

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

HABILITACIÓN DE AGUAS DE RIEGO POR TRATAMIENTOS DE RADIACIÓN UV PARA USO EN HORTALIZAS



Editores:
Carlos Blanco M.
Gabriel Saavedra Del Real



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

HABILITACIÓN DE AGUAS DE RIEGO POR TRATAMIENTOS DE RADIACIÓN UV PARA USO EN HORTALIZAS



Editores:
Carlos Blanco M.
Gabriel Saavedra Del Real

Santiago, Chile, 2014

BOLETÍN INIA - Nº 296

El presente boletín entrega los principales contenidos y resultados en el marco del Proyecto denominado “Habilitación de aguas de riego por tratamientos de radiación UV para su uso en hortalizas”, el cual contó con el financiamiento del Fondo de Innovación Agraria (FIA) (Código PYT-2011-0108) y el Gobierno Regional Metropolitano de Santiago.

Editores:

Carlos Blanco M., Ing. Agrónomo. Mg. INIA La Platina
Gabriel Saavedra del R., Ing. Agrónomo. MSc. PhD. INIA La Platina.

Director Responsable:

Manuel Pinto C.
Ingeniero Agrónomo. Dr.
Director Regional INIA La Platina

Boletín INIA N° 296.

Cita bibliográfica correcta:

Blanco M., Carlos y Gabriel Saavedra del R. (eds.) 2014. Habilitación de aguas de riego por tratamientos de radiación UV para uso en hortalizas. Boletín INIA N° 296. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA La Platina, Santiago, Chile. 80 p.

ISSN 0717-4829

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y los autores.

Corrección técnica:

Alejandro Antúnez B., Ing. Agr. PhD., INIA La Platina.
Marcelo Galleguillos T., Ing. Civil. Doctor en Ciencias y Medioambiente.
INIA La Platina.

Corrección de texto:

Marisol González Y., Ing. Agr. M.Phil. INIA La Platina.

Diseño y diagramación: Jorge Berríos V., Diseñador Gráfico.

Impresión: Salesianos Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares: 500.

Santiago, Chile, 2014.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo 1.	
Introducción	5
1.1. Producción hortícola	8
1.2. Normativa legal de utilización de aguas para uso agrícola	10
Capítulo 2.	
Importancia del recurso agua y algunas tecnología s destinadas a mejorar su calidad	15
2.1. Tecnología s y sistemas de tratamientos en agua	21
2.1.1. Lagunas de estabilización (Biológica o biotecnológica)	22
2.1.2. Desinfección (generalmente mediante cloración)	26
2.1.3. Desinfección por rayos ultravioleta	28
2.1.4. Tratamiento con ozono	30
Capítulo 3.	
Sistema de desinfección de cursos de aguas superficiales a través de radiación ultravioleta	33
3.1. Desarenador	35
3.2. Acumulador	37
3.3. Caseta de control	38
Capítulo 4.	
Análisis microbiológico en cultivos de lechuga y zanahorias regados con agua de canal con distintos tratamientos	45
4.1. Recursos hídricos	46
4.2. Análisis de la turbiedad	48

4.3. Análisis de aguas de canal: coliformes fecales	50
4.4. Análisis de contaminación microbiológica en producto fresco: lechugas y zanahorias	54
4.4.1. Evaluación de lechugas	55
4.4.2. Evaluación en zanahorias	58
4.5. Factores que pueden afectar el comportamiento de patógenos en el suelo	60
4.6. Conclusiones	62

Capítulo 5.

Análisis económico del sistema de tratamiento de aguas de riego por medio de radiación uv para uso en hortalizas	63
5.1. Desarrollo	65
5.2. Resultado económico del sistema de tratamiento de aguas mediante UV	69
5.3. Determinación de la rentabilidad del sistema	72
5.4. Conclusiones	75

Capítulo 6.

Referencias bibliográficas	77
----------------------------	----

INTRODUCCIÓN

Gabriel Saavedra del R.

Ing. Agr. M.Sc. Ph.D.

Director del Proyecto

INIA La Platina

La producción agrícola se basa en el uso del suelo y clima para obtener alimentos, que son necesarios para la vida y desarrollo del ser humano. Las plantas para poder subsistir requieren de agua como elemento esencial, además de nutrientes. Los vegetales están compuestos por más de un 90% de agua, que es parte esencial en la fotosíntesis y metabolismo del carbono para convertirlo en parte estructural y energía de las plantas.

En la agricultura, el agua se obtiene a través de lluvias y acumulación de humedad en el suelo en zonas de secano, o bien por riego conducido (gravitacional o presurizado). En este último caso, la calidad del agua juega un papel muy importante, no tan solo desde el punto de vista químico, sino también biológico, debido a que la presencia de algunos microorganismos nocivos en el agua de riego limita su uso en algunas especies.

La producción de hortalizas de hojas y que crecen a ras de suelo son las más afectadas por la calidad microbiológica de las aguas de riego, debido a que la mayoría se cultivan bajo regímenes de riego gravitacional. Ésta se desarrolla principalmente en la Zona Centro Norte de Chile, entre las Regiones de Atacama y la del Biobío, donde se concentra el 92% de la superficie nacional de cultivos hortícolas. La superficie nacional cultivada con hortalizas, según datos de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias ODEPA (2013), alcanzó las 67.297 ha, en donde la Región Metropolitana tiene una participación de un 32% (21.564 ha) (**Figura 1**).

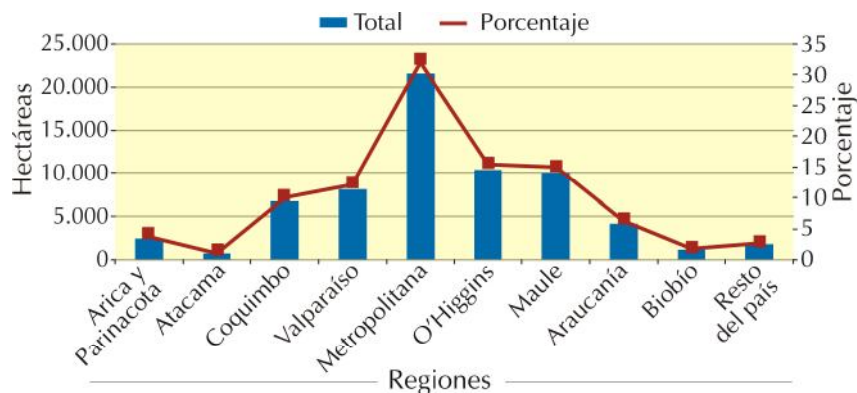


Figura 1. Superficie y porcentaje de hortalizas por regiones. Temporada 2013.
Fuente: ODEPA (2014).

Las otras regiones de importancia en superficie son la de O'Higgins y Maule con aproximadamente 10.000 ha de hortalizas cada una, seguidas por las regiones de Valparaíso y Coquimbo con 8.000 y casi 7.000 ha, respectivamente.

Las especies hortícolas con mayor superficie de cultivo en la Región Metropolitana corresponden a: choclo, lechuga, zapallos, cebollas, tomates, porotos, zanahorias, habas, poroto verde, coliflor, alcachofa, melón y betarragas, las cuales en conjunto suman más del 75% de la superficie total cultivada en la Región Metropolitana y sobre el 22% de la superficie nacional con cultivos hortícolas (ODEPA, 2013).

Por lo tanto, el foco de atención respecto a la calidad microbiológica de las aguas de riego en hortalizas ha estado en la Región Metropolitana por la superficie y las especies que predominan, aunque el resto del país no está libre de este tipo de contaminación. El mayor riesgo por uso de aguas microbiológicamente contaminadas está en hortalizas que crecen a ras de suelo y se consumen crudas como: lechugas, acelgas, espinacas, frutillas, rabanitos, cilantro, perejil, repollo y otras, las cuales, como se mencionó anteriormente, están siendo cultivadas fuertemente en la Región Metropolitana.

Existen aproximadamente 70 cursos de aguas superficiales en la Región Metropolitana catastrados por la Autoridad Sanitaria, de los cuales aproximadamente cerca del 60 a 70%, estaban contaminados con altos niveles de organismos microbiológicos al momento de muestreo, tal como se observa en la **Figura 2**.

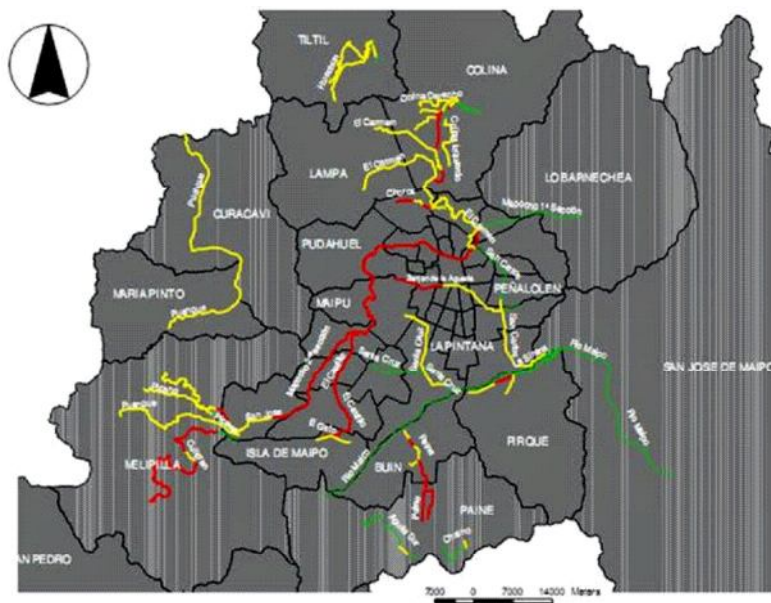


Figura 2. Contaminación microbiológica de cursos de agua superficiales de la Región Metropolitana.
SEREMI Salud Región Metropolitana, 2013.

En la Figura 2, se puede observar que los canales con línea verde, en su mayoría corresponden a los nacimientos del canal aguas arriba en la cordillera, por lo tanto no alcanzan a ser contaminados hasta que

entran su recorrido en zonas urbanas o industriales. La mayor contaminación la presentan los canales del río Mapocho, por el recorrido urbano de este cauce.

1.1 PRODUCCIÓN HORTÍCOLA

La Región Metropolitana es el principal centro productivo de hortalizas que crecen a ras de suelo y que se consumen crudas, especialmente de hojas como lechugas, acelgas y espinacas, tal como se observa en el **Cuadro 1**, donde la superficie sembrada en la temporada 2012/2013, que representa el 42,3% del total sembrado en el país cuenta con 6.652,3 hectáreas (ODEPA, 2013). En el caso de espinaca, la Región Metropolitana representa el 80% de la producción nacional, mientras que de acelga el 65% y de lechugas 35%, datos que ratifican la importancia de esta Región en la producción de hortalizas de hoja.

Cuadro 1. Superficie nacional y aporte porcentual por regiones de siembra de las principales hortalizas de hoja.

