.

- **Poseer información** respecto al estado de calidad de su red de riego.
- **Disponer esa información para consulta de sus usuarios.**
- **Procesar y atender denuncias** de eventos que afectan la calidad de agua en cauces bajo su administración.
- **Gestionar** los conflictos de los cauces bajo su administración.
- En el caso de las juntas de vigilancia, estas también se pueden **constituir como entes técnicos de acompañamiento a las Comunidades de Agua.**

Fuente: Fuente: Arriagada y Aldeguer (2016). Manual de aplicación: modelo de gestión de calidad de aguas para Organizaciones de Usuarios de Agua.

Según datos vigentes de la Dirección General de Aguas, en la región de Antofagasta existen solo 42 Comunidades de Agua registradas, lo que da cuenta de una importante necesidad de organización. Por ejemplo, en comparación con otras zonas áridas, en Arica hay 310 asociaciones de este tipo, en Iquique 179 y en la región de Atacama 283. Si bien existen otras instancias de organización comunitaria en torno al agua, las OUA son las mandatadas por la legislación para cumplir ese objetivo. Se trata de una carencia que impacta en las posibilidades de mejorar la gestión del recurso, desarrollar la infraestructura, vincularse con actores públicos o privados y hacerse cargo de los temas emergentes.

Además del importante rol que cumplen las Organizaciones de Usuarios, la gestión de la calidad de aguas exige la incorporación de otros actores, muchos de los cuales no poseen derechos de aprovechamiento y por tanto no participan de las OUA. Tal es el caso de aquellos vinculados a usos como el turismo, paisaje o servicios ambientales. Esto obliga a incorporar el concepto de "gobernanza del agua", el que comprende los procesos e instituciones a través de los cuales se articulan intereses y se solucionan diferencias para proteger el recurso hídrico (Cannoni y Croco, 2017). Este enfoque de gestión ha sido adoptado por algunas organizaciones, las que en conjunto con actores públicos y privados han liderado procesos exitosos de gobernanza por la gestión de la calidad del agua en sus territorios de influencia.

Figura 54. Otros actores, como los que participan del turismo, también tienen interés en la calidad de las aguas y deben ser incorporados en la idea de "gobernanza".

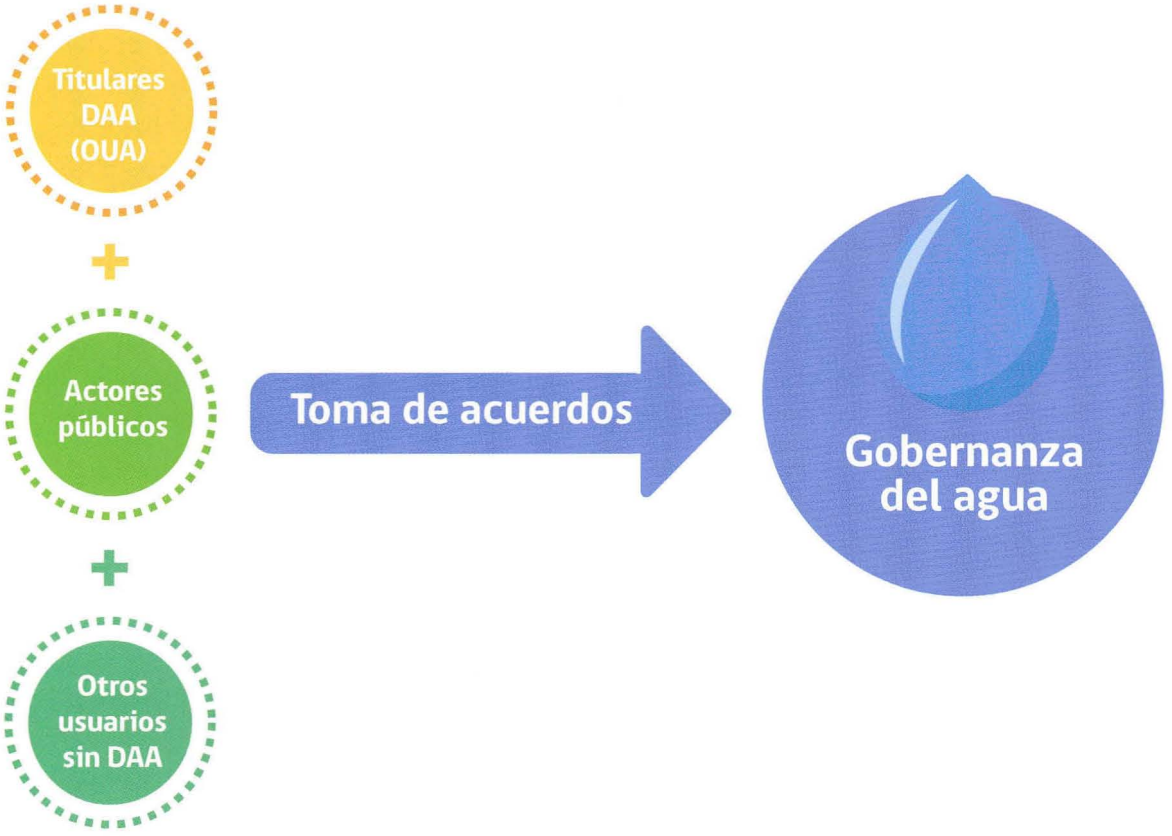


Figura 55. Actores para la gobernanza del agua. DAA: derechos de aprovechamiento de aguas.

Caso destacado

GOBERNANZA PARA LA GESTIÓN DE CALIDAD DE AGUAS: LA JUNTA DE VIGILANCIA DEL RÍO LONGAVÍ

Figura 56. Afiche de campaña de sensibilización de la Junta de Vigilancia Río Longaví.

Figura 57. La campaña incluyó todo tipo de soportes y comunicaciones.

La Junta de Vigilancia del Río Longaví, OUA que administra las aguas de la primera sección de ese cauce en las comunas de Parral, Longaví y Retiro, en la región del Maule, lleva casi dos décadas gestionando la calidad de aguas en su territorio. En este proceso ha liderado el trabajo de las 30 Comunidades de Agua que la conforman, operando una red de monitoreo en todos los cuerpos de agua bajo su administración y la de sus asociados. Esto le ha permitido consolidarse como un actor técnico validado, desarrollando esfuerzos conjuntos con gobiernos locales, instituciones de fomento, escuelas y otros actores de la sociedad civil, instalando la gestión de la calidad de aguas para la producción de alimentos como un tema fundamental a nivel territorial.

Distintos medios, como afiches, internet y consultas telefónicas (figuras 56 y 57) se utilizaron en una campaña de sensibilización a la comunidad. Fue instalado en escuelas, consultorios, municipios y juntas de vecinos. Esto ha permitido dar importancia al tema a nivel regional, desarrollar campañas de educación ambiental y conseguir recursos para programas de monitoreo, gestión e implementación de infraestructura.

4.3. Oportunidades de gestión

Hay muchas oportunidades para intervenir en la gestión de calidad de las aguas. A continuación mostraremos cómo hacerlo a nivel territorial (por ejemplo en una cuenca como la del Loa), a nivel local (en una comuna) y a nivel del predio de cada uno.

4.3.1. Gestión de calidad de aguas a nivel territorial: Hasta ahora hemos visto algunos conceptos que nos permiten entender qué es la gestión de calidad de aguas y cuáles actores son claves en ella, pero ¿cómo iniciamos un proceso de gestión de calidad de aguas en nuestro territorio?

Figura 58. Pasos de trabajo organizacional en calidad de aguas.

Estrategia de implementación a nivel de organización

El primer paso es conocer los actores determinantes. En el caso de un río o estero que nos provea de aguas superficiales, resulta indispensable registrar las principales actividades que usan o conviven con el cauce y quiénes son sus responsables.

Acá es bueno elaborar un catastro de fuentes probables de contaminación, el que debe considerar fuentes puntuales o sea aquellas identificables en un punto, por ejemplo las descargas de aguas servidas o microbasurales, y difusas, vale decir aquellas que no es posible identificar en un punto con precisión, por ejemplo el impacto de labores mineras o agrícolas.

Figura 59. La descarga de aguas servidas es un caso típico de fuente puntual de contaminación hídrica.

Figura 60. La agricultura también puede generar contaminación difusa, por ejemplo, a través del uso indiscriminado de productos químicos en distintos predios y distintos momentos, que llegan poco a poco hasta los cursos de agua.

Se puede realizar este análisis con información pública disponible en el sistema de evaluación de impacto ambiental (www.sea.gob.cl) o en distintos servicios sectoriales, y ayudará a precisar los "problemas principales" de la zona de influencia.

En el caso de cauces artificiales, una buena medida es recorrerlos, catastrando los problemas encontrados e identificando los principales, tales como descargas de aguas servidas, acumulaciones de basuras en el cauce, vertimientos de residuos líquidos industriales (RILES) u otros de carácter difuso, como es el caso de impactos en el cauce por malas prácticas agrícolas. Entre los manejos agrícolas que provocan contaminación difusa están algunas labores de suelo que fomentan la erosión y acumulación de sedimentos en canales; también el riego por inundación cuyos derrames van al canal conteniendo materia orgánica y en algunos casos residuos químicos.

Figura 61. La identificación de los problemas de contaminación es la base para tener aguas limpias.

Las labores para registrar lo que ocurre con las aguas pueden llevarse a cabo con apoyo de los distintos miembros de una comunidad.

Figura 62. Fuentes puntuales y difusas de contaminación en una cuenca.

Realizado lo anterior, podemos estimar cuáles son las principales actividades que afectan la calidad de las aguas. Considerando los posibles problemas de contaminación encontrados, definimos qué elementos son necesarios de monitorear y cuáles no. Es importante destacar que monitorear solo los indicadores de contaminación de calidad de aguas asociados a fuentes probables, bajará los costos de la inversión en laboratorio. De tal modo evitamos malgastar recursos en parámetros que no suponen un problema en nuestro territorio. Así enfocamos nuestros esfuerzos de gestión en los puntos críticos que afectan nuestra fuente de agua.

