



FACULTAD DE AGRONOMÍA
E INGENIERÍA FORESTAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

RIEGO EN HORTALIZAS

**Tecnologías apropiadas para mejorar
eficiencia de uso y calidad de agua para una
producción sostenible e inocua**

Proyecto Conicyt Acción Regional “Investigación, desarrollo e innovación para mejorar la eficiencia de uso e inocuidad del recurso hídrico en sistemas de producción hortícola de la Región Metropolitana” (ARII600006).



RIEGO EN HORTALIZAS

Tecnologías apropiadas para mejorar eficiencia de uso y calidad de agua para una producción sostenible e inocua

EQUIPO DE TRABAJO



**Facultad de Agronomía e Ingeniería
Forestal Pontificia Universidad Católica
de Chile**

Pilar M. Gil, Ing. Agrónomo, Dr.
Cristián Barrera, Ing. Agrónomo
Daniela Cea, Ing. Agrónomo, MSc.
Samuel Contreras, Ing. Agrónomo, PhD
Luis Gustavo Díaz, Ing. Agrónomo, MBA.



**Facultad de Ecología y Recursos
Naturales.**
Universidad Andrés Bello, Chile.

Aiko Adell, Médico Veterinario, PhD



**Western Institute for Food Safety and
Security, University of California-Davis,
USA.**

Edward R. Atwill, Médico Veterinario, PhD

IMPORTANCIA DEL RIEGO EN PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS

En Chile existen aproximadamente 70.706 hectáreas destinadas a la producción de hortalizas frescas (ODEPA, 2018), de las cuales cerca de un 30% se encuentra en la Región Metropolitana (21.894 hectáreas) (ODEPA, 2018).

El rubro de las hortalizas es muy importante en Chile debido a que involucra un alto número de pequeños productores (más de 90 mil de acuerdo al último Censo Agropecuario) y a que el abastecimiento nacional de éstas es primordialmente interno. Sin embargo, el rubro presenta una serie de amenazas, entre las cuales se pueden nombrar riesgos agroclimáticos y problemas de comercialización e inocuidad alimentaria.

Las especies hortícolas tienen un requerimiento de agua para riego de entre 2.000 a 8.000 m³/ha por ciclo productivo, dependiendo de la especie y sistema de riego. Sin embargo en general la producción de hortalizas en la RM se efectúa con métodos de riego tradicionales (surco) con eficiencias de riego que fluctúan entre el 40 y 60% y con baja calidad de agua.

Debido a esto, estos sistemas productivos son aún más sensibles a la escasez hídrica, lo que obliga a que en un escenario de cambio climático exista necesidad de implementar sistemas de riego de mayor eficiencia y mejorar la calidad del recurso.

CALIDAD DE AGUA Y PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS

En el Mundo y también en Chile existe una creciente preocupación por la producción de alimentos sanos e inocuos.

Las hortalizas son productos que generalmente se consumen frescos y que pueden ser fuente de patógenos que afectan a las personas causando enfermedades gastrointestinales.

Las hortalizas pueden ser causa de enfermedades debido al uso de aguas de baja calidad durante su cultivo o a su manipulación durante su cosecha y poscosecha.

Si bien la normativa actual (NCh1333) especifica la calidad de agua que debe utilizarse para riego, muchas veces esto no es fiscalizado y aunque se utilicen aguas de pozo para riego, esto no es garantía de su inocuidad, ya que los pozos pueden también estar contaminados o porque muchas veces se riega mediante surcos aguas que provienen de pozo.

Por otra parte, la comercialización de hortalizas en Chile es mayoritariamente realizada en ferias libres donde no se piden certificaciones especiales y donde no existe forma de realizar trazabilidad a sus productos.



NUESTRO PROYECTO

Investigación, desarrollo e innovación para mejorar la eficiencia de uso e inocuidad del recurso hídrico en sistemas de producción hortícola de la Región Metropolitana (ARII600006).

Dada la importancia de la producción de hortalizas en el rubro agropecuario de Chile y la Región Metropolitana.

Dada la importancia de mantener la agricultura en esta región propiciando la sustentabilidad de la calidad de vida en zonas rurales aledañas al Gran Santiago.

Dada las amenazas que enfrenta este rubro debido a los eventos de sequía y cambio climático.

Dada la necesidad de mejorar en aspectos de calidad y comercialización, lo cual se asocia a temas de inocuidad y seguridad alimentaria.

Dada la necesidad de mejorar la rentabilidad del negocio hortícola, incorporando procesos más eficientes y de menor necesidad de mano de obra.



Este proyecto Acción Regional, pertenece al Programa Regional de Conicyt, creado en el año 2000 con la misión de promover el desarrollo científico y tecnológico de las regiones de Chile, a través del trabajo conjunto con los Gobiernos Regionales y Centros de Investigación, de acuerdo a las necesidades y prioridades definidas por las regiones para su desarrollo económico y social.