Región	Lechuga		Acelga		Espinaca		Total	
	Sup. (has)	%	Sup. (has)	%	Sup. (has)	%	Sup. (has)	%
Arica y Parinacota	58,3	1,1	2,5	0,4		0,0	60,8	0,9
Atacama	49,1	0,9	8,8	1,5	0,7	0,1	58,6	0,9
Coquimbo	1415,5	26,1	22,9	3,8	22,1	3,6	1460,5	22,0
Valparaíso	1045,6	19,3	65,2	10,8	53,6	8,6	1164,4	17,5
Metropolitana	1909,7	35,2	397,5	65,8	503,7	80,9	2810,9	42,3
O'Higgins	114,9	2,1	16,6	2,7	0,5	0,1	132,0	2,0
Maule	448,2	8,3	14,9	2,5		0,0	463,1	7,0
Biobío	142,1	2,6	23,8	3,9	28,1	4,5	194,0	2,9
Araucanía	112,8	2,1	34,2	5,7	9,8	1,6	156,8	2,4
Resto país	93,6	1,7	18,0	3,0	3,9	0,6	115,5	1,7
Total país	5425,7		604,4		622,3		6652,4	

Fuente: ODEPA, Temporada 2012/2013.

Según el Censo Agropecuario del 2007, la superficie total de la Región Metropolitana cultivada con hortalizas es de 25.348 has, de las cuales

el 18,3% son especies de riesgo potencial por ser cultivada a ras de suelo y de consumo crudo (**Cuadro 2**). El 96% de esta superficie es regada por surco, pero con agua de pozo, por lo tanto con bajos niveles de coliformes fecales de acuerdo a la norma 1333/78 y DL 1775/95.

Cuadro 2. Superficie total y para especies que se consumen crudas y crecen a ras de suelo para la Región Metropolitana y Provincias.

Provincia	Total (ha)	Especies cultivadas a ras de suelo y consumo crudo (ha)	Porcentaje del total
Santiago	2.431	907	37,3
Cordillera	560	10	1,8
Chacabuco	8.605	3.500	40,7
Maipo	3.714	168	4,5
Melipilla	5.945	35	0,6
Talagante	4.092	31	0,8
Región Metropolitana	25.348	4.651	18,3

Fuente: Censo Agropecuario 2007.

A nivel provincial dentro de la Región Metropolitana, destaca la Provincia de Chacabuco por la mayor superficie cultivada con 40,7% , probablemente debido a la existencia de napas freáticas que permiten extraer agua de riego a través de pozos. En caso opuesto, se observa las provincias de Melipilla y Talagante que solo cultivan 0,6 y 0,8% con hortalizas en riesgo, probablemente debido a la falta de pozos en la zona y además tienen la mayor presencia de canales contaminados por sobre la norma.

Las 25.348 hectáreas de hortalizas que están en la Región Metropolitana, involucran a 4.127 predios. En promedio, en la Región, la actividad hortícola se desarrolla en predios de seis hectáreas como promedio, pero esta cifra esconde una dispersión donde la mayoría de los predios están bajo una hectárea. Como se ha presentado anteriormente, no todos los predios tienen la posibilidad de riego con aguas de pozo, por lo tanto, la elección de especies para la producción y rotación de cultivos se ve limitada, especialmente en temporada invernal.

Entre las hortalizas que se consumen crudas se encuentran principalmente las de hoja, que por sus características botánicas son de rápido crecimiento, en dos o tres meses están en condiciones de ir al mercado, son factibles de cultivar en invierno, tienen una gran utilización de mano de obra y son de menor costo en insumos y otros elementos para su cultivo. En suma, son hortalizas que se acomodan a las características de trabajo y financieras de la pequeña agricultura, y sirven de complemento a otra gama de cultivos, permitiendo utilizar mejor los suelos, tanto del punto de vista de la rotación de cultivos por aspectos sanitarios, como de la utilización del terreno durante todo el año. A modo de ejemplo, un cultivo de papas que utiliza el suelo cinco meses, que tiene un costo total de \$2.300.000, utiliza en mano de obra del orden de los \$500.000, y en insumos \$1.500.000, logrando utilidades que en promedio alcanzan a unos \$ 500.000 en temporada normales. En contraste, en un cultivo de repollos, donde se utiliza el suelo tres meses, con un costo total de \$2.500.000, de los cuales en mano de obra gastan \$1.200.000 y en insumos \$800.000, y se logran ingresos cercanos a los \$5.400.000, con un margen de \$2.900.000. Esta diferencia se alarga al considerar que con hortalizas se posibilitan tres o cuatro cultivos en el año, en comparación con los dos que a lo sumo se logran con los cultivos tradicionales, o de chacarería, que practican actualmente. Por lo tanto, para disminuir estas limitaciones que se presentan por la alta contaminación de las fuentes de agua de riego superficial, es necesario desarrollar métodos de habilitación de aguas superficiales a través de sistemas tecnificados de tratamiento y de baja inversión.

1.2 NORMATIVA LEGAL DE UTILIZACIÓN DE AGUAS PARA USO AGRÍCOLA

La utilización de cursos de aguas superficiales para uso agrícola en el país se rige, en una primera instancia, bajo la Norma Chilena N°1333/78 del Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile), modificada en 1987 y denominada "Requisitos de calidad de agua para diferentes usos". Esta norma, establece los requisitos bacteriológicos para el uso de estas aguas, expresando concretamente que "el contenido de coliformes fecales en aguas de riego destinadas al cultivo de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen

en estado crudo, debe ser menor o igual a 1.000 coliformes fecales por 100 ml de agua". En esta Norma no se especifica, ni se requiere la identificación de microorganismos patógenos que pudieran estar presentes en las aguas de riego. Sin embargo, es importante definir bajo un reglamento supervisado por la Autoridad Sanitaria del Ministerio de Salud (MINSAL), la regulación de estos cursos superficiales de aguas en la producción de alimentos, específicamente en hortalizas que crecen a ras de suelo y se consumen crudas. En este contexto, la Autoridad Sanitaria hace mención que la producción alimentaria en este rubro debe regirse bajo el Código Sanitario D.S. 735/69 del MINSAL, el cual establece en el Título II "De la Higiene y Seguridad del Ambiente", Párrafo I "De las aguas y usos de sanitarios" indicando en el Artículo 75: "Prohíbese usar las aguas de alcantarillado, desagües, acequias u otras aguas declaradas contaminadas por la autoridad sanitaria, para la crianza de moluscos y cultivo de vegetales y frutos que suelen ser consumidos sin cocer y crecen a ras de la tierra. No obstante, estas aguas se podrán usar en el riego agrícola, cuando se obtenga la autorización correspondiente del Servicio Nacional de Salud, quien determinará el grado de tratamiento, de depuración o desinfección que sea necesario para cada tipo de cultivo".

Considerando lo anteriormente señalado, fue necesario realizar una promulgación con respecto al cumplimiento del Artículo 75 del Código Sanitario, especificando las restricciones que se deben considerar en la utilización de cursos de aguas superficiales en hortalizas que crecen a ras de suelo y se consumen crudas. Es así que se promulgó el Decreto 1775/1995, el cual aplica actualmente y permite el cultivo de hortalizas a ras de suelo previa supervisión de la autoridad sanitaria.

Éste establece en sus tres primeros artículos lo siguiente:

Artículo 1º. Para los efectos "se permite el cultivo de hortalizas a ras de suelo previa supervisión de una autoridad de la Servicio Nacional de Salud. Fija como límite máximo permisible un contenido de 1.000 coliformes fecales por 100 mililitros de agua. Es la media geométrica de los valores de las determinaciones del contenido de coliformes fecales por 100 mililitros, de al menos cinco muestras del curso o masa de agua en cuestión. Las muestras deberán tomarse, dentro de un lapso

no mayor a dos meses, durante la temporada de riego de cultivos correspondientes a los vegetales y frutos que suelen ser consumidos sin cocer y crecen a ras de la tierra.

Artículo 2º. Las declaraciones de contaminación a que alude el párrafo anterior por parte de los respectivos Servicios de Salud, deberán estar referidas determinadamente a todo o a parte del curso o masa de agua de que se trate, siempre que los muestreos previos demuestren que exceden el mencionado límite permisible de coliformes fecales.

Artículo 3º. Para optimizar los efectos sanitarios de la declaración de contaminación de determinadas aguas se deja constancia que se encuentran en la categoría de vegetales y frutos que suelen ser consumidos sin cocer y que crecen a ras de tierra, entre los siguientes productos:

- Todos los tipos de lechuga
- Achicoria
- Cilantro
- Perejil
- Rábano
- Rabanito
- Fresas
- Fresones
- Frutillas
- Apio
- Repollo
- Espinaca

Es de importancia mencionar y aclarar, que a partir de los problemas sanitarios presentados durante el año 1991, se publicó el Decreto N° 256/1991 D. OF. 20.04.91 que otorgaba facultades extraordinarias a los Directores de Servicio de Salud del país considerando la presencia de brotes de cólera en la Región Metropolitana, lo cual constituyó una amenaza de epidemia de la enfermedad y que además los informes técnicos sanitarios, señalaban que la enfermedad se propaga a través de las aguas servidas, especialmente cuando ellas son utilizadas en el riego de hortalizas que usualmente se consumen crudas por la población. Además, este Decreto sufrió una serie de modificaciones tales como:

- Dto. N° 306/91, Minsal, D.OF. 09.05.91
- Dto. N° 1335/95, Minsal, D.OF. 19.06.95
- Dto. N° 105/97, Minsal, D.OF. 05.05.97
- Dto. N° 753/98, Minsal, D.OF. 05.12.98
- Dto. N° 795/00, Minsal, D.OF. 19.05.01

Este decreto y todas sus modificaciones fue derogado en Abril del 2012, por lo cual la normativa y la legislación relacionadas con el uso de aguas de cursos superficiales para uso agrícola, quedan bajo las directrices sujetas a Norma Chilena 1333, Código Sanitario D.S. 735/69 del MINSAL Artículo 75 y el Decreto 1775/1995.

Dada esta situación la única posibilidad que tiene el agricultor de poder regar hortalizas que crecen a ras de suelo y se consumen crudas es con agua de pozo o aguas de cursos superficiales (canales), que tenga los límites permitidos de coliformes fecales, para lo cual debe ser autorizado por el Servicio de Salud.

Debido a lo delicado de esta situación en la Región Metropolitana, por la población, alto consumo y formas de comercialización de verduras en general, la SEREMI de Salud (Región Metropolitana), en conjunto con el Laboratorio Ambiental del Instituto de Salud Pública (ISP), han continuado enfocados en un programa de monitoreo, muestreo y análisis como parte de la vigilancia. Un estudio del año 2011, indicó que más del 50% de las muestras analizadas no cumplieron con la normativa vigente. Es decir, sobrepasó los 1.000 NMP/100 ml de coliformes fecales, sin identificación de los microorganismos patógenos.