Para este tipo de iniciativas las organizaciones han obtenido recursos desde fuentes tales como el Fondo de Protección Ambiental (FPA) del Ministerio de Medioambiente; de la Comisión Nacional de Riego (CNR), mediante programas y estudios; del Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC) en los Gobiernos Regionales; y de CORFO, a través de instrumentos de apoyo a la competitividad territorial.

La secuencia de acciones brevemente descrita en los párrafos anteriores ha sido aplicada por varias Organizaciones de Usuarios de Agua que administran canales en otras zonas del país. La escala abordable de estos y el conocimiento de las OUA facilita el trabajo.

Estrategia de implementación a nivel de cuenca o conjunto de cauces naturales

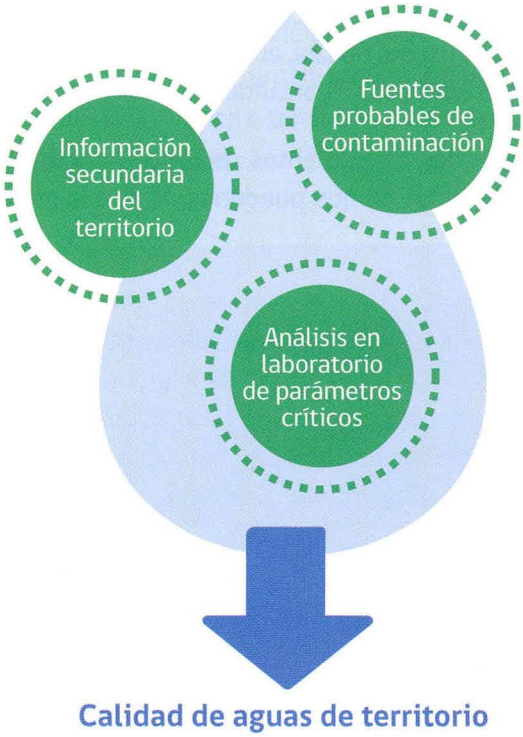


Figura 63. Pasos para el inicio de un proceso de gestión de calidad de aguas en un territorio.

La estrategia de implementación es distinta cuando se trata de cuencas o conjuntos de cauces naturales que poseen zonas de influencia más extensas, como es la cuenca del Loa completa, la cual incluye al menos los ríos Loa y Salado. A este nivel los esfuerzos a realizar requieren de liderazgos territoriales dispuestos a enfrentar largos procesos de gestión y acuerdo. En dicho contexto, destacan dos herramientas que pueden contribuir a la gestión de calidad de aguas:

a) Normas secundarias de calidad ambiental (NSCA): su principal objetivo es establecer niveles de calidad del agua que permitan el mantenimiento y la recuperación de los ecosistemas en ambientes acuáticos (Ministerio de Medio Ambiente, 2017). La posibilidad de dictar NSCA así como su gestión (control y fiscalización) recaen en el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) y para su elaboración se necesita el estudio en detalle del cuerpo de agua. Actualmente en Chile se encuentran vigentes cinco NSCA: las de los lagos Llanquihue y Villarrica, y las de los ríos Serrano, Maipo y Biobío.

Figura 64. El anteproyecto de norma secundaria de calidad ambiental del río Loa se aprobó en 2006, pero el trámite no ha seguido avanzando.

En elaboración se encuentran las NSCA de las cuencas de los ríos Rapel, Aconcagua, Mataquito, Huasco y Elqui. En el caso de la cuenca del río Loa, el anteproyecto fue aprobado por resolución 260 del año 2006 de CONAMA para ser sometido a consulta. Desde ahí el trámite se encuentra detenido.

b) Acuerdos voluntarios. Existen dos instrumentos de la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (www.agenciasustentabilidad.cl) que pueden aportar a la gestión territorial de calidad de aguas:

- **Los acuerdos de producción limpia (APL):** convenios de carácter voluntario celebrados entre una asociación empresarial representativa de un sector productivo y los organismos públicos competentes en materias ambientales, sanitarias, de higiene y seguridad laboral, eficiencia energética e hídrica y de fomento productivo. Tienen el objetivo de aplicar la producción limpia a través de metas y acciones específicas en un plazo determinado para el logro de lo acordado (http://www.agenciasustentabilidad.cl/pagina/apl). La región de Antofagasta cuenta con variados APL, encontrándose en la actualidad en desarrollo uno que incluye la gestión de aguas industriales y contaminantes en el barrio Industrial Pedro Aguirre Cerda de la ciudad de Antofagasta. En el caso del Loa, por ejemplo, podría pensarse en un APL de agricultura limpia, con participación de los actores productivos de la cuenca (minería, servicios y otros) e instituciones públicas (fundamentalmente municipio y fomento).

Figura 65. Ejemplo APL Antofagasta.

- **Acuerdos voluntarios para la gestión de cuencas (AVGC):** se expresan en convenios entre empresas, organismos públicos competentes y otras organizaciones involucradas, para fomentar la producción limpia y el desarrollo sustentable en cuencas con actividades productivas, a través sucesivos acuerdos y compromisos voluntarios de acciones orientados a cumplir objetivos y metas comunes (http://www.agenciasustentabilidad.cl/pagina/acuerdos_voluntarios_para_la_gestion). Existen siete AVGC vigentes en el país en las siguientes cuencas: Maipo-Clarillo; El Yali; Llico, Vichuquén, Torca y Tilicura; Riñihue, Panguipulli y Calafquén; valle del Itata y Ranquil; Picoiquén, y Aculeo.

Como ya se mencionó, cualquier esfuerzo de gestión a nivel territorial requiere de un trabajo importante de levantamiento de información. La identificación de zonas críticas en un cauce artificial ayuda a la toma de decisiones y generación de estrategias para abordar los desafíos de gestión que requiera asegurar la calidad de aguas para la producción de alimentos. Estas labores pueden ser lideradas por distintos actores, los que deben estar dispuestos a recorrer largos caminos para satisfacer sus objetivos. El principal consejo que se puede dar al respecto es reconocer que la calidad de las aguas constituye un problema común y que se requiere organización a nivel de actores de la cuenca o territorio para comenzar a impulsarlo (asociaciones gremiales, comunidades indígenas, OUA, etc.).

Figura 66. La participación es fundamental para la implementación de los AVGC.

Caso destacado

GESTIÓN TERRITORIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA CON HISTORIA: EL CASO DE LOS AYLLUS DE ATACAMA

Figura 67. Imagen satelital de los ríos San Pedro y Vilama.

La historia del riego en los ayllus de Atacama ha estado asociada al desarrollo cultural atacameño desde períodos prehispánicos. Los primeros canales pudieron ser de desagüe, técnica ya introducida a partir del 1200-400 AC en el período Formativo.

Tradicionalmente las aguas de los ríos San Pedro y Vilama se mezclaban, y los atacameños regaban "con todo el río", o sea, sumando el caudal de ambos ríos, como señalan los antiguos habitantes de los ayllus.

Los extensos canales requerían del buen funcionamiento, siendo de relevancia las tareas de "limpias de canal" para evitar obstrucciones y derrames de aguas (Aranda, 1964; Rivera, 1995). En esta organización única de riego, la máxima autoridad era el Juez de Aguas, un cargo de elección comunitaria desde largo tiempo entre los atacameños (Hidalgo, 1992).

A partir de 1960, el Estado de Chile comenzó los estudios para modernizar el riego en los ayllus de San Pedro de Atacama. Lo hizo a través del diseño de ingeniería hidráulica, con lo cual se uniformó el riego imitando a las asociaciones de canalistas del resto del país (Rivera, 1995: 73). En 1964 las aguas de los ríos San Pedro y Vilama fueron separadas y destinadas a regar ayllus distintos. Las aguas del río San Pedro, bajas en boro y de mejor calidad, comenzaron a regar los ayllus desde Cuchabrache-Catarpe hasta Cúcuter. Las aguas del río Vilama, en cambio, se destinaron a regar los ayllus de Vilama, Poconche, Beter y Tulor. En la nueva ingeniería, al entregarles aguas con abundancia de boro se limitaron los cultivos en estos ayllus a prácticamente alfalfa, algo de maíz y a especies silvícolas nativas de chañar y algarrobos. En cambio, en los ayllus regados por las aguas del río San Pedro, con niveles más bajos de boro, continuaron los cultivos de trigo, frutales, maíz, hortalizas y alfalfa.

La experiencia descrita nos enseña que cuando se planifica el uso del agua considerando variables de calidad, se pueden tomar acuerdos en ese sentido. Tal como en el caso de los ayllus donde quienes contaban con peor calidad de agua tenían turnos de riego más largos que las personas que disponían de mejor calidad de aguas, compensando las limitaciones productivas de regar con un agua alta en boro.

Caso destacado

GESTIÓN TERRITORIAL: EL RÍO LLUTA EN ARICA, UN ESFUERZO EN LA ACTUALIDAD

Al igual que varios de los ríos del norte grande, el Lluta y sus afluentes presentan problemas de exceso de sales, boro y arsénico, bajos pH y altas concentraciones de metales pesados, que condicionan los cultivos agrícolas y el desarrollo del valle del mismo nombre. Uno de los factores determinantes de la mala calidad del agua es el río Azufre, afluente que nace en la falda del volcán Tacora y que presenta pH muy bajos, altas concentraciones de boro, arsénico, sulfato y varios metales pesados (DICTUC, 2009).

La Junta de Vigilancia del Río Lluta, en conjunto con autoridades regionales, llevan años buscando soluciones para resolver la situación, con una perspectiva de territorio, considerando el privilegiar la calidad sobre la cantidad de agua. La decisión contemplaría dejar de incorporar los caudales del Azufre al río Lluta, evitando así el deterioro provocado por el primero. Habría menos agua, pero de mejor calidad. Hasta la fecha esa alternativa está en evaluación, porque se espera ver los efectos de la futura operación del embalse Chironta sobre la calidad del agua de la cuenca.