En Pymes de la Región Metropolitana se realizó investigación aplicada e innovación para:

- Mejorar eficiencia de uso de agua.
- Mejorar la calidad de agua de riego y con ello disminuir riesgos de problemas de inocuidad alimentaria en la cadena productiva de hortalizas.

PROBLEMAS OBSERVADOS A NIVEL DE PRODUCTOR PYMES RM:

- Problemas de disponibilidad de agua superficial.
- Agua superficial de baja calidad física y microbiológica.
- Necesidad de regar con agua de pozo pero utilizando sistemas de riego superficiales.
- Riego con sistemas de baja eficiencia, principalmente surcos, con problemas de diseño y errores en su operación, ya sea por errados tiempos de riego, ausencia de programa de riego y ausencia de técnicas de monitoreo de humedad de suelo.
- Daño severo a sistemas de riego por cinta debido a mordeduras de conejo.

Se evaluaron distintas soluciones tecnológicas para lograr los objetivos planteados, esperando lograr la obtención de al menos una tecnología apropiada para mejorar la eficiencia del uso del agua en hortalizas, y al menos una tecnología apropiada para disminuir riesgos de inocuidad.

A continuación se muestran las tecnologías que a partir de los resultados obtenidos, se observan como “Tecnologías apropiadas”, entendiéndose como tal aquellas soluciones que lograsen los objetivos planteados pero que además fueran factibles en su uso en una situación predial, con costos razonables y que permitieran una operación y mantención que no signifique una dedicación excesiva respecto de la situación original.



CAPITULO 1

SOLUCIONES PARA MEJORAR EFICIENCIA DE USO DE AGUA EN HORTALIZAS

1.1. Aumento de la eficiencia del riego con la incorporación de un sistema de riego por goteo y prácticas de control en hortalizas de hoja anuales

Considerando la baja eficiencia de un sistema de riego por surco (40%) versus la alta eficiencia de un sistema de riego por goteo (80% para cinta y 90 para goteo en planza), ante un escenario de escasez hídrica se plantea un cambio de sistema de riego para un sistema de producción de lechugas, considerando además la implementación de herramientas de control y monitoreo, tales como el uso de tensiómetros. Se evaluó además el uso de distintos materiales de riego.

Características del sistema utilizado por el productor

- Riego por surco.
- Ausencia de programa de riego y metodología de monitoreo de humedad de suelo.

Solución instalada

El productor contaba con parte de la infraestructura de un proyecto de riego, como matrices enterradas, válvulas de terreno y bomba, los cuales estaban en desuso. Se le instaló un sistema de riego por goteo, mediante cinta de riego con emisores de 2 l/h insertos a 0,4 m uno de otro.



Recomendaciones para obtener buenos resultados

Características y supuestos de un programa de riego para cinta	Valor / información
Sistema de riego	Goteo
Nº de emisores por planta	0,7
Caudal del emisor	1,0 l/h
Eficiencia teórica de riego	80% (*)
Distancia plantación (sobre y entre hilera)	0,3 x 0,5m
Textura de suelo	Franco
Profundidad radicular (metros)	0,3 m
Pedregosidad	0%
Requerimientos máximos por planta al día en mes de máxima demanda	0,26 l/planta/día
Requerimientos mínimos por planta al día en mes de mínima demanda	0,09 l/planta/día
Volumen aplicado en m ³ por ciclo productivo	1.882 m ³ /ciclo

(*) Valor dependiente de buen uso y mantención del sistema de riego

	Surco	Goteo (Cinta)
Inversión	\$ 0	\$ 3.725.300/ha*
Costos de operación asociados a riego	\$1.484.039 ha/año *	\$ 2.895.950 ha/año*
Gasto de agua	3.920 m ³ /ha/ciclo	1.882 m ³ /ha/ciclo

* IVA incluido

Problemas detectados en la ejecución

- Poco seguimiento del programa de riego.
- Poca constancia en el uso de sistemas de monitoreo de humedad de suelo.

Recomendaciones para obtener buenos resultados

- Seguir el programa de riego que recomiende el técnico o agrónomo a cargo.
- Utilizar un sistema de monitoreo de forma constante y llevando registros.
- Ajustar el programa de acuerdo a lo que se lean en tensímetro u otro sistema de control.



1.2. Aumento de la eficiencia del riego con la incorporación de un sistema de riego por aspersión y prácticas de control para riego de hortalizas de hoja perenne

Considerando la baja eficiencia de un sistema de riego por surco (40%) versus una mayor eficiencia de riego de los sistemas por aspersión (60 – 75%), ante un escenario de escasez hídrica se plantea un cambio de sistema de riego para menta, considerando además la implementación de herramientas de control y monitoreo, tales como el uso de sondas de capacitancia (FDR).

Características del sistema utilizado por el productor

- Riego por surco con distribución tipo californiana.
- Ausencia de programa de riego y metodología de monitoreo de humedad de suelo.
- Falta de mano de obra para labores, incluyendo manejo de riego.