Posteriormente, ambas Instituciones ejecutaron un estudio de identificación de los principales enteropatógenos presentes en cursos de aguas de la Región Metropolitana, obteniendo por primera vez resultados importantes de presencia de bacterias en 40 cursos de aguas superficiales analizados. De éstos, el 60% de los cursos superficiales presenta coliformes fecales sobre la norma, donde se han identificado la presencia de bacterias enteropatógenas y enterohemorrágica como *Salmonella spp*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Vibrio cholerae* no patógeno. La posibilidad de identificar estos patógenos permitió investigar su participación en enfermedades transmitidas por los alimentos y generar medidas de control en el uso de aguas contaminadas para riego. Por lo tanto, el no cumplimiento de la normativa de los cursos de agua superficiales constituye una alerta para la inocuidad de los alimentos, generando un riesgo de contaminación en la producción primaria de éstos. La probabilidad, en época de sequía, de que se utilicen cursos de agua superficial para riego, con valores de coliformes fecales por

sobre lo permitido, es alta. Esto constituye una posible exposición de la población de la Región Metropolitana y regiones a microorganismos patógenos por consumo de alimentos contaminados, y por ende a la ocurrencia de enfermedades transmitidas por los alimentos.

IMPORTANCIA DEL RECURSO AGUA Y ALGUNAS TECNOLOGÍAS DESTINADAS A MEJORAR SU CALIDAD

Arturo Correa B.

Ing. Agr. Magister

INIA La Platina

La tierra contiene aproximadamente 1,4 millones de kilómetros cúbicos de agua, la cual es la fuente de toda la vida en el planeta. Su distribución es muy variable: en algunas regiones es muy abundante, mientras que en otras escasea. El agua existe en forma sólida (hielo), líquida y gaseosa (vapor de agua), que se puede observar en océanos, ríos, nubes, lluvia y otras formas de precipitación en frecuentes cambios de estado. De esta forma, el agua superficial se evapora, el agua de las nubes precipita, la lluvia se infiltra en el suelo y escurre hacia el mar. Al conjunto de procesos involucrados en la circulación y conservación del agua en el planeta se le llama ciclo hidrológico.

El 97,5% del agua en la tierra se encuentra en los océanos y mares de agua salada, únicamente el restante 2,5% es agua dulce. Del total de agua dulce en el mundo, el 69% se encuentra en los polos y en las cumbres de las montañas más altas y se encuentra en un estado sólido. Los lagos y ríos, que corresponden al agua que se encuentran realmente disponibles para todos los usos directos del hombre y naturaleza, apenas alcanza a 93.000 km³ de agua dulce, es decir, un 0,0067%.

El agua dulce es un recurso esencial y escaso para la vida en el planeta e indispensable para gran parte de las actividades productivas y económicas del hombre. En este proceso, el hombre extrae un 8% del total anual de agua dulce renovable, se apropia del 26% de la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas de escorrentía accesibles. Las más recientes evaluaciones de los especialistas y de las organizaciones

internacionales relacionadas con los problemas del agua, sugieren que para el año 2025, más de las dos terceras partes de la humanidad sufrirá algún estrés por la falta de este líquido.

Usos del agua se pueden clasificar en dos categorías:

- **Usos no consuntivos:** en los cuales se pueden mencionar, la navegación, la generación de hidroelectricidad, los usos recreativos, la disolución de desechos, los caudales ecológicos y el mantenimiento de humedales, entre otros.
- **Usos consuntivos:** donde el agua es extraída para su utilización en sectores productivos (usos consuntivos), como, agricultura, industria y servicios, así como también para abastecimiento humano.

El continuo aumento del consumo de agua dulce está generando una gran tensión social en algunos países, entre los requerimientos de consumo de la población y los diferentes sectores productivos requirentes y, por otro lado, se observan fluctuaciones temporales y espaciales del suministro de este recurso a nivel global (cambio climático, otros), lo cual proyecta en el mediano plazo, una escasez que no permitirá abastecer la cantidad necesaria para todos los usos hoy existentes.

El World Resources Institute Washington DC, entregó el año 2000, una estimación de la disponibilidad de agua en el mundo presentada en la **Figura 3**.

El agua será un bien cada vez más escaso en el futuro en grandes franjas del mundo en desarrollo, un factor que podría frenar o incluso invertir el descenso a largo plazo de la participación de los alimentos y los productos agrícolas en el comercio internacional (OMC, 2012).

Ahora, no solamente existe el problema de la disponibilidad del agua dulce sino que se han ido incorporando en forma acelerada problemas asociados a la calidad de ésta. Esta situación se relaciona con el incremento de los procesos de industrialización, la concentración urbana y las técnicas productivas silvoagropecuarias, que contribuyen al deterioro del medio ambiente, siendo uno de los recursos afectados, la calidad del agua dulce.

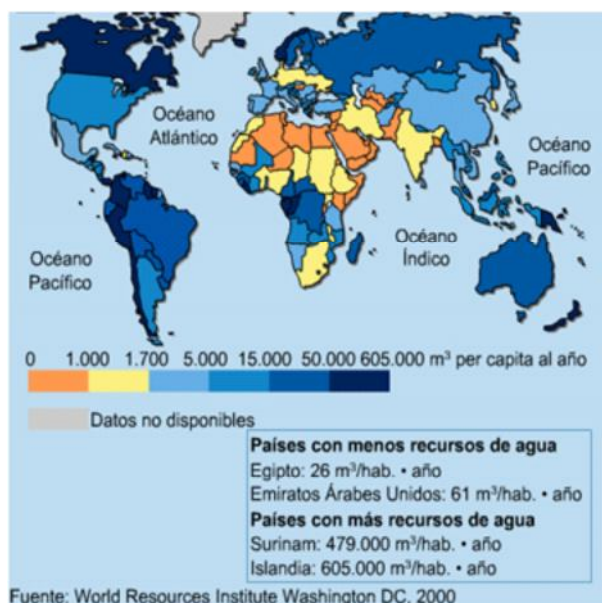


Figura 3. Proyección de disponibilidad de agua en el mundo.

El 40% de la población mundial vive en condiciones de estrés hídrico. Unos dos millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras. Se estima que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1.500 km³. Entre dos y cinco millones de muertes en el mundo se asocian a agua de mala calidad (Millennium Ecosystem Assessment, 2005 y 2007).

El recurso hídrico es de suma importancia para el desarrollo sostenible de los países, tanto por el gran potencial que tiene el agua para contribuir a los procesos industriales, mineros y agroalimentarios, como por la generación de fuentes alternas de energía y una amplia diversidad de servicios ambientales.

La principal fuente de suministro de alimentos del mundo es la agricultura, que incluye cultivos, ganado, piscicultura y silvicultura. La mayor parte de esta depende del agua de lluvia. De acuerdo a lo indicado en el Informe de Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo preparado por UNESCO, el riego consume actualmente el 70% total de

agua dulce. Esta cantidad aumentará en un 14% en los próximos treinta años, pues la superficie de riego se ampliará en un 20%. Hacia 2030, el 60% del total de las tierras potencialmente regables se encontrarán en explotación. La escasez de agua, definida en términos de acceso, representa un obstáculo crucial para la agricultura en muchas partes del mundo. Un quinto de la población mundial, esto es más de 1,2 mil millones de personas, viven en zonas de escasez física de agua, careciendo de la cantidad suficiente para cubrir la demanda. A menos que se siga mejorando la productividad del agua, o haya cambios importantes en los sistemas de producción, la cantidad de agua consumida por la evapotranspiración agrícola aumentará entre el 70 y el 90% hacia el año 2050. La cantidad total de agua evaporada en la producción de cultivos subirá entre 12.000 y 13.500 km³, casi duplicando los actuales 7.130 km³ (UNESCO, 2003).

El Gobierno de Chile durante el año 2010, a través de la Dirección General de Aguas (DGA), del Ministerio de Obras Públicas (MOP), solicitó la colaboración técnica del Banco Mundial respecto de la formulación de una política y estrategia nacional de Gestión de los Recursos Hídricos (GRH). El informe denominado, “Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Banco Mundial” publicado el año 2011, es el resultado de la primera etapa que se enfocó en la preparación de un diagnóstico de la GRH del país. Teniendo en consideración este informe y otras fuentes, se generó un documento denominado, “Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 – 2025”, del cual se puede resaltar lo siguiente:

1. “Chile cuenta con 1.251 ríos, los que se emplazan en las 101 cuencas principales existentes en el país. Además, hay más de 15.000 lagos y lagunas de todo tipo de formas y tamaños que constituyen un invaluable activo medio ambiental y turístico. En general, los recursos hídricos presentes en ellos contienen agua de buena calidad y son importantes reguladores de los flujos en las cuencas. Sin embargo, de estudios nacionales se puede indicar que prácticamente la mitad de Chile tiene una disponibilidad de agua subterránea por habitante menor a la media mundial,

2. El cambio climático está impactando la disponibilidad del agua dulce, de hecho, estudios realizados señalan que en Chile aumentará la temperatura continental entre 2° y 4° Celsius. Este incremento será más notorio en los sectores andinos y disminuirá de norte a sur,
3. El sostenido crecimiento económico y desarrollo social de Chile en las últimas décadas ha generado y seguirá generando demandas cada vez mayores sobre los recursos hídricos por parte de los diferentes tipos de usuarios, en especial poblacional, silvoagropecuario y minero,
4. Chile podría ser calificado como un país privilegiado en materia de recursos hídricos al considerar todo el territorio chileno, pues el volumen de agua procedente de las precipitaciones que escurre por los cauces es de 53.000 m³ por persona al año, superando en 8 veces la media mundial (6.600 m³/habitante/año), y en 25 veces el mínimo de 2.000 m³/habitante/año que se requiere desde la óptica de un desarrollo sostenible,
5. El sector silvoagropecuario nacional conformado por las actividades agrícolas, ganaderas y forestales (más de 35 millones de hectáreas) representa un 73% de las extracciones consuntivas de agua, lo que permite el riego de 1,1 millones de hectáreas que se localizan principalmente entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos,
6. El riego tecnificado permite reducir el consumo de agua por hectárea en un 50%. Sin embargo, se debe profundizar sobre el efecto que tiene la implementación de estas tecnologías en la recarga de las napas subterráneas, respecto del control de la calidad de las aguas por el aumento de la concentración de contaminantes químicos como plaguicidas y fertilizantes, contaminación fecal o sedimentos, entre otras”.

La calidad del medio ambiente ha ido empeorando progresivamente en Chile, llegando a despertar una gran preocupación por compatibilizar los procesos de desarrollo con la protección ambiental. Durante el último

decenio del siglo XX, se inició la detección y estudio de fenómenos de contaminación como rasgos sobresalientes y alarmantes en muchos cuerpos de agua. Entre los factores que explican este deterioro destacan el rápido crecimiento de la población, especialmente la urbana, la expansión de la industria y la tecnificación de la agricultura, que no han sido acompañados de sistemas adecuados de tratamiento de desechos y control de la contaminación hídrica.

La contaminación de las aguas procedente de fuentes no localizadas o contaminación difusa, es resultado de un amplio grupo de actividades humanas en las que los contaminantes no tienen un punto claro de ingreso en los cursos de agua que los reciben. De igual manera, la escorrentía superficial contribuye de forma significativa al alto nivel de agentes patógenos en las masas de agua superficiales.

La agricultura en uno de los sectores que genera mayor contaminación de los recursos hídricos, debido a la descarga de contaminantes (plaguicidas, fertilizantes, otros) y sedimentos en las aguas superficiales y/o subterráneas, por la pérdida neta de suelo como resultado de prácticas agrícolas desacertadas, por la salinización y anegamiento de las tierras de riego.