Figura 68. El exceso de sales, boro y arsénico, bajos pH y altas concentraciones de metales pesados, condicionan los cultivos agrícolas en la cuenca del río Lluta.

4.3.2. Gestión de calidad de aguas a nivel local: La gestión de calidad de aguas no debe ser entendida de manera lineal: lo que se haga en un nivel impacta en todos. En este sentido, el nivel local es fundamental, pues permite convocar a diversos actores comunitarios, tales como juntas de vecinos, comités ambientales, comunidades indígenas y asociaciones de productores, entre otros. Las múltiples actividades de estas organizaciones tienen impacto directo en los esfuerzos de cada agricultor en su predio.

Uno de los grandes aliados para la gestión de calidad de aguas a nivel local son los municipios, aunque suele necesitarse un trabajo permanente para conseguir esa alianza, y de esta manera lograr colocar la gestión del agua como una labor estratégica para el desarrollo comunal.

Figura 69. Los municipios pueden ser grandes aliados para la gestión de la calidad de las aguas a nivel local

Cuando se concreta el trabajo conjunto de los gobiernos locales con las organizaciones del territorio, se hace posible generar estrategias sostenibles al menos en tres elementos fundamentales:

- **Ordenanzas locales.** Son normas dictadas por el municipio que operan a nivel comunal. Precisan actividades de fiscalización y control que no están definidas. Las ordenanzas no pueden pasar por sobre la legislación nacional, pero sí ayudan al fomento, control y sanción de temas específicos como, por ejemplo, el depósito de basuras en canales o ríos en su paso por ciudades. Estos esfuerzos de trabajo conjunto son considerados por el artículo 92 del Código de Aguas, el que establece con claridad la posibilidad de las organizaciones de ser entes fiscalizadores y aportar antecedentes a los municipios para aplicar las respectivas ordenanzas.

Figura 70. Las municipalidades pueden establecer la sanción al depósito de basura en canales o ríos en su paso por ciudades.

ARTICULO 92 DEL CÓDIGO DE AGUAS

Prohíbase botar a los canales substancias, basuras, desperdicios y otros objetos similares, que alteren la calidad de las aguas.

Será responsabilidad de las municipalidades respectivas, establecer las sanciones a las infracciones de este artículo y obtener su aplicación.

Además, dentro del territorio urbano de la comuna las municipalidades deberán concurrir a la limpieza de los canales obstruidos por basuras, desperdicios u otros objetos botados en ellos.

La organización de usuarios observará el cumplimiento de la prohibición establecida en el inciso primero de este artículo e informará a la municipalidad correspondiente las infracciones de las que tome conocimiento. Del mismo modo, la organización de usuarios respectiva notificará a la municipalidad, con copia a la Dirección General de Aguas para el cumplimiento de sus funciones, de la obstrucción de canales en los casos a que se refiere el inciso tercero, señalando, al menos, el lugar en que ocurre dicha obstrucción y, de conocerse, los responsables de los hechos.

Estas presentaciones se tramitarán por el municipio de conformidad con lo indicado en el artículo 98 de la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, y su omisión podrá ser reclamable de conformidad a los artículos 151 y siguientes del referido texto legal.

Figura 71. Posibilidades de acción municipal que abre su trabajo conjunto con las organizaciones.

- **Educación ambiental para la protección de cuerpos de agua.** A través de los departamentos de educación municipal (DEM) o departamentos de administración de educación municipal (DAEM), se pueden definir estrategias de trabajo con las escuelas comunales donde se prioricen contenidos y actividades en torno a la protección de las aguas utilizadas para la producción de alimentos. Estas reparticiones municipales poseen fuentes de financiamiento que pueden fomentar los espacios de coordinación en la comunidad local.

Figura 72. Las escuelas comunales pueden priorizar contenidos y actividades en torno a la protección de las aguas.

- **Focalización de acciones de fomento productivo:** se puede efectuar a través de la coordinación con las oficinas de fomento productivo de las municipalidades. Además, los municipios, mediante convenios con INDAP, administran los programas de desarrollo local (PRODESAL) y en algunos casos programas de desarrollo territorial indígena (PDTI), los que llevan a cabo una labor clave de asistencia técnica a pequeños productores.

Figura 73. Los PRODESAL o PDTI realizan acciones de fomento productivo.

Caso destacado

TRANSFERENCIA PARA LA GESTIÓN DE CALIDAD DE AGUAS EN BIOBÍO NEGRETE: UNA EXPERIENCIA DE TRABAJO GOBIERNO LOCAL-ORGANIZACIÓN DE USUARIOS

Figura 74. Agricultores participantes del programa en la comuna de Negrete.

Aunque la realidad del sur de Chile es otra, merece la pena destacar una experiencia única en el país. Entre 2017 y 2019 se desarrolló una intervención de la Comisión Nacional de Riego en el territorio de influencia de la Asociación de Canalistas del Canal Biobío Negrete, en las comunas de Mulchén, Negrete y Nacimiento en la región del Biobío. Esta consideró un activo trabajo con el municipio de Negrete, cuya administración reconoció el valor del agua en el desarrollo local, al ser una comuna que vive de la agricultura. Para esto se concentraron esfuerzos en dos ámbitos: educación ambiental y fomento productivo.

4.3.3. Gestión de calidad de aguas a nivel predial: En los apartados anteriores revisamos alternativas y experiencias de gestión de calidad de aguas a nivel territorial y local. En ambos casos las organizaciones, ya sean de usuarios, indígenas, productivas o gremiales, cumplen un rol fundamental como líderes del proceso. Pero, reiteramos, todos los niveles de acción son importantes, por lo que es válido preguntarse ¿qué se puede hacer a nivel predial?

La tendencia marcada por normas como la FSMA en EE.UU., de la que ya hablamos, y por protocolos de certificación en buenas prácticas agrícolas (BPA) exigidos por mercados como el europeo o asiático, enfatiza que la principal responsabilidad del productor es implementar medidas que le permitan conocer, controlar y mitigar los distintos riesgos a los que se expone el agua utilizada para la producción de alimentos.

En educación se logró certificar ambientalmente por el Sistema Nacional de Certificación Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente (SNCAE-MMA) al 80% de las escuelas de la comuna, capacitando al cuerpo docente en temas vinculados a la calidad del agua y su cuidado. Además, se estableció una instancia de coordinación permanente con financiamiento municipal para la educación medio ambiental.

En el fomento productivo se alineó el financiamiento local otorgado mediante el Incentivo de Fortalecimiento Productivo (IFP) de INDAP a los participantes de PRODESAL, los que pudieron realizar inversiones para reducir el impacto ambiental de su actividad productiva. Gracias a ello se financió la implementación de cercos eléctricos solares y bombas solares para evitar el ingreso de animales a canales de riego. Así se sacó un mayor provecho a los recursos de fomento productivo en la comuna, a partir del liderazgo ejercido por la organización de usuarios y apoyado por el municipio.

Figura 75. En las comunas de Mulchén, Negrete y Nacimiento lograron fondos para instalar cercos eléctricos que evitan el ingreso de animales a canales de riego.

Se necesita hacer una planificación de la gestión que asegure la calidad del agua. Además de ser capaz de demostrar que esta es de una calidad óptima, lo cual puede ser una condición puntual sujeta a imprevistos, se trata de proyectar una estrategia permanente que permita corregir el impacto de eventos que afecten la calidad de la fuente de agua. El principal beneficio es tener la oportunidad de tomar decisiones respecto al tema y así minimizar el riesgo de incumplir normativas o afectar los cultivos al regar con agua de mala calidad.

A nivel predial la clave está en considerar la gestión de la calidad del agua como un proceso más del sistema productivo, siendo indispensable implementar al menos las siguientes acciones:

a) Estudiar el predio e identificar riesgos a nivel predial. Por ejemplo hay que revisar lo que ocurre en el punto de captación del agua, filtros, redes de riego (en caso de riego presurizado) o en la infraestructura predial (bodegas, baños u otros).

Figura 76. Calidad de aguas como proceso del sistema productivo.

b) Establecer un programa de monitoreo de calidad de aguas que se mantenga en el tiempo y considere los parámetros que exigen las certificaciones.

c) Gestionar los problemas encontrados mediante protocolos de acción y soluciones tecnológicas.

Figura 77. Ordenamiento predial.

Un elemento fundamental es el ordenamiento predial centrado en la protección de las fuentes de agua. Se debe definir la ubicación de la infraestructura que pueda contaminarlas, intentando alejar el máximo posible las instalaciones sanitarias, letrinas, bodegas de agroquímicos o cualquier otro elemento riesgoso, de canales, pozos, esteros, ríos u otra fuente.

Figura 78. Letrinas o bodegas de agroquímicos deben alejarse al máximo de canales, pozos, esteros y ríos.

PROGRAMA CAMPO LIMPIO DE AFIPA: ALTERNATIVA PARA EL CORRECTO TRATAMIENTO DE ENVASES DE AGROQUÍMICOS.
El programa Campo Limpio de la Asociación Nacional de Fabricantes e Importadores de Productos Fitosanitarios (AFIPA) es una solución ambiental para los envases vacíos de fitosanitarios y fertilizantes foliares que se utilizan en la agricultura. Inició su funcionamiento el año 2001 en la Región Metropolitana y actualmente funciona de Arica a Coyhaique, a través de centros de recepción fijos y puntos de recepción móviles de envases vacíos de productos químicos. La recepción es gratuita y a todo usuario, cumpliendo los requerimientos de triple lavado. Mayores informaciones en www.campolimpio.cl

Además del ordenamiento, un segundo aspecto que apoya la gestión predial de calidad de aguas es la mantención de un cuaderno de registro o cuaderno de campo para llevar el control de las labores planificadas y realizadas. Se trata de un documento en el cual el agricultor anota las labores realizadas en la temporada y las que quedan por realizar. Formatos existen muchos, lo importante es generar un registro adecuado a las necesidades del productor, que ayude a conocer la planificación y el seguimiento mediante el historial del trabajo en el campo.