Solución instalada

- Sistema de riego por aspersión en una superficie de 30 m x 30 m en la que se dispusieron cuatro laterales, cada uno con 4 aspersores de 387 litros/horas con una presión de funcionamiento de 2,0 bar y separados a 10 m sobre el lateral y a 10 m entre laterales.

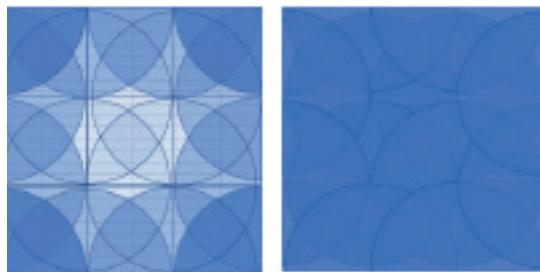


Recomendaciones para obtener buenos resultados

	Volumen aplicado m ³ /ha		Eficiencia (%)
	Cálculo teórico	Registro real	
Surco	1.786	7.522	24
Aspersión	1.228	1.477	83

	Surco	Aspersión
Inversión	\$ 0	\$ 9.872.589 ha *
Costos de operación asociados a riego	\$ 1.484.039 ha/año *	\$ 716.767 ha/año
Gasto de agua	25.761 m ³ /ha/año	9.051 m ³ /ha/año

* IVA incluido



Modelo de mojado de los aspersores dispuestos con un 100% de traslape, con regulación de sector circular a 180° y 90° (izquierda) y de diferente pluviometría según área de mojado (100% en 360°, 50% en 180°, 25% en 90°).

El modelo de la derecha se propone para mejor resultados de un sistema de riego por aspersión.

Solución instalada

- Problemas de uniformidad en primera etapa del uso de sistema de riego por aspersión.
- Riesgo de inocuidad al existir efecto rebote de la gota de aspersión al entrar en contacto con fuentes contaminantes orgánicas (ej. heces de conejos). El radio de influencia es de 75 cm aproximadamente, para este sistema de riego.
- Falta de constancia en toma y análisis de datos a partir de sondas FDR.

Recomendaciones para obtener buenos resultados

- Seguir el programa de riego que recomiende el técnico o agrónomo a cargo.
- Utilizar un sistema de aspersión con 100% de traslape utilizando emisores de distintos ángulos (como el que se muestra en la figura).
- Utilizar un sistema de monitoreo de forma constante y analizando los datos registrados.
- Ajustar el programa de acuerdo a lo que se lea en las sondas.

1.3. Aumento de la eficiencia del riego con la incorporación de un sistema de riego por goteo enterrado en hortalizas anuales y perennes

Considerando que existen hoy en día tecnologías de riego de mayor eficiencia que el sistema por cinta, y que apuntan a cerca de un 95% de eficiencia, y considerando también el daño que provocan en cintas de riego las mordeduras de conejos y otros animales silvestres, se consideró la evaluación de un sistema de riego enterrado (cinta y planza con goteros antisifón) implementados en lechugas y en espárragos.

Características del sistema utilizado por el productor

Espárragos

- Riego por cinta, emisores de 2 L/h, espaciados a 20 cm, una línea de riego por mesa.
- Ausencia de programa de riego y metodología de monitoreo de humedad de suelo.
- Falta de mano de obra para labores, incluyendo manejo de riego.
- Grave daño por mordeduras de conejo.



Lechugas

- Riego por cinta, emisores de 1,5 L/h, espaciados a 30 cm.
- Ausencia de programa de riego y metodología de monitoreo de humedad de suelo.
- Falta de mano de obra para labores, incluyendo manejo de riego.



Solución instalada

Espárragos

- Riego con planza y gotero antisifón integrado, emisores de 2 L/h, espaciados a 40 cm y dos líneas por mesa.

Lechugas

- Riego con cinta con emisores tipo antisifón, emisores de 1.5 L/h, espaciados a 30 cm, 1 línea por mesa.

Recomendaciones para obtener buenos resultados

Características y supuestos del programa		Valor / información	
Sistema de riego	Goteo	cinta con emisores a 0,4 m	
Nº de emisores por planta		0,19	
Caudal del emisor		2,0	L/h
Eficiencia teórica de riego		80,0	% (*)
Distancia de plantación sobre y entre hilera (doble hilera)		0,2 x 0,5	M
Textura de suelo		Franco Arenoso	
Profundidad radicular (metros)		0,5	M
Pedregosidad		0,0	%
Requerimientos máximos por planta al día en mes de máxima demanda		0,44	L/planta/día
Requerimientos mínimos por planta al día en mes de mínima demanda		0,22	L/planta/día
Volumen aplicado en m ³ por ciclo productivo		0,993	m ³ /ciclo

(*) este valor depende del buen uso y mantención del sistema de riego, a mejor manejo eficiencia se acerca más a este valor

	Cinta de riego cultivo anual	Goteo cinta enterrada cultivo anual	Goteo planza enterrada cultivo perenne
Inversión	\$2.527.862 ha* **	\$2.656.953 ha* **	\$4.183.875 ha* **
Costos de operación	\$5.171.288 ha/año*	\$4.563.447 ha/año*	\$3.962.500 ha/año*
Gasto de agua	1.254,7 m ³ /ha/ciclo	1.100,6 m ³ /ha/ciclo	2.494 m ³ /ha/ciclo

* IVA incluido. ** inversión en cinta de riego es anual, en goteo planza enterrada es cada 10 años.