Teniendo en consideración lo antes señalado, Chile enfrenta un quinto año de sequía impactando negativamente a los productores silvoagropecuarios, especialmente en la zona centro y norte del país. La agricultura es el principal usuario de recursos de agua dulce en Chile de todos los suministros hídricos superficiales. Por tanto, de no contar con este recurso, la producción agrícola se hace inviable. Es en este contexto que surge la necesidad de evaluar el uso para riego de aguas de baja calidad, lo cual es una práctica cada vez más frecuente en el mundo. A menudo este tipo de aguas es el único recurso hídrico disponible y que indiscutiblemente debe ser considerado dado el escenario planteado anteriormente (escasez).

Desde esta perspectiva se han generado múltiples tecnologías destinadas a mejorar la calidad del agua, en particular para lograr cumplir con las normas oficiales del país y con ello la inocuidad de los productos silvoagropecuarios que se entregan a la comunidad.

2.1 TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTOS EN AGUA

Existen muchos tipos de contaminación del agua y cada uno de ellos produce efectos particulares. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se pueden clasificar en:

- a. Contaminación por bacterias, virus y otros organismos patógenos.
- b. Contaminación por sustancias orgánicas susceptibles de descomposición, que al absorber el oxígeno del agua causan la muerte de los peces, producen olores pestilentes, y si no es excesiva, puede desaparecer al cabo de cierto tiempo, con lo que el cauce de agua recobra su aspecto sano.
- c. Contaminación por sales inorgánicas, que no pueden eliminarse por técnicas habituales de tratamiento de agua.
- d. Contaminación por sustancias nutritivas de las plantas (fertilizantes).
- e. Contaminación por sustancias oleosas.
- f. Contaminación por agentes tóxicos específicos (plaguicidas, otros).

El riego con aguas de baja calidad representa un potencial riesgo, pues puede constituir una importante fuente de agentes patógenos como bacterias, virus, protozoarios y helmintos (lombrices), que causan infecciones gastrointestinales en los seres humanos. También pueden contener toxinas químicas muy peligrosas que provienen de fuentes industriales.

Los grupos más importantes de contaminantes químicos son los agroquímicos, metales pesados, las sustancias hormonales activas (SHA) y los antibióticos. Los riesgos asociados con estas sustancias pueden constituir mayor amenaza para la salud a largo plazo y ser de más difícil manejo que el riesgo causado por los agentes patógenos excretados.

De lo anterior, la forma de poder usar adecuadamente esta agua requiere la implementación de sistemas integrados de tratamiento considerando su abordaje desde las dimensiones: sanitaria, agronómica y ambiental. La calidad sanitaria estará determinada por las concentraciones de microorganismos capaces de generar enfermedades entéricas al ser humano, lo cual en forma práctica es dar cumplimiento a las normativas existentes tanto en el país como otras de tipo internacional. La calidad

agronómica estará relacionada con las concentraciones de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y oligoelementos), la presencia de agroquímicos, así como de aquellos elementos limitantes o tóxicos para la agricultura, como la salinidad y cantidades excesivas de boro, metales pesados y otros. Finalmente, la calidad ambiental en principio involucra todos los indicadores antes mencionados y otros. En la práctica, estará más relacionada con las concentraciones de sólidos, materia orgánica, nutrientes y elementos tóxicos que pueden generar impactos negativos en los cuerpos de agua.

La calidad de agua usada para regar es determinante para la producción y calidad en la agricultura. Los factores más importantes a tener en cuenta para determinar la validez del agua usada para los fines agrícolas específicos son los siguientes:

- pH.
- Riesgo de salinidad.
- Riesgo de sodio (Relación de absorción de sodio o RAS; en inglés se conoce con las siglas SAR).
- Riesgo de carbonato y bicarbonato en relación con el contenido en Ca & Mg.
- Elementos traza.
- Elementos tóxicos.
- Nutrientes.
- Cloro libre.
- Coliformes fecales.
- Turbiedad.

A continuación, se presenta una compilación general de las tecnologías recomendadas actualmente para tratar aguas de baja calidad y con ello, poder usarlas sin limitaciones en el riego agrícola.

2.1.1 Lagunas de estabilización (Biológica o biotecnológica)

Una laguna de estabilización es, básicamente, una excavación en el suelo donde el agua se almacena para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros organismos.

Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización, ocurre en forma espontánea un proceso de auto purificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico. En esta simple descripción se establecen los aspectos fundamentales del proceso de tratamiento del agua que se lleva a cabo en las lagunas de estabilización:

- Es un proceso natural de autodepuración.
- La estabilización de materia orgánica se realiza mediante la acción simbiótica de bacterias, algas, y otros organismos superiores.
- Se presentan procesos físicos de remoción de materia suspendida.
- Se producen cambios químicos en la calidad del agua que, entre otros aspectos, mantienen las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación, y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables y, en algunos casos, nutrientes.
- Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas residuales. Por lo tanto, las lagunas de estabilización se consideran y se pueden proyectar como un método de tratamiento de la materia orgánica y de remoción de los patógenos presentes en el agua de mala calidad.

Dependiendo de las condiciones del problema por resolver, las lagunas de estabilización pueden utilizarse solas, combinadas con otros procesos de tratamiento biológico, o bien, entre ellas mismas (sistemas lagunares de tratamiento). Es frecuente el uso de lagunas para complementar ("pulir"), el tratamiento biológico de sistemas de lodos activados y filtros percoladores, por ejemplo.

Las lagunas de estabilización son estanques conformados perimetralmente por diques de tierra, con profundidades menores a cinco m., cuyos períodos de permanencia van de uno a cuarenta días, divididos en compartimientos que tienen distintas finalidades.

Los objetivos de su acción son:

- Reducir e inactivar organismos patógenos presentes en líquidos residuales.
- Disminuir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) o demanda química de oxígeno (DQO) del líquido.
- Permitir el uso del líquido para agricultura.

Ventajas de esta tecnología:

- En las lagunas con grandes períodos de retención hidráulica, generalmente se eliminan los huevos y quistes de los parásitos intestinales, lo cual no ocurre con tratamientos convencionales, aún con desinfección.
- Bajos costos operacionales y la poca tecnificación.
- La estabilidad del proceso también es alta por lo cual no requiere de personal calificado para operar;
- Pueden tratar gran variedad de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas cuando la carga de las mismas es biodegradable.

Desventajas de esta tecnología:

- Requiere disponer de gran superficie de terrenos para la ejecución de la laguna.
- La gran desventaja es que el sistema es dependiente de las condiciones climáticas. Bajas temperaturas por ejemplo, pueden impedir el correcto funcionamiento.
- La cercanía o lejanía de zonas pobladas, depende de las normativas de cada país. En el caso de establecer lejanía de las zonas urbanas, obliga a proyectar emisarios de gran longitud.

- Cuando el efluente contiene algas y en el cuerpo receptor existen pocos nutrientes, las algas vegetan y tienen una pequeña demanda (DBO) que no es objetable. En cambio si no hay luz solar suficiente, se mueren y sedimentan produciendo demanda de oxígeno por respiración endógena.
- En cursos sin agua permanente, como ocurre en zonas secas, no es aconsejable la aplicación de lagunas, porque las algas del efluente al descomponerse pueden producir olores.

Clasificación de las lagunas de estabilización:

- Aeróbicas: Soportan cargas orgánicas bajas y contienen oxígeno disuelto en todo instante y en todo volumen del líquido.
- Anaeróbicas: Se proyectan para altas cargas orgánicas y no contienen oxígeno disuelto. El proceso es semejante al de un digestor anaeróbico sin mezcla.
- Facultativas: Operan con una carga orgánica media. En las capas superiores existe un proceso aeróbico, mientras que en las capas inferiores se tiene un proceso anaeróbico, produciéndose simultáneamente fermentación ácida y metánica.
- De maduración: Se utilizan como una segunda etapa de tratamiento, a continuación de lagunas facultativas. Se diseñan para disminuir el número de organismos patógenos, porque las bacterias y virus mueren en un tiempo razonable, mientras que los quistes y huevos de parásitos intestinales requieren más tiempo. También reducen la población de algas. Existe pequeña remoción de la DBO.
- Aireadas facultativas: Son una extensión de las lagunas facultativas convencionales. Tienen como función suministrar oxígeno al proceso, cuando la actividad de las algas se reduce durante la noche. Esta acción provoca la disminución de la zona anaeróbica e incrementa la aeróbica, provocando la concentración de algas en toda la masa líquida.

- Aireadas de mezcla completa: Tienen un nivel de potencia instalada (aireadores), suficientemente alta para suministrar todo el oxígeno requerido y además para mantener los sólidos en suspensión. Es una variante de aireación prolongada sin recirculación. Tiene mayor permanencia hidráulica.
- Lagunas de sedimentación: Son empleadas para clarificar el efluente de las lagunas aireadas aeróbicas. En ellas se produce el almacenamiento y digestión de los lodos sedimentados.

Las lagunas de estabilización son sistemas que están diseñados para operar prácticamente por sí solos y, por este motivo, generalmente no reciben mantenimiento y dragado sistemático de los sedimentos acumulados, lo cual provoca una disminución constante de su nivel de profundidad, reduciendo de este modo, el tiempo real de retención y la eficiencia de remoción de contaminantes para la que fueron diseñadas en un inicio.

2.1.2 Desinfección (generalmente mediante cloración)

La desinfección química ha sido el método para el tratamiento de aguas residuales por excelencia desde comienzos del siglo XX. La cloración es efectiva para matar la mayoría de las bacterias, virus y protozoos que ponen en riesgo la salud humana.

Si ésta funciona bien se puede emplear para reducir el número de bacterias en los efluentes de una planta de tratamiento convencional. La cloración no garantiza la remoción de los huevos de helmintos. Por otra parte, en la cloración por reacción con la materia orgánica presente, se forman productos organoclorados tóxicos como los trihalometanos que son cancerígenos.

De acuerdo a lo señalado por Environmental Protection Agency of United States (EPA), Office of Water, Septiembre de 1999, el cloro es un desinfectante que tiene ciertas limitantes en términos de salubridad y seguridad, pero al mismo tiempo tiene un largo historial como un desinfectante efectivo, de manera que para poder tomar una decisión respecto de su uso, se plantean sus ventajas y desventajas.

Ventajas:

- La cloración es una tecnología bien establecida.
- En la actualidad la cloración es más eficiente en términos de costo que la radiación UV o la desinfección con ozono.
- El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección aún después del tratamiento inicial, y puede ser medido para evaluar su efectividad.
- La desinfección con cloro es confiable y efectiva para un amplio espectro de organismos patógenos.
- El cloro es efectivo en la oxidación de ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos.
- La cloración permite un control flexible de la dosificación.
- El cloro puede eliminar ciertos olores molestos durante la desinfección.

Desventajas:

- El cloro residual, aún a bajas concentraciones, es tóxico a los organismos acuáticos, y por ello puede requerirse la descloración.
- Todas las formas de cloro son muy corrosivas y tóxicas. Como consecuencia, el almacenamiento, el transporte y el manejo presentan riesgos cuya prevención requiere normas más exigentes de seguridad industrial.
- El cloro oxida ciertos tipos de materiales orgánicos del agua residual generando compuestos más peligrosos (tales como los metanos trihalogenados [MTH]).
- El nivel total de sólidos disueltos se incrementa en el agua efluente.