Nº DE PARCELA AGRÍCOLA _____

SEGUIMIENTO, CONTROLES Y TRATAMIENTOS	CONTROL DE MALAS HIERBAS, PLAGAS Y ENFERMEDADES (Control químico, biológico y biotécnico)	Fecha									
		Nombre comercial									
		Materia activa (%)									
		Forma de aplicación									
		Gasto de producto (g, kg, l/parcela)									
		Mala hierba/Parásitos a controlar									
		Nº de orden de tratamiento									
	SEGUIMIENTO DE PLAGAS	Fecha									
		Nº cepas observadas									
		Nº órganos por cepa									
		Parásito observado									
		Nivel de ataque									
		Tratamiento (Sí/No)									
	CAPTURA DE TRAMPAS	Fecha									
		Polilla del racimo									
		Fecha									
		Polilla del racimo									

Figura 79. Ejemplo de cuaderno de campo.

Finalmente, existe una serie de tecnologías utilizables para el mejoramiento de la calidad del agua. Lo relevante es usarlas en el marco de una estrategia de gestión, pues si no el impacto puede ser temporal e ineficaz.

Figura 80. Humedal artificial en zona árida.

Hay que destacar que en muchos casos al hablar de tecnología no debemos imaginar solo fierro y componentes electrónicos. En la capacidad de plantas y microorganismos también se pueden encontrar buenas respuestas a los desafíos de la gestión de la calidad del agua predial. Las soluciones basadas en la naturaleza (conocidas como NBS, del inglés "Nature Based Solutions") se encuentran en auge por su facilidad de manejo e implementación. Se definen como soluciones tecnológicas respaldadas en procesos que ocurren espontáneamente pero que, además, aportan beneficios ambientales, sociales y económicos. Una de ellas corresponde a los humedales artificiales, tecnología cada vez más masiva en nuestro país y que ofrece una alternativa a pequeña escala para el tratamiento de aguas servidas.

HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS.

Una de las fuentes más comunes de contaminación del agua de riego son las aguas servidas no tratadas que se descargan desde viviendas rurales sin conexión a una red de saneamiento. En muchos casos la napa freática (agua subterránea) está contaminada con bacterias fecales. Esto indica que la instalación de fosas sépticas, si bien puede ser una medida de saneamiento efectiva en términos individuales, acarrea perjuicios importantes cuando se trata de grupos de viviendas con sus fosas sépticas concentradas en pequeñas superficies.

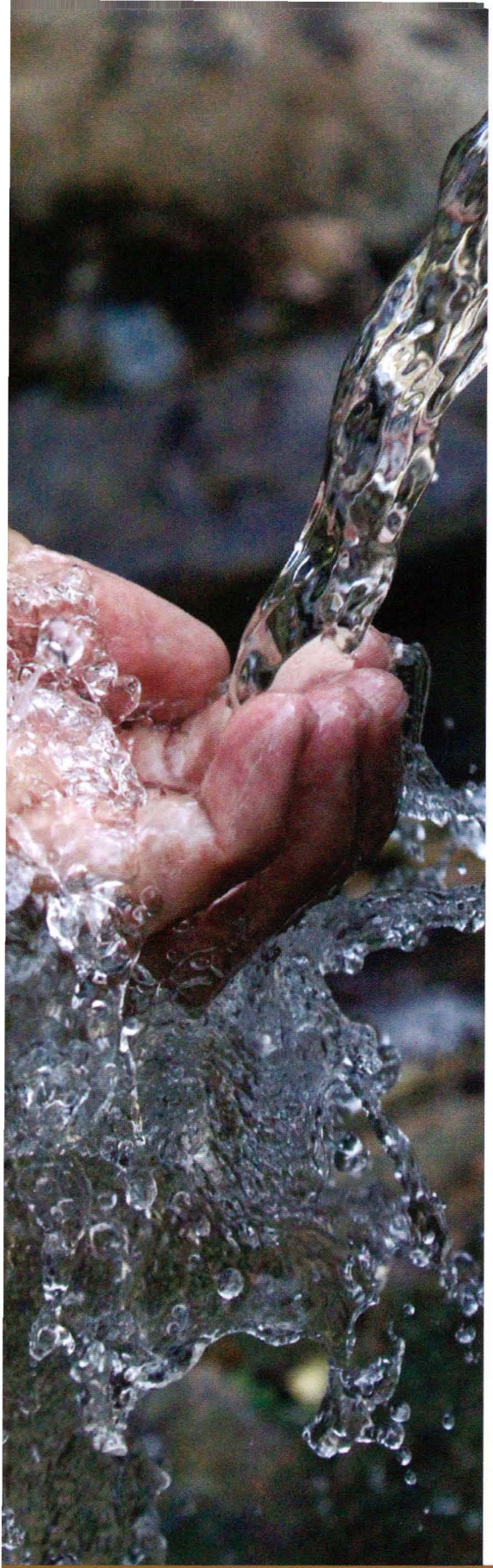
La Ley 20.998, además de regular los servicios sanitarios en el campo, pretende incorporar al sector rural en la recolección y el tratamiento de aguas servidas, para lo que será necesario implementar nuevas alternativas tecnológicas de tratamiento adecuado de las aguas residuales de viviendas. Una de ellas corresponde a los humedales artificiales, sistemas de depuración donde se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en las zonas húmedas naturales (de tipo físico, químico y biológico). En resumen, se recrea un sistema de depuración natural para resolver un problema de contaminación frecuente.

Esta información y antecedentes adicionales respecto a la construcción en humedales en zonas áridas se encuentra en: Delgadillo, Camacho y Otros (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso de Agua, Cochabamba, Bolivia.
https://es.slideshare.net/ManuelRodriguezRojas1/depuracion-de-aguas-residuales-por-medio-de-humedales-artificiales

Como hemos visto hasta acá, existen experiencias de gestión de calidad de aguas en nuestro país. Estas se articulan en distintos niveles y, además del esfuerzo individual de los agricultores y sus organizaciones, se hace indispensable la incorporación de otros actores. Sobre todo a nivel territorial se requieren liderazgos dispuestos a enfrentar largos procesos de gestión y acuerdo. Esto no siempre es fácil, se debe encontrar actores e instituciones que quieran involucrarse en la gestión de la calidad del agua. Ha habido buenos resultados cuando la experiencia de líderes tradicionales se suma a dirigentes jóvenes y mujeres sensibles a los temas vinculados a gestión ambiental y calidad. Desde el punto de vista institucional buenos aliados han sido la CORFO, INDAP, CNR y algunos municipios.

Los desafíos son variados, pero todos apuntan a considerar la gestión de la calidad del agua como un proceso más del sistema productivo, incorporando soluciones a nivel de organizaciones y también a nivel predial. No hay que olvidar que el uso de tecnologías se debe enmarcar en una estrategia de gestión, pues si no el impacto puede ser temporal y muy poco eficaz. En este sentido, les invitamos a revisar el próximo capítulo, donde se presentan algunas experiencias prediales de gestión de salinidad en zonas áridas.

Figura 81. Agricultura en zona árida.



Capítulo V

Tecnología para el monitoreo y mejoramiento de la calidad de aguas

Es indudable que cuando se logra tener el control de la cantidad de agua que se debe aplicar al cultivo, un segundo elemento determinante es la calidad de esta agua. Bajo condiciones de aridez, como sucede en ecosistemas del norte de Chile, el riesgo de que los cultivos se vean afectados en su desarrollo y crecimiento por exceso de sales es muy común. En hortalizas de hoja como la lechuga, sus hojas se reducen en número y se secan en sus bordes, las raíces crecen menos, en las semillas la germinación se reduce. Esta es una especie considerada como moderadamente sensible a la salinidad.

Por otro lado, la agricultura de la región enfrenta problemas de exceso de elementos específicos, como lo son el boro, arsénico y zinc. Existen diversos mecanismos y procedimientos que permiten convivir con las sales y lograr rendimientos de cultivo que aseguran la rentabilidad del negocio.

Es muy difícil realizar agricultura con aguas que contienen niveles de salinidad muy altos, su manejo y tratamiento abren una posibilidad real de introducir sistemas agrícolas intensivos.

5.1. Efecto de las sales sobre el cultivo

Para convivir con un exceso de sales en el ecosistema agrícola es necesario entender bien los mecanismos que generan problemas en el desarrollo del cultivo, los niveles de daño que pueden llegar a causar, cómo mitigar el exceso de sales y su efecto, además de realizar prácticas de monitoreo y medición.

La salinidad afecta el crecimiento y desarrollo general de las plantas porque altera sus equilibrios nutricionales, la interacción de sus hormonas, y por otra parte afecta la presión del agua en el interior de los tejidos de la planta. También impacta en la composición de los granos y su rendimiento. Un ejemplo visible es el aumento de daños en las hojas (necrosis) y su cambio de un color verde a uno amarillento (clorosis), lo que conduce a la muerte y caída de estas.