Solución instalada

- Problemas de operación debido a baja en las presiones de trabajo por apertura de varios sectores de riego en forma simultánea. Tanto cintas como goteros enterrados requieren de una presión de trabajo mayor a la de un sistema normal.

Recomendaciones para obtener buenos resultados

- Regar con presiones de trabajo recomendadas para el sistema de riego enterrado.
- Tiempos de riego deben ajustarse a necesidades hídricas, tipo de suelo y profundidad radicular, para que los bulbos de mojamiento puedan llegar a las raíces y el agua ser absorbida.

1.4. Aumento de la eficiencia del riego con la incorporación de sistemas de monitoreo y control de humedad de suelo

Un buen manejo de riego depende de muchos factores entre los que se consideran el sistema y programa de riego utilizado, el control y monitoreo, tanto de su funcionamiento como del estatus hídrico del suelo y/o planta. Este último aspecto fue incorporado dentro de las prácticas de riego de productores de hortalizas, utilizando sensores como tensiómetros y sondas de capacitancia tipo FDR.

Características de los sistemas de monitoreo utilizados por productores Pymes de hortalizas:

- Los productores asociados al proyecto no realizan ningún método de monitoreo de humedad de suelo.
- Sumado a la falta de programa de riego, los productores están a ciegas respecto a conocer el estado hídrico del suelo.
- Existe desconocimiento respecto a las tecnologías disponibles y cómo se operan.



Solución instalada

Sondas de capacitancia

- Se utilizaron sondas FDR (Frequency Domain Reflectometry), para el monitoreo de humedad de suelo en sistema de riego por surco y aspersión.
- Se utilizó un sistema de sonda portátil, con lectura en 3 puntos del suelo, en plano vertical.
- Los datos eran bajados por personal de la empresa agrícola con capacitación y asesoría técnica de personal del proyecto.

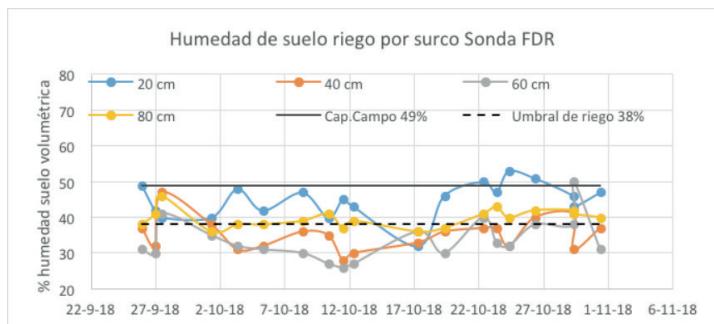


Tensiómetros

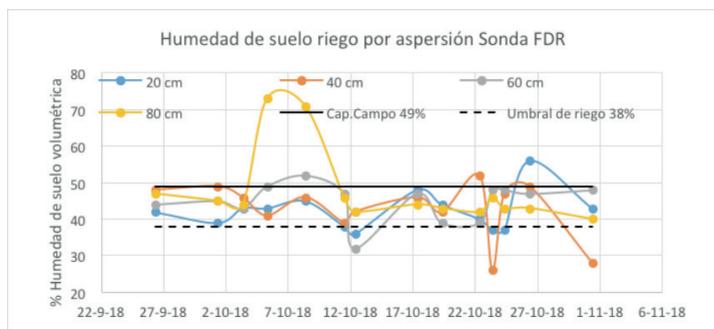
- Se utilizaron tensiómetros de Bourdon de 30 cm de largo, de rango 0 a 80 cbar.
- Se capacitó al productor en la lectura e interpretación del instrumento, señalándose como criterio de aplicación del riego cuando la lectura del instrumento estuviera entre 25 a 33 centibares.

Recomendaciones para obtener buenos resultados

Registro de humedad de suelo a través de Sonda FDR en riego por surco



Registro de humedad de suelo a través de Sonda FDR en riego por aspersión



	Sondas FDR	Tensiómetro
Inversión por hectárea	\$ 1.023.389*	\$ 88.030*
Costos por hectárea asociado al uso de la sonda	\$904.423*	\$1.056.360*
Beneficios	Monitoreo de humedad de suelo a distintas profundidades, permitiendo ajustar el programa de riego y mejorar la eficiencia del uso del agua.	Monitoreo de humedad de suelo sólo a una profundidad, permitiendo ajustar el programa de riego y mejorar la eficiencia del uso del agua.

* IVA incluido.

Solución instalada

- Falta de rigurosidad en la toma de datos y registro de equipos de monitoreo.
- Brecha tecnológica para realización de gráficos y análisis de los datos.