- El cloro residual es inestable en presencia de altas concentraciones de materiales con demanda de cloro, por lo cual pueden requerirse mayores dosis para lograr una desinfección adecuada.
- Algunas especies parásitas han mostrado resistencia a dosis bajas de cloro, incluyendo los oocistos de *Cryptosporidium parvum*, los quistes de *Entamoeba histolytica* y *Giardia lamblia*, y los huevos de gusanos parásitos.
- Se desconocen los efectos a largo plazo de la descarga de compuestos de la descloración al medio ambiente.

2.1.3 Desinfección por rayos ultravioleta

La radiación ultravioleta (UV), es un proceso probado para desinfectar las aguas que estén microbiológicamente contaminadas. Es un proceso físico que neutraliza los microorganismos instantáneamente cuando estos pasan a través de las lámparas ultravioleta sumergidas en el efluente.

De acuerdo a lo señalado por EPA de Estados Unidos de América, el sistema de desinfección con luz ultravioleta (UV), transfiere energía electromagnética desde una lámpara de vapor de mercurio al material genético del organismo (ADN o ARN). Cuando la radiación UV penetra en las paredes de la célula de un organismo, destruye la habilidad de reproducción de la célula, como consecuencia de la descarga eléctrica a través de vapor de mercurio, penetra al material genético de los microorganismos y retarda su habilidad de reproducción.

La eficacia del sistema de desinfección con luz ultravioleta depende de las características del agua residual, de la intensidad de la radiación, del tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y de la configuración del reactor. Para cualquier planta de tratamiento, el éxito de las actividades de desinfección está directamente relacionado con la concentración de componentes coloidales y de partículas en el agua residual. Los componentes principales del sistema de desinfección con luz UV son las lámparas de vapor de mercurio, el reactor y los balastos electrónicos (ballasts). La fuente de luz UV son las lámparas de arco de mercurio de baja o mediana presión, bien sea de baja o alta intensidad.

Las principales ventajas y desventajas de la tecnología son:

Ventajas:

- La desinfección con luz UV es eficaz para la desactivación de la mayoría de los virus, esporas y quistes.
- La desinfección con luz UV es más un proceso físico que una desinfección química, lo cual elimina la necesidad de generar, manejar, transportar, o almacenar productos químicos tóxicos, peligrosos o corrosivos.
- No existe ningún efecto residual que pueda afectar a los seres humanos o cualquier organismo acuático.
- La desinfección con luz UV es de fácil uso para los operadores.
- La desinfección con luz UV tiene un período de contacto más corto en comparación con otros desinfectantes (aproximadamente de 20 a 30 segundos con la utilización de las lámparas de baja presión).
- El equipo de desinfección con luz UV requiere menos espacio que otros métodos.

Desventajas:

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas y quistes.
- En algunas oportunidades los organismos pueden reparar o invertir los efectos destructivos de la radiación UV mediante un “mecanismo de reparación”, también conocido como foto-reactivación o, en ausencia de radiación, como “reparación en oscuro”.
- Es necesario un programa de mantenimiento preventivo para controlar la acumulación de sólidos en la parte externa de los tubos de luz.

- La turbidez y los sólidos suspendidos totales (SST) en el agua residual hacen que la desinfección con luz UV sea ineficaz. El uso de la desinfección con lámparas UV de baja presión no es tan efectivo en el caso de efluentes secundarios con niveles de SST mayores a 30 mg/L.

La desinfección con luz UV no es tan económica como la desinfección con cloro, pero los costos son competitivos cuando la cloración requiere descloración y se cumple con los códigos de prevención de incendios.

2.1.4 Tratamiento con ozono

Las actividades de desinfección son consideradas como los mecanismos principales en la desactivación o destrucción de los organismos patógenos. Esto para prevenir la dispersión de enfermedades transmitidas a través del agua tanto a los usuarios aguas abajo como al ambiente.

El ozono se produce cuando las moléculas de oxígeno (O_2) son disociadas por medio de una fuente de energía, produciendo átomos de oxígeno que posteriormente chocan con una molécula de oxígeno para formar un gas inestable, el ozono (O_3), que se utiliza para desinfección de las aguas residuales. La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales generan ozono mediante la aplicación de una corriente alterna de alto voltaje (6 a 20 kilovoltios), a través de una brecha entre placas dieléctricas de descarga en donde se encuentra un gas de alimentación que contiene el oxígeno. El ozono es generado en la planta debido a que el gas es inestable y se descompone en oxígeno elemental en un período corto de tiempo luego de su generación.

Ventajas y desventajas

Ventajas:

- El ozono es más eficaz que la utilización del cloro para la desinfección o destrucción de virus y bacterias.
- El proceso de ozonización utiliza un período corto de contacto (aproximadamente de 10 a 30 minutos).

- No existen residuos peligrosos que necesiten ser removidos después del proceso de ozonización porque el ozono se descompone rápidamente.
- Después del proceso de ozonización, los microorganismos no crecen nuevamente, a excepción de aquellos que están protegidos por las partículas en la corriente de agua residual.
- El ozono es generado dentro de una planta, existiendo de esta manera muy pocos problemas de seguridad industrial asociados con el envío y el transporte.
- El proceso de ozonización eleva la concentración de oxígeno disuelto (O.D.) del efluente. El incremento O.D. puede eliminar la necesidad de reaireación y también puede incrementar el nivel de O.D. en la corriente de agua receptora.

Desventajas:

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas o quistes.
- El proceso de ozonización es una tecnología más compleja que la cloración o la desinfección con luz ultravioleta, por lo cual se requiere equipos complicados y sistemas de contacto eficientes.
- El ozono es muy reactivo y corrosivo, requiriendo así de materiales resistentes a la corrosión tales como el acero inoxidable.
- El proceso de ozonización no es económico para las aguas residuales con altas concentraciones de sólidos suspendidos (SS), demanda bioquímica del oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno, o carbono orgánico total.
- El ozono es extremadamente irritante y posiblemente tóxico, de modo que los gases de escape que salen de la cámara de contacto deben ser destruidos para evitar que los trabajadores estén expuestos a ellos.

- El costo del tratamiento puede ser relativamente alto en cuanto a la inversión de capital y la demanda de energía eléctrica.

Cualquiera sea el tratamiento elegido por sí solo o en combinación, debe tener en consideración que un tratamiento eficiente de las aguas de baja calidad, siempre debe seguir en forma estricta el cumplimiento de las normas establecidas por los organismos nacionales e internacionales para su uso en riego agrícola. Ello a objeto de permitir el aprovechamiento seguro de un gran volumen de agua con gran valor agronómico y cautelar la salud de las personas, la fauna y el medio ambiente.

SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE CURSOS DE AGUAS SUPERFICIALES A TRAVÉS DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Carlos Blanco M.

Ing. Agr. Magister

INIA La Platina

El sol emite una luz invisible que son los rayos ultravioletas. Por lo tanto, el uso de luz UV para la purificación de agua no es reciente, sino un concepto que ha existido por cientos años, pero a pesar de sus principios tempranos, la ciencia detrás de la desinfección UV es compleja. La luz UV se produce naturalmente dentro del espectro electromagnético de las radiaciones solares en el rango comprendido entre 200 y 300 nanómetros (nm), conocido como UV-C (**Figura 4**), el cual resulta letal para los microorganismos.

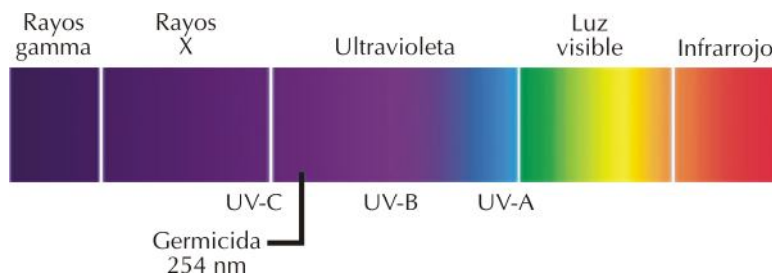


Figura 4. Espectro electromagnético y ubicación de la longitud de onda de la luz UV-C.

Este fenómeno natural se reproduce en el interior de reactores gracias a potentes lámparas que emiten rayos UV-C. La luz UV emitida, no cambia las propiedades del agua o aire. Es decir, no altera químicamente la estructura del fluido tratado. A diferencia de técnicas de desinfección química, que implican el manejo de sustancias peligrosas y reacciones

que dan como resultado subproductos no deseados, la luz UV ofrece un proceso de desinfección limpio, seguro y efectivo. La radiación UV proporciona una inactivación rápida y eficiente de los microorganismos mediante un proceso físico.

De todos los métodos de desinfección actual, la luz ultravioleta (UV), es considerado uno de los más seguros. Más aún, su acción germicida se realiza en segundos o en fracciones de éstos. Además es ambientalmente el método más adecuado. Cuando las bacterias, los virus y los protozoos se exponen a las longitudes de onda germicidas de la luz UV, se vuelven incapaces de reproducirse e infectar. Se ha demostrado que la luz UV es eficaz frente a microorganismos patógenos, como los causantes del cólera, la polio, la fiebre tifoidea, la hepatitis y otras enfermedades bacterianas, víricas y parasitarias. A 254 nm, la longitud de onda es óptima para erradicar los microorganismos. Los rayos UV-C penetran en el corazón del ADN y perturban el metabolismo celular hasta su destrucción total (EPA, 1999).

El ADN, o ácido desoxirribonucleico, es responsable de la reproducción y activación de procesos metabólicos dentro de todas las células vivas. Todas las células deben tener ADN intacto para funcionar correctamente. Su estructura es muy similar a una escalera que se ha torcido de ambos extremos, dando como resultado un aspecto espiral.

Cuando los microorganismos son expuestos a una dosis adecuada de radiación ultravioleta a 254 nm de longitud de onda (UV-C), el ADN de las células absorben los fotones UV causando una reacción fotoquímica irreversible, la cual inactiva y destruye las células, a través del efecto de rompimiento de las cadenas de los aminoácidos de proteínas. Esto causa una disrupción metabólica afectando su mecanismo reproductivo y logrando así su inactivación, por lo tanto, elimina sus propiedades para producir enfermedades y el crecimiento microbiológico.

Tal como se ha expuesto en capítulos anteriores, la contaminación microbiológica de los cursos de aguas superficiales en la Región Metropolitana, así como también en otras regiones importantes productoras de hortalizas, es bastante alta, sobrepasando con creces los límites permitidos por las regulaciones legales y sanitarias del país. Por lo

tanto, con el fin de mejorar estas condiciones de uso de aguas, es posible utilizar tecnologías como el uso de emisores de luz UV-C como desinfectantes de aguas de riego en hortalizas que crecen a ras de suelo y que se consumen crudas.

El sistema de desinfección por medio de radiación ultravioleta (UV), que permite controlar la contaminación microbiológica de estas aguas fue evaluado en esta investigación bajo un diseño que contemplo la confección de las siguientes etapas:

- Desarenador.
- Acumulador.
- Caseta de control.
- Sistema de riego.