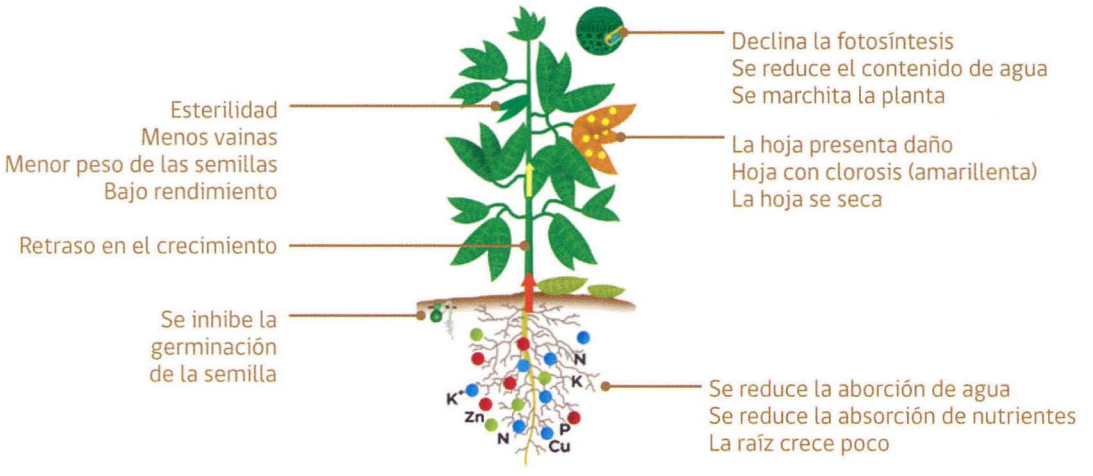


Figura 82. Daños por exceso de sales (estrés salino).

Existen cultivos que poseen mayor capacidad para sobrevivir y producir bajo condiciones de riego con agua salina, a los cuales se los llama plantas "tolerantes". La tolerancia a las sales corresponde a la capacidad que tiene el cultivo para soportar la salinidad del suelo y del agua sin experimentar efectos perjudiciales en su desarrollo y producción.

Los cultivos tienen diversas estrategias para ser más tolerantes a la salinidad y los que cuentan con formas más efectivas de responder al exceso de sal, por ejemplo sus raíces actúan como filtro permitiendo que ingrese solo un tipo de nutrientes en la planta, estos cultivos poseen mayor tolerancia o son menos susceptibles.

Nosotros lo hicimos

AGUAS LIMPIAS CULTIVOS MÁS RENTABLES

Irma Castillo, agricultora de Calama y su experiencia con la planta de tratamiento de sales

Figura 83. Diversidad de cultivos bajo invernadero regados con agua tratada.

Irma nos cuenta que con gran esfuerzo e ingenio tomaron la decisión, junto a su marido, de incorporar tecnología para mejorar la calidad del agua de un pozo profundo existente en su parcela. Esto fue posible a través de fondos concursables del INDAP, que permitieron la habilitación de una planta de tratamiento del agua en base a filtros, para retener las sales en exceso, entre ellos calcio y magnesio. El proceso que usaron para reducir la concentración de sales se llama "osmosis inversa". El monto de la inversión fue aproximadamente de $4.000.000, de los cuales se subsidió alrededor de un 60% (unos $2.500.000), ellos pagaron en torno a $1.500.000.

Hoy en día esta productora cuenta con una planta de tratamiento compuesta por dos filtros de membrana que filtran sólidos en suspensión, con diámetro de orificio de 1 y 5 micrones respectivamente, y un filtro de membrana, que actúan reteniendo un complejo de minerales en exceso en el agua (sodio, cloruros, sulfatos y otros). Dicha planta se complementa con el equipo de osmosis inversa para la disminución de la concentración de sales de sodio en el agua. El rendimiento es de 1.500 litros de agua limpia por cada tres mil litros de agua sin tratar en 24 horas.

Irma manifiesta que se habilitó en su predio un sistema de bajo costo, que disminuye en forma efectiva la concentración de sales en las aguas de riego hasta niveles tolerables para gran parte de los cultivos. Esto ha ampliado sus posibilidades para desarrollar una agricultura más activa, ya que se pueden establecer cultivos más rentables con una mayor variedad. "Se acabaron mis problemas con las sales y ahora puedo cosechar mis verduras de buena calidad", comenta Irma.

Figura 84. Irma opina que **"es impactante poner otras hortalizas que antes eran imposibles por la mala calidad del agua".**

Los resultados permiten disponer de una solución tecnológica capaz de satisfacer distintos requerimientos de calidad con relación a la concentración de sales contenida en el agua de riego. Es importante que la capacidad de purificación y el costo de los equipos esté de acuerdo con los ingresos que van a permitir generar. Esta innovación tecnológica corresponde a un sistema diseñado para ser usado en combinación con sistemas de riego mecanizado, en este caso riego por goteo y sistema hidropónico NFT. El nombre NFT viene de las iniciales en inglés: "nutrient film technique", que significa "técnica de la película de nutrientes". El costo de operación está asociado a la renovación de las membranas de los 3 filtros y al consumo de energía eléctrica. En cuanto al reemplazo de membranas, se estima un costo de $250.000 anual (valor a inicios de 2020).

La planta le permitió incorporar un sistema de producción hidropónico NFT iniciando el cultivo de lechugas, que hasta entonces era imposible. Antes tenía solo alfalfa y producción orgánica en muy pequeñas superficies con sustrato orgánico sobre mesas en un sombreadero.

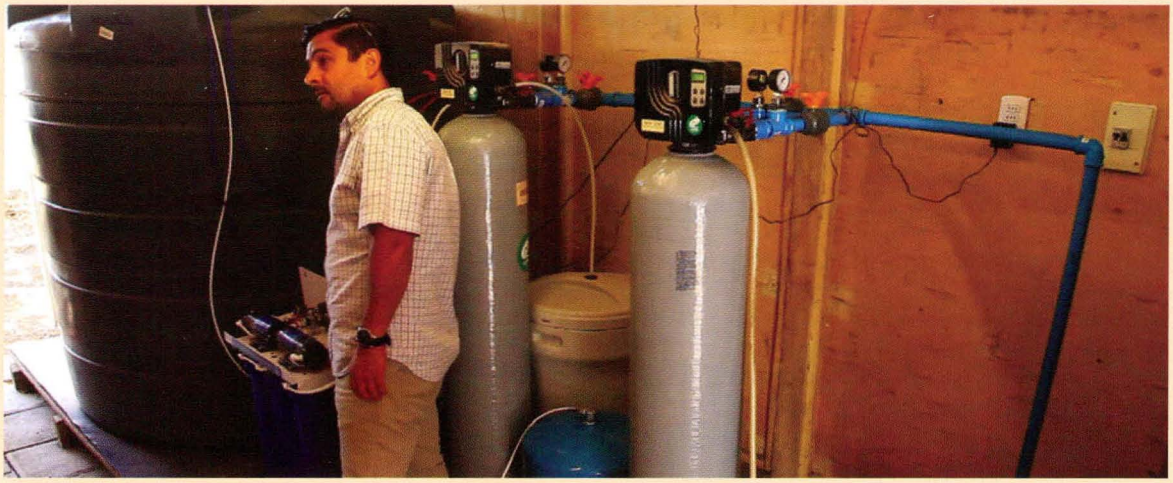


Figura 85. Equipo de Osmosis Inversa que abastece el sistema de cultivo hidropónico.

En la tabla 5 se muestra una lista de especies según tipo de tolerancia a la salinidad y los valores de conductividad eléctrica respectivos. La conductividad eléctrica (CE) es una manera de medir la salinidad. Las unidades de medición que se usan son los microSiemens por centímetro (µS/cm). Mientras más alto es el número de µS/cm, mayor es la salinidad. En las páginas siguientes se explica un poco más.

Tabla 5. Susceptibilidad o tolerancia a la salinidad de distintos cultivos.

Especie	CE límite µS/cm	Tipo de tolerancia
Zanahoria	1,0	Sensible
Cebolla	1,2	Sensible
Lechuga	1,25	Moderadamente sensible
Maíz dulce (*)	1,7	Moderadamente sensible
Apio	1,8	Moderadamente sensible
Alfalfa (*)	2,0	Moderadamente sensible
Brócoli	2,8	Moderadamente sensible
Higuera	4,2	Moderadamente sensible
Olivo	5,0	Moderadamente sensible
Alcachofa	6,1	Moderadamente sensible
Cebada	8,0	Tolerante

Fuente: Maas, E.V. y Hofmann, G.J., Crop Salt Tolerance, 1977.
*Existen tipos de alfalfa característicos de la zona de Atacama que se comportan como especies tolerantes, con valores de CE en el agua de riego de 3 µS/cm, o sea mucho más de lo que indica la tabla para esa forrajera.

5.2. Medición, monitoreo y seguimiento de salinidad en agua de riego

Para establecer estrategias de atenuación del problema de salinidad en el agua de riego es necesario conocer en qué nivel de concentración se encuentran las sales. Por lo tanto, en primer lugar, debemos comprender cómo medirla.

La propiedad natural que permite medir el nivel de sales en el agua de riego es la conductividad eléctrica o CE. La CE corresponde a la medida de la capacidad de una sustancia, en este caso del agua, para dejar pasar la corriente eléctrica a través de ella. En palabras técnicas, la CE está relacionada con la presencia de sales disueltas que se encuentran como iones positivos y negativos, los que son capaces de transportar la energía eléctrica si se le aplica una corriente eléctrica al líquido.

Figura 86. Esquema explicativo de la conductividad eléctrica (CE). A mayor concentración de sales en el agua, mayor facilidad para conducir la electricidad y mayor el valor de la conductividad eléctrica.

El agua para conducir la electricidad necesita tener sales disueltas, y cuantas más tenga, mejor conducirá la corriente, por lo que midiendo la conductividad podemos saber cuántas sales disueltas hay.

La unidad de medida usada en todo el mundo que refleja el nivel de salinidad en el agua de riego, como ya dijimos, es el microSiemens por centímetro, cuya abreviatura es µS/cm.

¿Cuáles son los niveles de conductividad del agua?

Las zonas donde se encuentre y circule el agua determinan la concentración de sales que contiene. En zonas ricas en minerales, como la Cordillera de los Andes, existe una alta probabilidad de encontrar mayor nivel de sales en el agua en los ríos que fluyen por ella. A continuación, se muestra una tabla con algunos ejemplos de conductividad eléctrica observada en tipos de agua según norma chilena (NCh 1.333) y en ríos de la región de Atacama. La norma NCh 1.333 fija un criterio de calidad del agua de riego.