Recomendaciones para obtener buenos resultados

- Dar adecuada mantención a equipos de monitoreo, principalmente a tensímetros (revisión diaria y mantención).
- Dedicar tiempo de una persona con capacitación en uso de programa Excel u otro, que permita graficar y realizar cálculos básicos.

CAPITULO 2

SOLUCIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO DE HORTALIZAS

2.1. Mejoramiento de la calidad de agua a través del uso de sistema de ozonificación en líneas de procesamiento

El Ozono (O_3) es un gas incoloro, que no genera residuos y altamente reactivo con microorganismos y materia orgánica, dada su alta capacidad oxidante. Lo anterior ha significado un creciente uso de O_3 como agente desinfectante.

Se instaló un generador de O_3 en una línea de lavado y selección de espárragos, para su evaluación como mejorador de calidad de agua y con ello prevenir problemas de inocuidad alimentaria.

Características del sistema utilizado por el productor

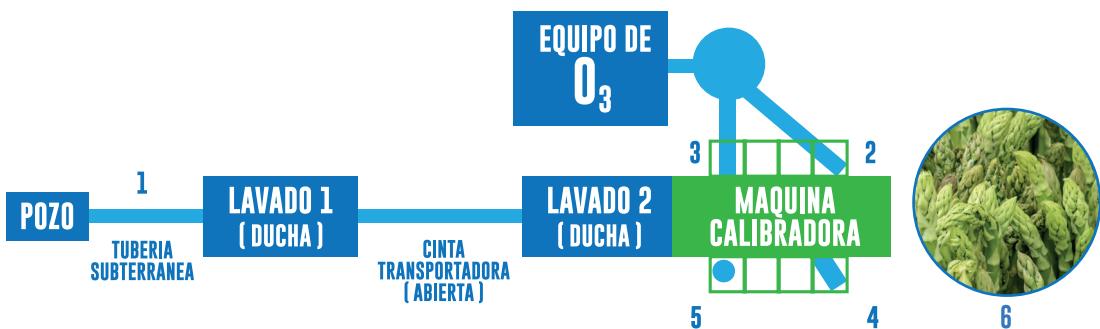
- Sistema de selección en base a uso de agua clorada con pastilla de cloro.
- El agua se hace recircular por el sistema, y esta se ensucia con el suelo que viene en los espárragos desde terreno.

Solución instalada

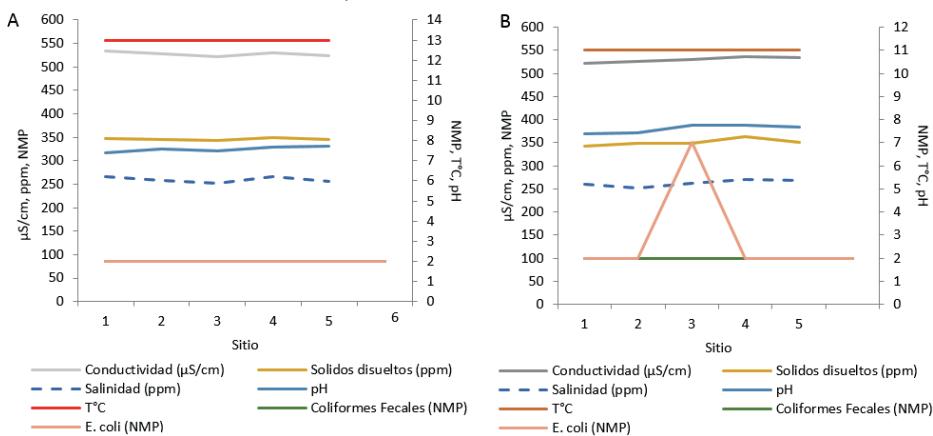
- Sistema de ozonificación con capacidad de entregar una concentración de entre 0,2 a 1 ppm.
- El sistema fue instalado en primera etapa con un inyector a una tolva alimentadora de agua, ubicada en la sección media del sistema de limpieza y selección.
- Posteriormente esta inyección fue cambiada a las bandejas con agua ubicadas al final de la línea, que reciben los espárragos lavados y calibrados, y donde los espárragos entran en contacto con agua por última vez.
- El sistema quedó programado para inyectar ozono cada 30 minutos por un periodo de 8 horas.
- Dado que el sistema es cerrado, el agua recircula, siendo ozonada constantemente.



Recomendaciones para obtener buenos resultados



Puntos de muestreo de agua para análisis de calidad: (1) llave con agua de pozo, (2) Tolva final ingreso O₃ sin O₃, (3) Tolva final egreso O₃ sin O₃, (4) Tolva final ingreso O₃ con O₃, (5) Tolva final egreso O₃ con O₃, y (6) espárragos



Se observa un efecto positivo de la aplicación de ozono en la línea de selección sobre la calidad del agua.

El control se ve más claro en horas de la tarde donde las tolvas sin O₃ muestran presencia de E. coli fuera de norma.