3.1. DESARENADOR

La función del desarenador es remover del agua de riego, la mayor proporción de sedimentos gruesos, reduciendo el impacto de los sedimentos en el suelo en riego superficial, y aliviando el funcionamiento de filtros en sistemas presurizados.

En el sector de ingreso de agua de riego, se debe realizar un levantamiento topográfico, para lo cual se debe realizar un estudio planimétrico con estacado cada 20 m. considerando la orientación de manera que permita al centro de este el ingreso del agua de riego proveniente de la acequia. A partir del estudio topográfico, se podrá definir la construcción del acumulador o tranque. En este aspecto, es importante diseñar el desarenador y acumulador en igual cota topográfica, de modo que el agua no desborde en ninguna de las dos estructuras.

Además, se debe considerar el caudal requerido que debe cubrir la demanda del sistema de bombeo y calidad fisicoquímica del agua a tratar. En este caso, el diseño se efectuó considerando un máximo de 12 l/s (0,012 m³/s). Al disminuir la velocidad de avance, se establecen condiciones físicas adecuadas para que las partículas en suspensión decanten o sedimenten alcanzando el fondo del depósito que contiene el agua.

El rendimiento del desarenador de sección transversal rectangular y profundidad constante, consideró varias simplificaciones en la teoría de clarificación como: caudal (L/s), diámetro de partículas (mm), velocidad de sedimentación (mm/s), velocidad crítica (m/s), velocidad de traslación (m/s) y superficie espejo (m²).

Del análisis de las variables anteriores, se diseñó un desarenador de 80 m de largo, 2,5 m de ancho a la entrada y al final (para facilitar la limpieza), lo cual otorga un área espejo de agua de 200 m² (**Figura 5**). El tiempo de retención que se requiere es de 16 horas aproximadamente. Las dimensiones consideradas para la corona fueron de 1 m de ancho. Los taludes fueron 1:1 ó 45°. Esto equivale que por cada metro de elevación, el muro se desplaza un metro. La revancha o distancia del agua al borde del muro consideró un mínimo de 30 cm.



Figura 5. Desarenador de agua de riego de canal.

En el extremo opuesto a la entrada de agua del decantador y a nivel de la superficie, se instaló un tubo de PVC de 250 mm con una jaula flotante en el extremo de entrada del agua. Esta jaula rodeada de una fina malla que evita la entrada de cualquier material suspendido de tamaño grande como hojas y basuras, consta además de un flotador (caja hermética rellena con poliestireno), el que permite mantener el PVC en la parte superior del espejo de agua y así facilitar la entrada de agua con menos sedimentos que posteriormente será derivada al acumulador.

Al momento de iniciar el llenado del desarenador, éste llegará a un nivel de agua máximo que tiene relación con el nivel de acumulador y por tanto, el exceso de agua que ingresa al desarenador debe eliminarse por una acequia de derrame o desagüe que sale del desarenador (ubicada en la entrada) y que es derivada a otro curso de agua superficial. Es necesario tener presente que este sistema tiene la ventaja de estar permanentemente en circulación debido a que estamos ocupando agua del acumulador para el riego de hortalizas y por tanto, rellenando automáticamente.

En ambas etapas, el desarenador y acumulador deben estar interconectados, de manera que el agua del desarenador una vez que ha cumplido el tiempo de reposo y decantado el material en suspensión como arena se traspase al acumulador, lugar de donde se sacará el agua para cubrir la demanda del cultivo. Esta interconexión se realizó por medio de tubería de PVC de 250 mm clase 4, aprovechando la gravedad de la topografía. Por tanto, en esta etapa no se requiere energía eléctrica para mantener el constante llenado del acumulador.

Entre ambas etapas es necesario instalar una válvula de compuerta de manera de interrumpir el llenado del acumulador en cualquier momento y derivarla por otra acequia. De esta forma se facilita la limpieza del desarenador ya sea manual o por medio de maquinaria.

3.2. ACUMULADOR

Considerando el levantamiento topográfico y la superficie del terreno como referencia, se construyó el acumulador con unas dimensiones de 40 x 10 x 1,5 m para largo, ancho y altura (promedio), lo cual otorga una reserva de 600 m³ aproximadamente.

Con respecto al sellado de este acumulador y dependiendo de la condición del terreno, se debe considerar como primer recubrimiento una malla geotextil de poliéster, de manera de minimizar los posibles cortes productos de piedras o rocas filudas. Posteriormente, se debe impermeabilizar por medio de una geomembrana de alta densidad (HDPE), de 600 o más micrones, que permite una durabilidad de seis a ocho años dependiendo del cuidado que se le brinde.

En el acumulador se instaló la interconexión que proviene del desarenador por medio de la tubería de 250 mm de PVC. Ésta fue articulada a la entrada del acumulador por medio de una junta de dilatación que permite bajar y subir dependiendo del nivel de agua disponible en el acumulador. El agua sale por esta tubería con presión y un determinado caudal, que es arrastrado por la gravedad otorgada por una leve pendiente entre las dos etapas. Esta tubería también posee un flotador que permite mantener en la parte superior del nivel de agua, el sistema de llenado. Además, en este acumulador se encuentran ubicadas las válvulas de retención de las bombas ubicadas en la caseta de control (**Figura 6**).



Figura 6. Acumulador de agua de riego, conectado en vaso comunicante con el desarenador.

3.3. CASETA DE CONTROL

La caseta de control comprende toda la instrumentación y automatización del sistema (**Figura 7**). La ubicación debe ser cercana al acumulador para evitar pérdidas de presión de bombeo.

La caseta está compuesta por:

- Bombas periféricas de 3 HP.
- Tableros eléctricos.
- Programadores de riego.



Figura 7. Caseta de control, bombas y filtros.

- Filtros de arena de 18" con retrolavado.
- Programador de filtro de arena con retrolavado.
- Filtros de anilla de 2".
- Filtros de desinfección UV.
- Unidad de voltaje de equipo de desinfección UV.
- Timer para equipo de desinfección UV.
- Bomba inyectora.
- Unidad de accionamiento de bomba inyectora.
- Caudalímetro.
- Bomba soplante.
- Unidad de accionamiento de bomba soplante.
- Estanques de 500 litros.
- Energía trifásica.

Para este modelo se consideraron dos bombas de 3 HP independientes entre sí, debido a que se evaluó la aplicación de agua de riego con desinfección UV y agua de riego sin desinfección en cultivo de lechuga y zanahoria.

Con el fin de activar la succión del sistema de bombeo, el predio a regar debe constar con energía trifásica, dado el requerimiento de potencia de las bombas. Previa programación y en forma automática, se activa el programador de riego de acuerdo a programas preestablecidos, considerando requerimiento hídrico del cultivo, lo cual determinará el tiempo de riego para los distintos sectores.

La activación de la bomba permite la succión de agua del acumulador, que posteriormente pasa por el sistema de filtrado de arena que consta de dos filtros instalados en línea, los cuales cada cierto tiempo de trabajo, activan el programa de retrolavado. Posteriormente, el agua pasa por un sistema de filtrado de anillas de 120 mesh (0,125 mm), que permite retener partículas mas pequeñas que no han sido filtradas por el sistema de filtrado de arena. Una vez filtrada el agua, esta es expulsada de acuerdo a la bomba utilizada a los sectores de riego que puede ser: sector de riego con agua tratada con filtro UV y sector de riego sin desinfección UV.

En el caso que el agua debe ser tratada con el sistema de desinfección UV, está debe ser conducida posterior al filtrado con anillas al filtro de desinfección ultravioleta (UV). El filtro de desinfección UV consiste en un tubo de acero inoxidable en cuyo interior se instala una lámpara continua de 300 watts, que emite una luz UV de 254 nanómetros de longitud de onda, y que produce el efecto germinicida y una máxima eficiencia (**Figura 8**). La luz UV es capaz de actuar a nivel de ADN, destruyendo los ácidos nucleicos de las bacterias, impidiendo su viabilidad. La lámpara tiene una vida útil estimada de 16 mil horas, que



Figura 8. Lámpara emisora de rayos UV-C a 254 nm.

en hortalizas proyecta su reposición a los dos años de trabajo en forma continua. El equipo de desinfección UV permite desinfectar hasta 21 metros cúbicos de agua por hora, a una transmitancia (capacidad que tiene la luz UV de traspasar la lámina de agua ejerciendo el efecto germicida), del 50%, pudiendo aumentar los metros cúbicos por hora si se opera con agua de menor turbiedad.

En caso de no utilizar la lámpara de desinfección UV para riego de cultivos sin restricción como son tomate, alcachofas, pimientos, maíz, papa, brócoli, coliflor, entre otros, el equipo consta de un sistema de válvulas que permite regular el flujo hacia la lámpara o desviar el agua sin tratamiento directo a los sectores de riego.

La utilización de radiación UV como agente de desinfección de aguas superficiales requiere algunas condiciones que debe cumplir esta agua para un óptimo de funcionamiento tales como:

Calidad del agua: en relación a la temperatura del agua tiene relativamente baja relación con la eficacia de la desinfección con luz ultravioleta, pero afecta el rendimiento operativo de la lámpara de luz ultravioleta cuando la misma está inmersa en el agua. La energía ultravioleta es absorbida por el agua, pero en mucho mayor grado lo es por los sólidos en suspensión o disueltos, turbiedad y color. La Norma 1333 Of. 78/97 de Calidad de Aguas, como no especifica parámetros para turbiedad, se puede mencionar como referencia que para agua de uso potable la concentración de los sólidos en suspensión es generalmente inferior a 10 ppm. En concentraciones superiores, empieza a experimentar problema en la absorción de la luz ultravioleta, por tanto, la turbiedad debe ser tan baja como sea posible y en todo caso, deben evitarse turbiedades mayores de cinco NTU (Unidades Nefelométricas) (Solsona y Méndez, 2002).

Intensidad de la radiación: a menor distancia del agua respecto al punto de emisión de los rayos, mayor será la intensidad de los mismos y por tanto la desinfección será más eficiente. Con respecto a esta condición, existe una regla general que dice que no debe haber más de 75 mm de profundidad de agua para asegurar que cada porción de la misma sea alcanzada por los rayos adecuadamente (Solsona y Méndez, 2002).

Tipo de microorganismos: La radiación ultravioleta se mide en microvatios por centímetro cuadrado ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) y la dosis en microvatios en segundos por centímetro cuadrado ($\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$) (radiación x tiempo). La resistencia al efecto de la radiación dependerá del tipo de microorganismo de que se trate.

Tiempo de exposición: Como cualquier otro desinfectante, el tiempo de exposición es vital para asegurar un buen desempeño. Las exposiciones normales son del orden de 10 a 20 segundos.

En el caso que el agua no sea tratada con radiación UV, ésta es conducida directamente a la matriz de riego una vez que ha sido filtrada, derivando a los distintos sectores que involucra el sistema productivo, tal como se observa en la **Figuras 9 ,10 y 11**.



Figura 9. Sistema de riego por cintas sobre camas con agua tratada con luz UV-C.



Figura 10. Cultivo de zanahorias regadas con agua tratada con luz UV-C.



Figura 11. Cultivo de lechuga regado con agua tratada con luz UV-C.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO EN CULTIVOS DE LECHUGA Y ZANAHORIAS REGADOS CON AGUA DE CANAL CON DISTINTOS TRATAMIENTOS

Carlos Blanco M.