Tabla 6. Ejemplos de conductividad eléctrica en agua en distintos casos en Chile.

Tipo de agua	CE µS/cm
Agua destilada	0,5
Agua potable (Norma Chilena)	0,5
Agua de riego (Norma Chilena)	0,75
Agua del río Salado	4,0
Agua del río Loa en Chiu-Chiu	3,5
Agua del río San Pedro	1,4

Fuente: elaboración propia a partir de distintas fuentes bibliográficas.

¿Cómo medir el nivel de sales en el agua?

Existe un instrumento denominado "conductivímetro" que permite realizar mediciones del agua de riego. Se trata de un instrumento de fácil uso y aplicación. Cuenta con una pantalla digital donde indica el nivel de sales que presenta el agua expresado en µS/cm. Un conductivímetro costaba del orden de $200.000 al momento de escribir el manual.

Para utilizar el equipo solo debe oprimirse el botón de encendido, observar que en la esquina superior derecha de la pantalla se muestra la unidad de medida µS/cm, para luego proceder con la medición. Se sumerge el extremo del conductivímetro no más allá de 2 a 3 cm en el agua que se desea evaluar, aparece en pantalla el valor asociado al nivel de sales en solución, se espera unos segundos a que se estabilice el valor en pantalla y se registra.

El monitoreo y seguimiento del nivel de sales en el agua debe ser una práctica de manejo común en un programa de riego. Se recomienda una frecuencia semanal de medición y tener un cuaderno de registro para observar los cambios, de modo de tener capacidad de reacción para aplicar prácticas de manejo que atenúen un exceso de sales, como por ejemplo el lavado de sales realizando riegos con mayores volúmenes de agua.

Figura 87. Detalle de información en pantalla y botones en un conductivímetro.

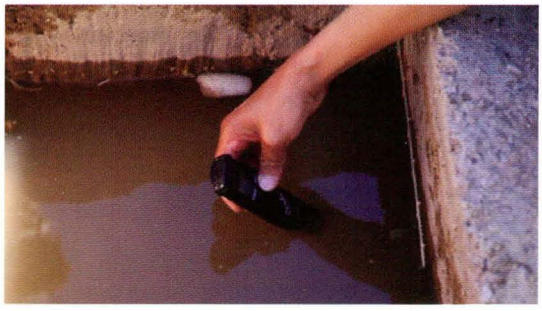


Figura 88. Control de la conductividad eléctrica (CE) en aguas superficiales (Chiu-Chiu).

Figura 89. Conductivímetro en agua de riego, dispositivo para medir conductividad eléctrica (CE).

El seguimiento y monitoreo de los niveles de sal en el agua de riego es mucho más intensivo en sistemas hidropónicos, por ejemplo raíz flotante o hidroponía en sustratos, de los cuales ya hemos hablado en páginas anteriores. La frecuencia de medición debe ser al menos dos veces al día, en forma continua, desde el inicio al término del ciclo del cultivo. Se debe llevar registros de manera minuciosa y a partir de dicha información tomar decisiones en la conducción de los programas de riego y de fertirriego. El control riguroso es de gran importancia pues favorece la detección de imprevistos en el momento y permite corregirlos en forma inmediata.

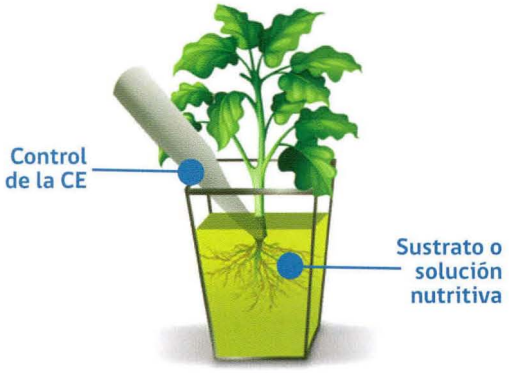


Figura 90. Esquema de monitoreo de conductividad eléctrica en sistemas hidropónicos.

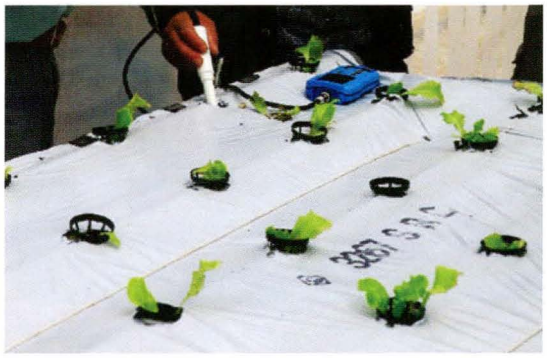


Figura 91. Aplicación de monitoreo de conductividad eléctrica en sistemas hidropónicos en Calama.

Regar con aguas de mala calidad, es decir, con exceso de sales o presencia de determinados elementos contaminantes, tiene como consecuencia que muchos cultivos vean afectado su potencial productivo. El impacto es mayor cuanto más sensibles sean las plantas. Una tecnología alternativa para atenuar la problemática de las sales que ha demostrado ser efectiva en la zona norte de Chile es la osmosis inversa (que se explica en la siguiente sección), a la cual se le pueden adicionar equipos de abatimiento de iones tóxicos para eliminar problemas tales como exceso de boro y arsénico.

5.3. Algunas recomendaciones para defenderse del problema de las sales

Lo más importante en un suelo con problemas de sales en exceso es que el agua circule correctamente, horizontal y verticalmente. Esto se logra mediante riego por goteo -controlando el tiempo de riego- o en riego por inundación en Eras, con aplicación del agua de manera controlada y uniforme.

Luego, se excava el suelo con una pala (calicata) para verificar hasta dónde alcanza la humedad en profundidad de suelo con el tiempo de riego utilizado.

Recomendación:
Como buena práctica agrícola, de vez en cuando, por ejemplo, cada 30 días, se dan tiempos de riego un poco más largos para asegurar que el agua esté más tiempo en el suelo y pueda disolver las sales presentes en él y desplazarlas hacia zonas más profundas, donde no causen daño al cultivo.

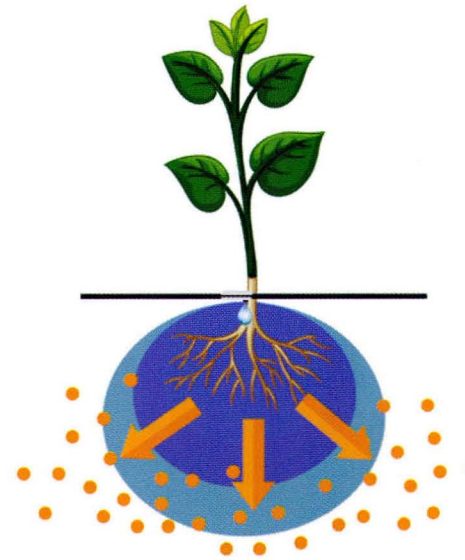


Figura 92. Desplazamiento de sales fuera del alcance de las raíces por efecto del riego.

El riego por bordes o Era en cultivo en terrazas es un mecanismo que evita la erosión y aumenta la infiltración de agua, aumentando la productividad de los terrenos y el lavado de sales minerales.

El uso de cubiertas vegetales disminuye la velocidad de escurrimiento del agua. También evita la deshidratación que provocan el sol y el viento al actuar sobre la superficie del suelo. Una menor deshidratación significa la existencia de más agua en el suelo para disolver sales y, por otro lado, mayor escurrimiento de las sales disueltas que se desplazan más abajo que la profundidad de raíces.

5.4. Osmosis inversa para bajar el nivel de sales

Uno de los mayores problemas que se presenta en la superficie agrícola del norte de nuestro país es la existencia de sales disueltas que se encuentran a menudo en el agua. También están presentes en el agua pequeñas cantidades de material orgánico, tierra, arcilla, limo, partículas minerales y microrganismos. Además pueden encontrarse pequeñísimas cantidades de boro y arsénico, los cuales resultan nocivos para el desarrollo de diversos cultivos.

Cuando el lavado de sales con el riego no es suficiente, una opción para resolver el problema es usar la osmosis inversa. Hace varias décadas se desarrolló esa técnica para purificar el recurso hídrico.

El proceso para el filtrado del agua se logra gracias a la acción de un equipo con membranas semipermeables y filtros. El agua de riego ingresa al equipo, donde es sometida a la osmosis inversa. Aquí se separan las sales y salen dos productos: un permeado con bajísima concentración de sales (el agua tratada) y un concentrado de sales o salmuera. Es necesario advertir que este concentrado se ha convertido en una de las principales desventajas de la osmosis inversa, a causa de que la salmuera no puede ser depositada en cualquier lugar, porque puede producir un daño medioambiental. Una alternativa de manejo es mezclarla con agua cruda y usarla para regar cultivos que tengan una alta tolerancia a las sales.

Existen fuentes de financiamiento y subsidios especiales para inversión en infraestructura y equipamiento en manejo y calidad de aguas, como la Ley 18.450 de fomento al riego y drenaje de la Comisión Nacional de Riego o el Programa de Riego Intrapredial del INDAP. Para mayor información, visite las páginas web: www.cnr.gob.cl y www.indap.gob.cl

Equipos de osmosis inversa

El sistema de tratamiento de Irma Castillo (página 56) está conformado por una unidad de filtrado físico, el equipo de impulsión en el pozo, la unidad de retención o abatimiento de minerales presentes en exceso en el agua, y un equipo de osmosis inversa. El agua tratada se recolecta en un estanque desde el cual, mediante un equipo de bombeo, se abastece la red de riego.

Estos sistemas deben ser seleccionados de acuerdo a las necesidades específicas del tratamiento requerido, de manera de invertir lo justo y necesario. Las dimensiones de la planta se determinan de acuerdo a la concentración de sales en el agua a tratar y al nivel de sales requerido en el agua tratada.