	Ozonificador en línea de selección
Inversión	\$ 4.455.360
Costos de operación	\$ 160.799 (año)
Beneficios	Disminución de carga microbiológica en el agua de lavado

Problemas detectados en la ejecución

- Concentraciones variables en agua debido a creciente grado de turbiedad, temperaturas y distancias variables respecto al inyector.

Recomendaciones para obtener buenos resultados

- Dado que el ozono puede ser inestable según variaciones de temperatura, pH y materia orgánica, se recomienda hacer al menos un cambio de agua, a medio día, para mantener niveles estables de O₃ en el agua de lavado.



2.2. Mejoramiento de la calidad de agua a través del uso de sistema de ozonificación en cinta enterrada

El Ozono (O_3) como agente desinfectante, ha sido evaluado en sistemas de riego como agente limpiador de equipos de riego y como agente desinfectante de patógenos. Se instaló un generador de O_3 en un sistema de riego enterrado para lechuga, con el fin de evaluar su efecto en la calidad de agua y oxigenación del suelo.

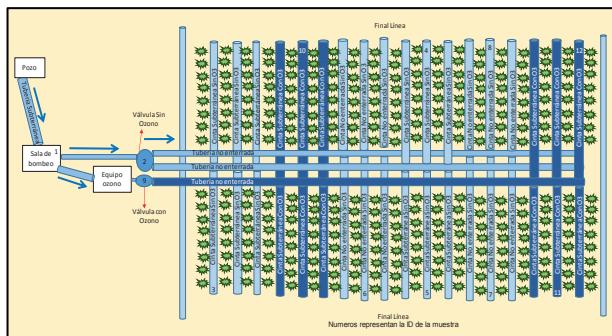
Características del sistema utilizado por el productor

- Sistema de riego por cinta convencional, superficial.

Solución instalada

- Sistema de riego por cinta, con tecnología antisifón, con sistema de inyección de ozono al agua de riego a la entrada del sector.
- El sistema de riego fue enterrado para lograr un efecto de ozonificación para desinfección de agua y oxigenación de suelo.
- Equipo de ozono con capacidad de entregar una concentración de entre 0,2 a 3 ppm. En terreno el equipo de inyección de ozono proporcionó una concentración de entre 0,5 a 1,5 ppm.
- El equipo fue operado con inyección constante de O_3 durante el tiempo de riego.

Recomendaciones para obtener buenos resultados



Esquema del sitio y puntos de muestreo

ID muestra	PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA				Concentración ozono (ppm)
	pH	T (°C)	CE (µS)	TDS (ppm)	
1	7,86	16,5	860	550	420
2	7,69	19,7	637	422	320
3	7,85	16,8	790	468	350
4	7,68	19,3	625	413	329
5	7,8	17,6	673	442	346
6	7,9	17,3	674	442	334
7	7,46	17	679	445	336
8	7,83	18,2	674	444	333
9	7,7	19,5	650	471	0,92 - 0,93 - 1,35
10	7,8	19	641	423	0,53 - 0,53 - 0,55
11	7,66	17,5	656	434	0,43 - 0,58 - 0,56
12	7,82	18,7	640	422	0,32 - 0,40 - 0,66

Resultados de medición de parámetros en cada sitio de muestreo.

Recomendaciones para obtener buenos resultados

Carga microbiológica del agua de riego en cinta

Coliformes totales (NMP): 0

Escherichia Coli (NMP): 0

Salmonella: 0

Este resultado fue observado en todos los tratamientos.

Efecto en la oxigenación del suelo

Tratamiento	Tasa de difusión de oxígeno microgramos / cm ² / min	
Cinta superficial	28,6	a
Cinta enterrada	28,2	a
Cinta enterrada con O ₃	36,3	b

Cabe destacar que al existir aguas de pozo como fuente, se mantienen sus características de inocuidad si ésta no es expuesta o conducida por sistemas abiertos.

	Cinta superficial	Cinta enterrada con agua ozonificada
Inversión	\$2. 527.862 ha*	\$11.889.762 ha*
Costos de operación	\$2.565.131 ha/año*	\$ 2.534.669 ha/año*
Beneficios	Sistema cerrado con bajo riesgo de contaminación de agua por agentes externos, siempre y cuando agua no sea expuesta	Mejora seguridad de calidad microbiológica de agua y aporta en la oxigenación del suelo

* IVA incluido

Problemas detectados en la ejecución

Presiones variables en el sistema de riego pueden provocar problemas de concentración de ozono y llegada a los puntos de goteo.



Recomendaciones para obtener buenos resultados

Se recomienda presiones de trabajo en rangos recomendados para riego por cinta enterrada.



2.3. Mejoramiento de la calidad de agua a través del uso de biofiltro tipo “grass buffer”

Un biofiltro es un cuerpo vegetal que es utilizado como filtro. Una vez que el agua pasa a través de éste, la presencia del cuerpo vegetal permite que el agua disminuya su velocidad y puedan decantar partículas sólidas, las que son frenadas y atrapadas por las estructuras vegetales que se oponen al paso del flujo.