Ing. Agr. Magister

INIA La Platina

Gabriel Saavedra del Real

Ing. Agr. M.Sc. Ph.D.

INIA La Platina

La técnica de tratamiento de aguas con radiación ultravioleta es una práctica que ha sido ampliamente probada y utilizada en el país y el extranjero. Se aplica en diversas áreas, siendo autorizado su uso expresamente por el Ministerio de Salud en el Código Sanitario, como por ejemplo, para la potabilización de aguas embotelladas (Minsal, 1997), o para lavado de equipos de lechería. Además, la tecnología UV aplicada en aguas está siendo utilizado en el país en campos como: tratamiento de riles, salmonicultura, bebidas embotelladas, existiendo un numero amplio de empresas que venden los equipos y dan soporte técnico a su utilización. En agricultura se han realizado una serie de ensayos de equipos en los que ha participado la Comisión Nacional de Riego, constatando la efectividad de los equipos utilizados y del tratamiento realizado. Para el Ministerio de Agricultura, ésta es una práctica validada que podría utilizarse sin inconvenientes en tratamiento de aguas de riego para hortalizas que crecen a ras de tierra. El motivo que ha detenido esta tecnología es que aún es una técnica aislada en la agricultura, no aplicada dentro de un proceso que utilice sus beneficios, y el organismo que norma y controla la calidad de las aguas de riego para este fin, el Ministerio de Salud, no la autoriza, pues no se le ha presentado la información adecuada, y por tanto, desconoce su forma de aplicación, su efectividad y carece de los parámetros que le permitirían hacer un control efectivo sobre él.

A nivel de cauces no hay tratamientos y sólo se practica el tratamiento de aguas servidas por empresas sanitarias antes de devolver estas aguas

utilizadas a canales o ríos. A nivel predial no existe ninguna práctica en este sentido, por lo cual lo que se realizó en esta investigación fue la primera solución real que tendrían los agricultores en forma individual respecto a aguas contaminadas por microorganismos.

Entonces, con el objetivo de desarrollar un tratamiento sanitario previo de aguas de riego en base a radiación UV aplicado a nivel predial, que asegure aguas aptas para riego de hortalizas que crecen a ras de tierra y se consumen principalmente crudas, se realizó una investigación en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación La Platina (33° 34' latitud sur y 70° 38' longitud oeste; 630 m.s.n.m) durante la temporada 2013/2014.

4.1. RECURSOS HÍDRICOS

Con respecto al recurso hídrico que utiliza el predio para riego de cultivos, frutales y hortalizas, éste proviene de cursos de aguas superficiales (canales), que nacen del sector de la Obra, Las Vizcachas, Puente Alto, Santiago. El canal matriz San Carlos Tronco, da origen al Canal Eyzaguirre y deriva en el Canal San José. Este último provee de agua a La Platina. Estos canales se encuentran supervisados y mantenidos por la Sociedad del canal del Maipo (www.scmaipo.cl), cuyo objetivo es extraer aguas del Río Maipo, repartirlas entre sus asociados, así como conservar y mejorar la red de acueductos que administra.

La distancia aproximada desde el origen (Sector de la Obra), al predio CRI La Platina es de aproximadamente 35 km. Durante ese trayecto es importante mencionar que la mayor parte del canal viene abovedado (tapado). Durante los meses de junio y julio del 2013, la Sociedad del Canal del Maipo, realizó el abovedado de un tramo que promovía una gran contaminación al curso de agua. En la actualidad existe un pequeño tramo que se encuentra descubierto de 800 a 1.000 metros aproximadamente a una distancia de 20 km del predio de La Platina. Este tramo deja vulnerable el canal para que poblaciones cercanas viertan percolados residuales domésticos y/o contaminantes fecales de diverso origen, favoreciendo la contaminación de las aguas ya sea química como microbiológica.

Con respecto a la condición predial donde se llevó a cabo la investigación, la distancia que hubo entre la entrada de agua “compuerta” del canal San José al punto de entrada del desarenador, lugar donde se registraron los primeros muestreos para detección de coliformes fecales es de 1.550 metros aproximadamente. Durante este trayecto, el agua es conducida por acequias que están cubiertas con malezas, lo cual permite en muchos casos, disminuir la contaminación al actuar como una barrera física y/o biofiltros disminuyendo la cantidad de carga microbiológica en las aguas.

Otro aspecto que es necesario de considerar en el recorrido de aguas de canal a nivel predial, es la presencia de dos aclaradores que se hicieron antes de la entrada de agua al desarenador. Estos fueron realizados en una acequia de 300 metros de longitud que conecta al desarenador y consiste en dos perforaciones de 1,5 x 2,5 x 1,5 metros distribuidos equidistantes en este tramo. Estos aclaradores ayudan a disminuir la velocidad del agua y favorece la decantación de los coloides en suspensión que traen las aguas (**Figura 12**).

Los muestreos se efectuaron en las siguientes etapas como se indican a continuación y se ilustran en la Figura 12:

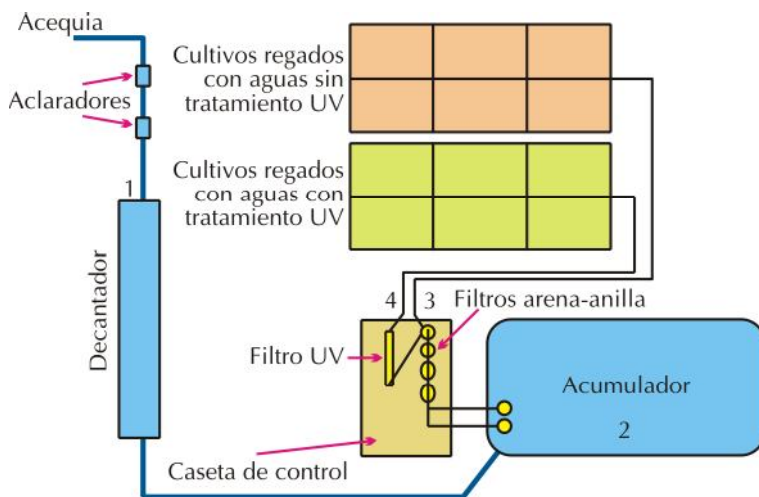


Figura 12. Diagrama de distribución del proceso y puntos de toma de muestras de aguas.

1. Entrada del decantador (coliformes fecales y turbiedad).
2. Acumulador (coliformes fecales).
3. Posterior filtros de arena y anilla (coliformes fecales y turbiedad).
4. Posterior a filtro de desinfección UV (coliformes fecales).

4.2. ANÁLISIS DE LA TURBIEDAD

La turbiedad es la dificultad del agua, para transmitir la luz, debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además, interfiere con la mayoría de procesos a que se pueda destinar el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento.

La Norma 1333 Of. 78/97 de Calidad de Aguas, no especifica parámetros para la turbiedad relacionados con agua de riego. Sin embargo, es de gran importancia el tener una calidad de agua con la mayor claridad o menor turbiedad, de manera de mejorar la eficiencia del filtro de desinfección UV. Se debe mencionar que el sistema de desinfección emite luz ultravioleta que traspasa la lámina de agua, fenómeno denominado “transmitancia”. Por tanto, la efectividad en el control de microorganismos contaminantes, bacterias y otros, depende de la claridad de estas aguas. Como antecedente se puede indicar que la turbiedad máxima que puede tener el agua destinada a consumo “potable”, no puede superar 20 NTU (Unidades Nefelométricas) (Norma Chilena Oficial NCh409/1.Of2005). DS735.

En el **Cuadro 3**, se observa las muestras realizadas en la etapa de decantación y posterior paso por los filtros de arena y anilla.

Los valores obtenidos a la entrada del decantador que corresponde a la condición normal del agua de canal durante los distintos meses evaluados fueron variables siendo el valor mínimo de turbiedad de 3,72 NTU y el máximo de 356 NTU para los meses de abril de 2014 y noviembre de 2013. Es necesario considerar que la mayoría de los

Cuadro 3. Turbiedad evaluada en distintas etapas del proceso de desinfección de aguas por medio de radiación UV en cultivos de lechuga. INIA La Platina 2013.

Identificación muestra	Fecha	Entrada Decantador	Post Filtro Arena-Anilla
Turbiedad	17-Jun-13	4,34	2,02
Turbiedad	17-Jul-13	73,3	2,52
Turbiedad	20-Ago-13	13,1	5,52
Turbiedad	26-Sep-13	17,5	2,6
Turbiedad	22-Oct-13	158	3,5
Turbiedad	20-Nov-13	356	2,7
Turbiedad	18-Dic-13	216	3,08
Turbiedad	21-Ene-14	343	14,7
Turbiedad	20-Feb-14	157	2,87
Turbiedad	20-Mar-14	20,1	1,14
Turbiedad	22-Abr-14	3,72	1,75
Turbiedad	19-May-14	10,6	1,55

Turbiedad, NTU. Límite Detección: 0,1 NTU.

Métodos Estándar para la Examinación de Agua y Aguas Residuales, 21ª Edición, 2005.

canales en la época invernal son suspendidos para mantención de estos y evitar desbordes, debido al incremento de los caudales productos de las lluvias. En el caso particular del curso superficial evaluado en esta investigación, éste permaneció con un caudal mínimo desde junio a septiembre de 2013, en donde la turbiedad no alcanzó valores muy altos a excepción del mes de julio de 2013 con 73,3 NTU. Sin embargo, se aprecia una tendencia al aumento de la turbiedad a medida que comienza la temporada de riego, desde octubre a marzo, llegando a valores superiores a 150 NTU, lo cual indica que se trata aguas con una importante turbiedad. Esto se debe básicamente al aumento de los caudales en los cursos superficiales, producto de los deshielos cordilleros, acarreo de sedimentos y contaminación física, facilitando el arrastre de material en suspensión.

En la etapa del decantador el agua, permanece en reposo favoreciendo que los sedimentos más grandes como arena, tiendan a bajar. Esta agua después alimenta el acumulador que dependiendo de las

necesidades hídricas de los cultivos, se va utilizando por medio del sistema de bombeo y distribución de matrices mediante las cintas. Al bajar el nivel de este, inmediatamente el agua que ha estado en reposo en el decantador alimenta el acumulador para lograr reponer el agua utilizada como riego en los cultivos de lechuga y zanahoria. Debido a la capacidad de reserva de agua en el acumulador, este puede actuar como un segundo “decantador”, asegurando una mejor calidad física de agua para ser succionadas por las diferentes bombas de riego hacia los cultivos en evaluación. Sin embargo, antes de la distribución de las aguas, éstas pasan por un sistema de filtrado de arena y anilla. En esta etapa se evaluó la turbiedad, de manera de tener un parámetro de qué calidad de agua está entrando al sistema de desinfección ultravioleta.

En la columna post filtro de arena-anilla, se puede observar la calidad del agua evaluada en relación a la turbiedad, previo paso de la desinfección ultravioleta.

Los valores de turbiedad fluctuaron entre 14,7 y 1,14 NTU para los meses enero y marzo de 2014 lo cual representa una calidad de agua muy buena desde el punto de vista de turbiedad, y que favorece significativamente la eficiencia del filtro de desinfección ultravioleta. En términos de porcentaje de remoción de la turbiedad ésta llegó a valores que fluctuaron entre 53 y 99% para los meses de junio y noviembre de 2013.