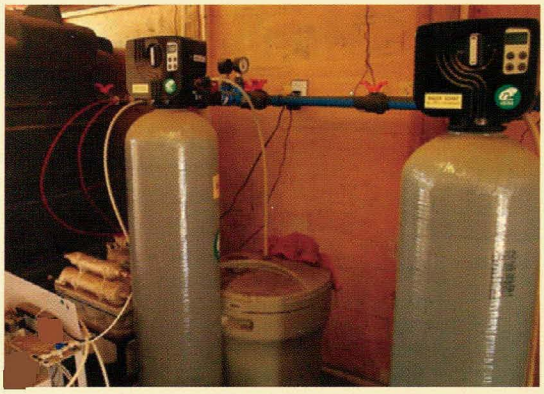


Figura 93. Planta de tratamiento con uso de filtros y equipo de osmosis inversa, que cuenta con un estanque plástico de cinco mil litros para acumular el agua tratada.

Figura 94. El agua tratada se acumula en el estanque y desde ahí es impulsada por un equipo de bombeo para el riego en el sector de cultivos.

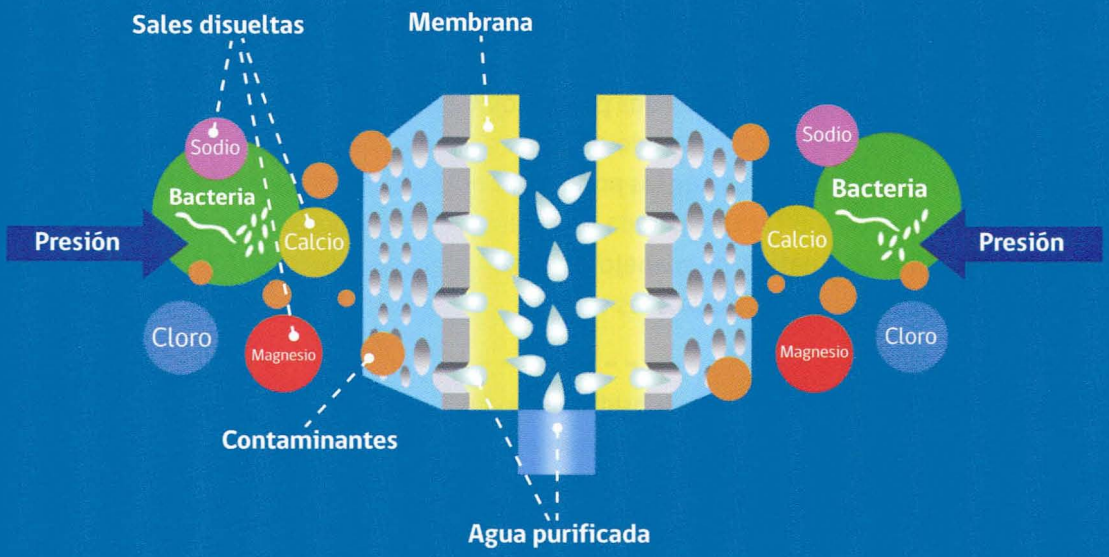


Figura 95. Esquema de la función de las membranas en una planta de osmosis inversa.

Un elemento importante de buenas prácticas agrícolas a considerar para que el proceso de depuración de sales sea efectivo con la osmosis inversa, es someter el agua que se desea purificar a un tratamiento previo, mediante decantadores y filtros. El objetivo es retirar cualquier tipo de sólido en suspensión o material que pueda dañar las membranas del equipo que lleva a cabo el proceso.

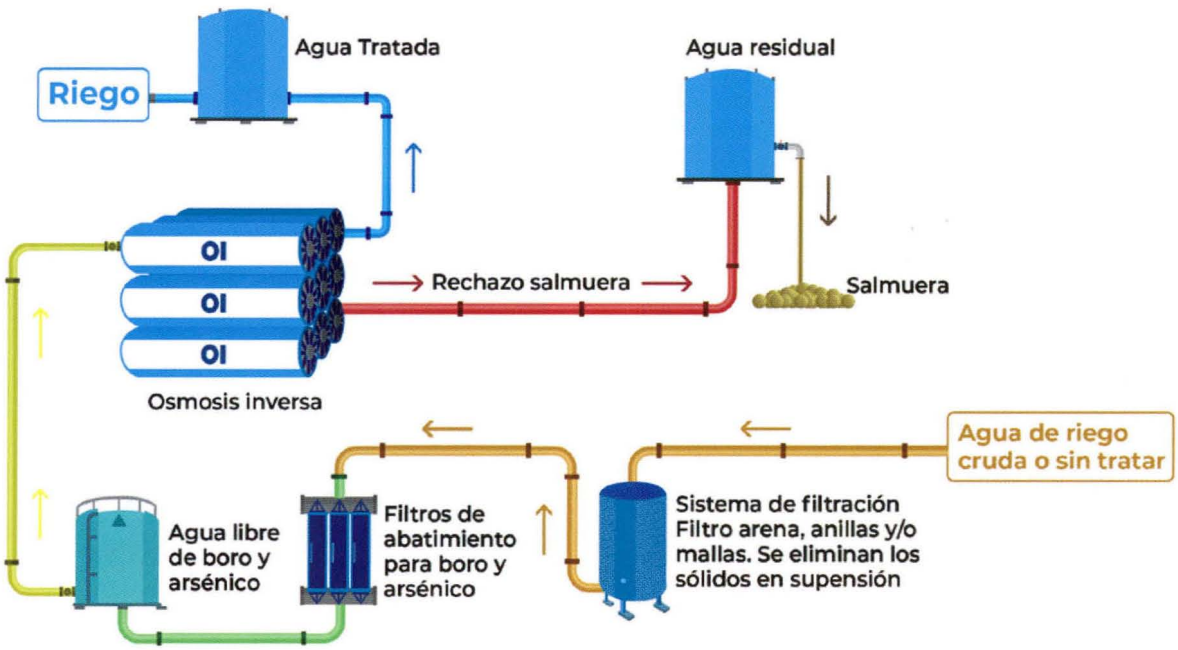


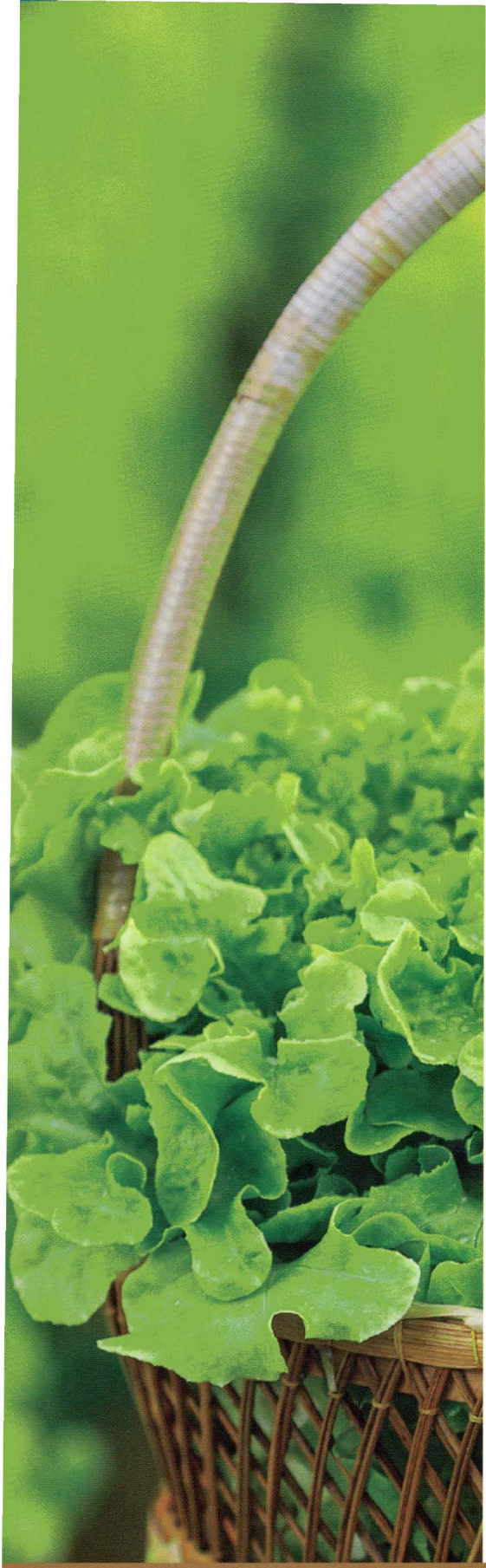
Figura 96. Esquema de las fases del proceso de desalinización.

El proceso de tratamiento graficado en la figura 96 está desarrollado por una unidad de filtrado físico (anillas y cuarzo) más las unidades de abatimiento de boro y de arsénico. En lo posible se hace un estanque o se adapta especialmente una zona del canal de riego para la toma del agua sin tratar. Una bomba impulsa el agua a través de las unidades y al término del proceso se recolecta en un segundo estanque que abastece la red de riego.

Estos sistemas deben ser seleccionados de acuerdo a las necesidades específicas del tratamiento requerido, de manera que los costos estén dentro de lo justo y necesario. Las dimensiones de la planta se determinan de acuerdo con la concentración inicial de sales en el agua a tratar y el nivel máximo de boro, arsénico y sales a los que se necesita llegar en el agua tratada.

Figura 97. Planta de tratamiento de osmosis inversa con capacidad de proceso de 1.000 litros/hora, cuenta además con dos filtros para el abatimiento de boro y arsénico.

Es importante tener en cuenta los costos de operación de estos equipos, siendo el más relevante aquel asociado a los requerimientos de presión del sistema. Por ejemplo, para abastecer un invernadero de 160 m² y permitir el correcto paso del agua a través de las membranas filtrantes, se necesitan en promedio 2,5 bares (unidad de presión). Dicha presión la otorga un equipo de bombeo eléctrico de 1,5 HP y, dependiendo del número de horas de operación de la bomba, será el costo asociado al consumo por concepto de energía eléctrica.