Características del sistema utilizado por el productor

El agua de riego utilizado por el productor proviene de un canal de riego con aguas del río Maipo, en la zona de Isla de Maipo. Estas aguas no tienen ningún tipo de tratamiento físico ni químico, y se utiliza para el riego de tomates y otras hortalizas.

Dada las características de mala calidad de agua, el uso de esta agua en riego de hortalizas de hoja significa un riesgo sanitario. Desde el punto de vista operativo, usar esta agua en riego por goteo puede provocar obturación de emisores dada su alto contenido de limo.

Solución instalada

Se estableció una empastada de *Festuca arundinacea*, en un área de 15 x 2.5 m, para ser utilizada como biofiltro de aguas de canal antes de ser incorporada a los surcos de riego. La altura del biofiltro alcanzó 30 cm.

Recomendaciones para obtener buenos resultados

Características del agua de riego antes durante y luego del paso por el biofiltro.

	1. Canal	2. Entrada biofiltro	3. Salida biofiltro	4. Surco de riego
pH	7.68	7.91	8.1	7.79
CE del agua (mS/cm)	1.57	1.57	1.63	1.64
Escherichia coli (P/A)	$> 1.6 \times 10^6$	$> 1.6 \times 10^6$	9×10^3	$> 1.6 \times 10^6$
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	$> 1.6 \times 10^6$	$> 1.6 \times 10^6$	9×10^3	$> 1.6 \times 10^6$



Frascos corresponden a muestras tomadas en puntos:

- 1 Canal
- 2 Entrada biofiltro
- 3 Salida biofiltro
- 4 Surco de riego

Problemas detectados en la ejecución

El biofiltro tiene efecto positivo sólo en aguas provenientes de canal (en aguas provenientes de pozo no mejora sus características, y puede incluso empeorarlas).

Recomendaciones para obtener buenos resultados

La elección de especies gramíneas como Festuca asegura un cubrimiento homogéneo y rápida de la superficie y por tanto permite una formación de biofiltro en corto periodo.

Se recomienda mantener la calidad de agua lograda con biofiltro mediante conducción de agua por mangas hasta los surcos.

2.4. Mejoramiento de la calidad de agua a través del cambio de sistema de riego desde un sistema abierto a uno cerrado

Muchos agricultores productores de hortalizas riegan con aguas de pozo. Sin embargo cuando el sistema de riego utilizado es surco, la calidad del agua se va perdiendo en el trayecto debido al contacto del agua con el suelo. Se analizó la calidad de agua en distintos puntos desde la fuente (pozo profundo) hasta salida de surco. Luego se analizó la calidad de agua con la misma fuente de agua pero en un sistema de riego por goteo instalado en el mismo predio.

Características del sistema utilizado por el productor

El sistema de riego tradicional consiste en un sistema de riego superficial, por surcos, con conducción en acequia excavada en suelo, con aproximadamente 400 mt de largo. La acequia pasa en forma adyacente a vegetación natural y se cruza en un punto con una acequia de desagüe de un predio vecino.



Solución instalada

La empresa agrícola instaló un sistema de riego presurizado, haciendo cambio de bomba impulsora y conduciendo el agua a través de tubería de PVC y polietileno. El agua no toma contacto con el suelo en el trayecto. El equipo técnico del proyecto apoyó este cambio de riego mediante indicaciones técnicas y recomendaciones al diseño original.

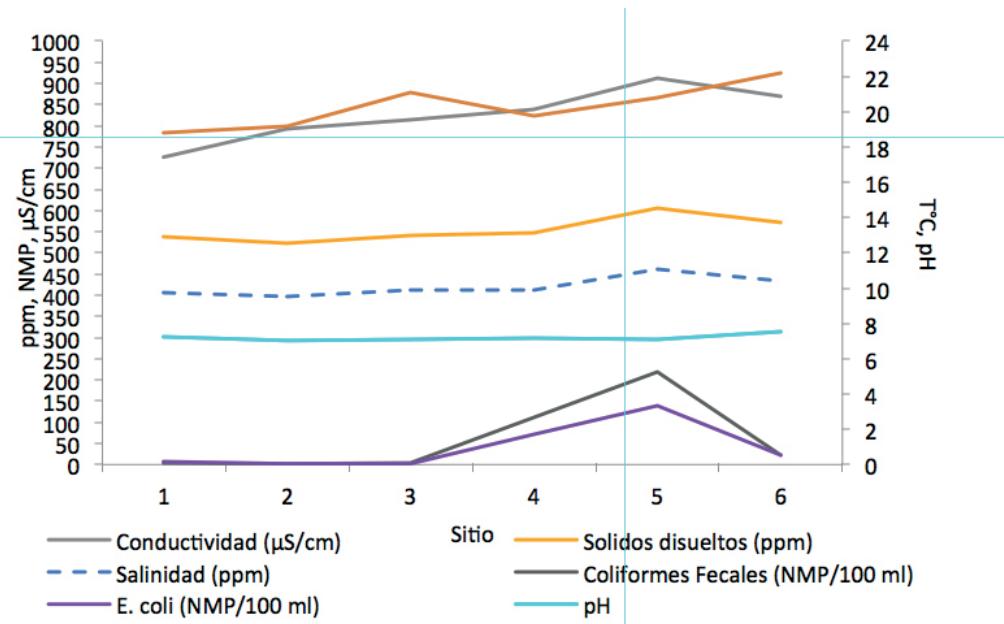


Recomendaciones para obtener buenos resultados

Se extrajeron muestras de 22 Lt cada una, desde 6 puntos distribuidos entre el pozo profundo, acequia conductora y la salida de un surco de riego.

El primer sitio de muestreo corresponde a salida del pozo, el segundo se ubicó a 100 m de la salida del agua, el tercero a 300 m desde la salida (sitio ubicado justo después del cruce con una acequia de desagüe de otro predio), el cuarto sitio a 400 m de la fuente, el quinto sitio se ubicó en la entrada de un surco de riego y el sexto punto en la salida de éste.

Entre las características físico-químicas evaluadas se encuentra: pH, CE, temperatura ($^{\circ}\text{C}$), sólidos totales disueltos y salinidad. Entre los parámetros microbiológicos, se evaluó la presencia de Coliformes fecales y *Escherichia coli*.



Los resultados (ver gráfico) muestran que el agua, a medida que se aleja de su fuente y se acerca a la cabecera del surco de riego (sitio 5), se va contaminando con coliformes fecales y *Escherichia coli*. Parte de esta contaminación queda en las plantas que se están regando, arriesgando así la inocuidad del producto fresco que se cosechará.

En muestreo realizado al mismo predio, con sistema de riego cerrado, se encontró 0 presencia de Coliformes fecales y *Escherichia coli*.

3. Recomendaciones de buenas prácticas para mejorar la eficiencia de uso y calidad de agua en sistemas de producción hortícolas

De las experiencias realizadas con los productores Pymes participantes en este proyecto, se destacan varios aspectos a tener en cuenta para mejorar el uso del recurso hídrico y evitar complicaciones de tipo sanitaria. Algunos puntos a destacar son los siguientes

- La eficiencia de riego puede mejorarse en forma importante en la medida que se utilicen sistemas de riego presurizado. Sin embargo, para que esto se traduzca también en un óptimo rendimiento y calidad, es necesario seguir con el programa de riego teórico y ajustarlo según lo observado en el sistema de monitoreo que mejor se adapte a las necesidades y realidad del productor. Otro aspecto importante es procurar trabajar según las presiones recomendadas para el sistema de riego utilizado, ya sea éste cinta superficial, aspersión o goteo enterrado. Existe una brecha tecnológica y de conocimiento en agricultores de producción hortícola, por lo que la capacitación constante es necesaria para el correcto uso de las tecnologías disponibles.



- La inocuidad alimentaria parte con una buena calidad de agua. El hecho de regar con agua de pozo no es garantía de inocuidad, ya que ésta puede contaminarse si se utilizan sistemas de conducción y riego de tipo abierto y superficial. Por otra parte, agua de pozos que es acumulada y luego usada con sistemas presurizados, también puede contaminarse por acción de animales.

- Para evitar riesgos asociados a contaminación biológica es recomendable utilizar sistemas de riego presurizados o cerrados. En el caso de utilizar sistemas de riego gravitacionales se puede mejorar la calidad de agua utilizando biofiltros, pero para mantener esto es necesario conducir el agua en un sistema protegido, como por ejemplo mangas de polietileno.

- Si el agua es acumulada, debe procurarse cercar el estanque o tronque con un cerco, para evitar que animales beban o se bañen en esta fuente de agua. También es recomendable cubrir la superficie para evitar la proliferación de algas o la contaminación derivada del paso de aves.



EQUIPO DE TRABAJO

Investigadores y profesionales del proyecto



De izquierda a derecha:

Aiko Adell, Cristián Barrera, Daniela Cea, Pilar Gil, Samuel Contreras, Luis Gustavo Díaz, Edward R. Atwill.

Productores Pymes asociados al proyecto



Diego Mata
Nuestra Tierra.
Lampa.



Rebecca Unghiatti
Agrícola San Alberto Ltda.
Til Til.



Patricio Romero
Los Muñoces.
Isla de Maipo.



**Felipe
Guzmán**
Agrícola y
Comercial
Vegus Ltda.
Lampa.



Residentes y estudiantes de Magister



Daniel Knopp



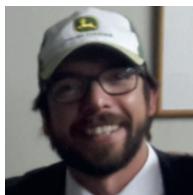
Jael Montecinos



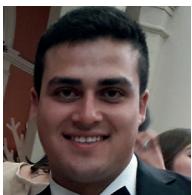
Trinidad Correa



Javiera Guajardo



César Retamal



Felipe Medel



Erick Bueno



FACULTAD DE AGRONOMÍA
E INGENIERÍA FORESTAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