Palabras finales

En este manual de riego se han entregado algunos conocimientos básicos sobre las mejoras que más sirven en el caso de zonas áridas como las que se encuentran en el norte de Chile.

Si se aplican bien, pueden aumentar de manera importante las alternativas de cultivo, la superficie y la calidad de los productos, lo que se traduce en más ingresos para el agricultor.

Por supuesto hay muchas tecnologías además de las mencionadas aquí, y también muchas formas de perfeccionar lo que se ha descrito de manera sencilla para que todos lo puedan entender y aplicar.

Recomendamos a los que quieran profundizar la información que se acerquen a los programas de asesoría disponibles en su zona (Indap, CNR y DGA), tanto para saber sobre los cultivos como para hacer las evaluaciones económicas.

Hay instrumentos de fomento que aportan recursos para los buenos proyectos de aprovechamiento del agua. Postular a ellos no es tan difícil como puede parecer al principio, solo hay que ser bien ordenado, paciente, constante, optimista y contar con un buen apoyo técnico para cumplir con todos los requisitos.

El agua es un bien precioso y podemos sacarle un gran provecho en beneficio propio y de las demás personas.

Bibliografía

Ajjaro, A. et al. 1990. Estudios agrícolas para el desierto de Atacama. Investigación y Progreso agropecuario, IPA La Platina Nº 59.

Aquavant. 2018. Desalinización de aguas salobres. http://www.aquavant.cl/linea-de-negocios/plantas-desalinizadoras/desalinizacion-de-aguas-salobres/

Comisión Nacional de Riego. 2017. "Diagnóstico recursos hídricos en riego sustentable cuenca Loa y Salado". Informe Final. Arrau Ingeniería SPA.

López G., J. et. al. 2005. Desalación con menor costo energético. VI Simposio del agua en Andalucía.

Reckmann, O. 1997. Tolerancia de la frambuesa (*Rubus idaeus L.*) a diferentes tipos y niveles de salinidad durante la etapa reproductiva. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Programa de Hidrociencias. Montecillo, Méx. 105 p.

Reckmann, O. 2011. Fibra de coco, un sustrato con grandes ventajas. Revista Red agrícola Nº42, noviembre.

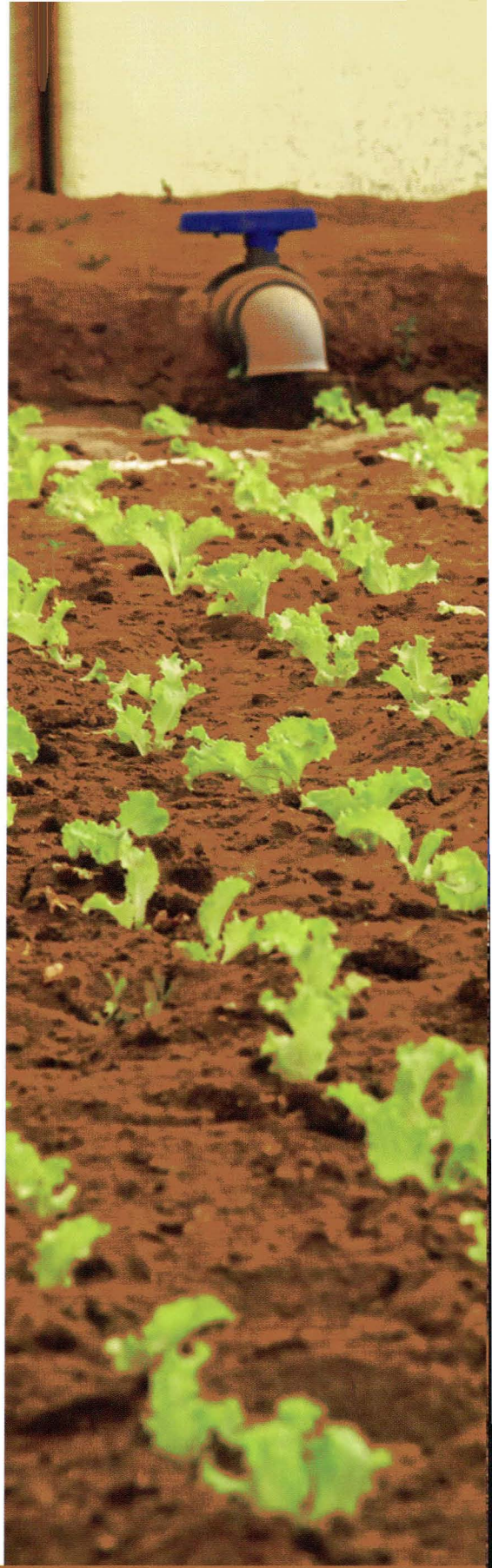
Reckmann, O. y Felmer, S. 2003. Sistema de aducción californiano. Convenio INIA-Comisión Nacional de Riego-Seremi VI región.

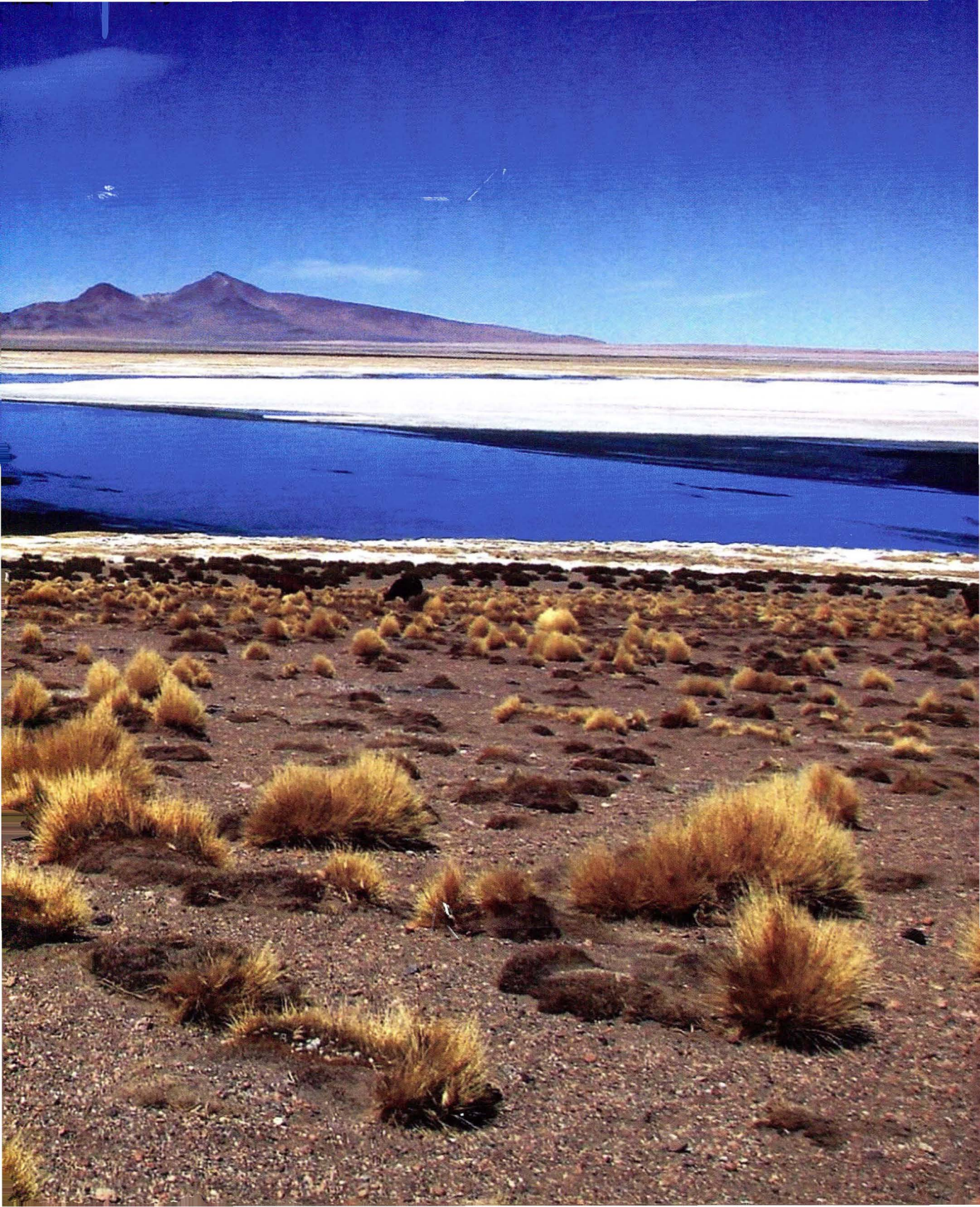
Reckmann, O. y Vergara, J. 1999. Instalación, operación y mantención de equipos de riego localizado. Convenio INIA-Comisión Nacional de Riego.

Sánchez, M. et. al. 2012. Fertirrigación del maíz calameño (*Zea Mays,* var. Calama) bajo condiciones de suelos salino-sódicos en el sector de Cerro Negro, Calama. 63º Congreso Agronómico de Chile. Temuco.

Semino-Zelada, F. 2005. Producción de agua de mesa por ósmosis inversa para autoabastecimiento de UDEP. Tesis. Facultad de Ingeniería, Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2238/ING_550.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sepúlveda, Molina y otros (2015). Aguas, riego y cultivos: cambios y permanencias en los ayllus de San Pedro de Atacama. Estudios Atacameños. Arqueología y Antropología Surandina. Número 51. Páginas 185-206.





CNR
Ministerio de Agricultura

Gobierno de Chile

Mejor Riego para Chile

yo cuido el agua

Manual de **riego para agricultura** de **zonas áridas** en el norte de Chile

2020

WWW.CNR.CL