En esta etapa, la turbiedad disminuyó considerablemente, llegando incluso a tener una calidad comparable con los parámetros exigidos para “agua potable”. Sin duda, las etapas previas de reposo de agua otorgadas por el decantador, acumulador y filtrado, ayudan significativamente a disminuir la turbiedad.

4.3. ANÁLISIS DE AGUAS DE CANAL: COLIFORMES FECALES

Desde mayo de 2013 hasta junio de 2014, en cultivo de lechugas y zanahorias, se tomaron muestras de aguas de riego en distintos puntos de muestreos. Éstas fueron derivadas al Instituto de Salud Pública (ISP),

para determinación de contaminantes microbiológicas considerando como indicador los coliformes fecales.

En el **Cuadro 4**, se observa los resultados de los análisis de aguas realizados en las distintas etapas del proceso. Los valores que se observan entre los meses de mayo a diciembre de 2013 corresponden al resultado obtenido de una muestra de aguas en su respectiva etapa. Posteriormente, a partir de enero a abril de 2014 los resultados corresponden a un promedio de tres muestras de aguas por cada etapa.

Cuadro 4. Resultados de coliformes fecales en distintas etapas del proceso de tratamientos de aguas superficiales aplicados al cultivo de lechuga y zanahoria. INIA La Platina. La Pintana, Santiago, Región Metropolitana. 2013-2014.

Identificación muestra	Fecha	Entrada decantador	Acumulador	Post filtro	
				Arena-Anilla	UV
Coliformes fecales	15-May-13	5400	49	----	<1,8
Coliformes fecales	17-Jun-13	16000	<1,8	<1,8	<1,8
Coliformes fecales	17-Jul-13	16000	<1,8	<1,8	<1,8
Coliformes fecales	20-Ago-13	2	<1,8	<1,8	<1,8
Coliformes fecales	26-Sep-13	63	<1,8	<1,8	<1,8
Coliformes fecales	22-Oct-13	1300	45	45	<1,8
Coliformes fecales	20-Nov-13	540	<1,8	<1,8	<1,8
Coliformes fecales	18-Dic-13	24	7,8	<1,8	<1,8
Coliformes fecales	21-Ene-14	5033	16	<1,8	<1,8
Coliformes fecales	20-Feb-14	2677	30	28	<1,8
Coliformes fecales	20-Mar-14	313	323	375	<1,8
Coliformes fecales	22-Abr-14	860	130	130	<1,8

Coliformes fecales, NMP/100 mL. Límite Detección: 1,8 NMP/100mL

En la entrada del decantador se observó que para todas las fechas evaluadas, el agua proveniente de la acequia posee una cantidad variable de coliformes fecales.

Los valores máximos de coliformes fecales fueron detectados durante los meses de junio y julio de 2013 con 16.000 NMP/100 ml y el valor mínimo fue para el mes de agosto de 2013 con sólo dos NMP/100 ml.

Con respecto a los valores máximos detectados, se debe considerar que durante el desarrollo del canal, es decir, desde su origen hasta la entrada al predio, existían algunos tramos que estaban expuestos a la contaminación que realizaban poblaciones cercanas a éste, vertiendo percolados sanitarios y materia orgánica de diverso origen. Para el mes de agosto de 2013, el canal comenzó a operar con este tramo abovedado, lo cual se reflejó significativamente en valores más bajos obtenidos desde agosto en adelante. Actualmente, queda solo un tramo de 800 a 1000 metros expuesto, pero de menor impacto de contaminación.

De acuerdo a la legislación vigente, este canal permanece cerca del 50% del total de los meses analizados con valores que sobrepasan los límites permitidos. Es decir, superior a 1.000 coliformes fecales/100 ml de agua, no teniendo una tendencia constante en el comportamiento de contaminación del canal según las distintas estaciones del año. Esto se debe a la alta variabilidad que se puede encontrar en los muestreos realizados, y por otra parte, al control de la contaminación que ejerce la Sociedad de Canal del Maipo en el canal, en el sector aguas arribas del experimento.

Al analizar los valores obtenidos en la etapa del acumulador, se observa que durante todos los meses muestreados, la cantidad de coliformes fecales se encuentra dentro del límite permitido por la legislación, siendo los valores detectados inferiores a 1000 coliformes/100 ml de agua.

En esta etapa, el agua se acumula para ser succionada por parte del sistema de bombeo y posterior filtrado, desinfección y distribución a los distintos sectores con cultivos. Por tanto, es una etapa donde el agua permanece en reposo, pudiendo decantar aún más y disminuir su contenido de coliformes fecales.

Los porcentajes de remoción variaron entre un 68 y 100% si se compara la contaminación inicial del decantador con la etapa del acumulador.

El porcentaje mínimo de remoción fue para el mes de diciembre de 2013 donde, se alcanzó un 68%. La remoción de un 100% se puede observar en los valores que comprenden los meses entre junio – septiembre y noviembre de 2013, donde no hubo detección de coliformes

fecales en los muestreos realizados (<1.8 NMP/100 ml). Destaca la disminución significativa que se logró mediante la etapa de decantación y acumulación en los meses de junio y julio de 2013 donde, se alcanzó los valores mayores de contaminación con 16.000 NMP/100 ml en la entrada del decantador.

Un caso puntual, se observó en el mes de marzo del 2014, donde los valores obtenidos en el acumulador aumentaron levemente en comparación a la etapa previa que es el decantador (313 a 323 NMP/100 ml). Este pequeño aumento y nula remoción de los coliformes fecales pudo estar influenciada por la limpieza que se realizó en el decantador para extraer el lodo que se deposita en su fondo durante el mismo mes. Posteriormente, fue necesario reanudar los riegos y se comenzó con el llenado del decantador y en forma continua el acumulador. Esto favoreció que gran parte de los coliformes fecales pasaran del decantador a la etapa del acumulador, sin haber tenido un tiempo de reposo que permitiera decantar los sólidos en suspensión y materia orgánica que favorece la supervivencia de los coliformes fecales.

Con respecto, a la etapa del filtrado en la cual se analizó el agua post filtrado de arena y anilla, estas mediciones comenzaron en el mes de mayo de 2013. Se puede observar que al comparar el efecto de la filtración con la etapa previa del acumulador desde junio a noviembre de 2013, no se observa un efecto del sistema de filtrado. Esto se debe básicamente a que en estos meses en la etapa del acumulador no hubo detección de coliformes fecales a excepción del mes de octubre de 2013, donde se encontró una baja cantidad con 45 NMP/100 ml, pero se mantuvo en ambas etapas, por lo cual el sistema de filtrado no ejerció una baja de los coliformes fecales. Durante los meses de diciembre de 2013 y enero de 2014, se observó efecto del sistema de filtración disminuyendo la cantidad de coliformes fecales de 7,8 y 16 NMP/100 ml encontrada en la etapa de acumulación a la no detección en la etapa posterior al filtrado (<1.8 NMP/100 ml). En los meses siguientes, de febrero a abril de 2014, el efecto de filtrado no ejerció una baja de coliformes fecales al comparar con la etapa previa, manteniéndose muy estable los valores detectados en la etapa del acumulador. Destaca, los valores detectados en el mes de marzo de 2014, donde la concentración de coliformes fecales aumentó de 323 a 375 NMP/100

ml, en las etapas de acumulador a post filtración arena-anilla, siendo un comportamiento totalmente distinto a los resultados de los meses anteriores. No obstante, este resultado pudo estar influenciado por las labores de limpieza del decantador que se realizó durante marzo de 2014, en donde el agua de canal pasó inmediatamente desde las etapas previas al riego del cultivo, sin tener el tiempo necesario de reposo que venía dándose en los meses anteriores, provocando una colmatación de los filtros, lo cual disminuye la eficiencia del filtrado y favoreció el aumento de los coliformes fecales.

La etapa final del sistema evaluado en la investigación, correspondió a muestreos realizados en las aguas a la salida del filtro de desinfección UV, previa distribución al cultivo. Se observó que para todos los meses evaluados, los resultados obtenidos fueron de no detección por parte de los análisis realizados por el ISP, obteniendo valores <1.8 NMP/100 ml. Al observar la etapa previa de filtración arena-anilla, se encontró contaminación de coliformes fecales fluctuando entre 28 y 375 NMP/100 ml para los meses de febrero y marzo de 2014, valores que no son elevados por efecto del tratamiento realizado en las etapas previas. Sin embargo, reflejaron contaminación de las aguas, pero la acción del sistema de desinfección por medio de radiación UV otorgó la certeza de disponer agua libre coliformes fecales.

4.4. ANÁLISIS DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA EN PRODUCTO FRESCO: LECHUGAS Y ZANAHORIAS

Con el objetivo de analizar el efecto del sistema de tratamiento de aguas para riego de hortalizas, se analizó lechugas y zanahorias al momento de la cosecha. La lechuga fue analizada por ser una hortaliza que de acuerdo a la legislación está prohibida de regar con aguas de canal que no cumplan la calidad microbiológica establecida, debiéndose aplicar algún tratamiento a estas aguas. En el caso de la zanahoria, es una especie que no está prohibida por la legislación y que puede ser regada con aguas de canal, debido a que su consumo es normalmente cocido. Sin embargo, la tendencia de los consumidores actualmente es también consumirla en forma cruda, existiendo un riesgo de contaminación mi-

crobiológica. Además, entre ambas especies hay una clara diferencia botánica en relación al órgano de consumo y hábito de crecimiento.

Se realizó análisis de contaminación microbiológica en producto fresco basado en la aplicación del Reglamento Sanitario de los Alimentos 977/1996, referidos al Artículo 173 punto 14 Frutas y Verduras, Tabla 14.1. En cada análisis la detección microbiológica estuvo enfocada a la presencia de *Escherichia coli* (*E. coli*), a cargo del Instituto de Salud Pública (ISP). El número de muestras que se consideró en el análisis fue basado en la especificación que otorga este mismo reglamento en el punto anteriormente mencionado.

4.4.1. Evaluación de lechugas

El análisis de lechugas establecidas en INIA La Platina, se realizó en tres ciclos de cultivo.

Los tratamientos aplicados fueron cultivo regado con agua desinfectada (UV), y cultivo regado con agua sin tratamiento de desinfección, siendo en ambos casos el tratamiento repetido por tres veces.

El primer ciclo de cultivo de lechuga permitió la cosecha durante el mes de octubre de 2013. El número de muestras consideradas en cada evaluación fue de tres lechugas por repetición, las que finalmente en laboratorio formaron una muestra para cada tratamiento. En cada evaluación se analizó la presencia de *E. coli*.

Como se puede observar en el **Cuadro 5**, de acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio para los distintos tratamientos y repeticiones analizadas, no se encontró presencia de *E. coli* en las lechugas analizadas a las diluciones realizadas.

Para el segundo ciclo de cultivo de lechugas, la cosecha fue realizada durante el mes de diciembre de 2013. Para este análisis se consideró un aumento en el número de muestras por repetición de manera de obtener un análisis más robusto. Para cada repetición, se evaluó nueve lechugas, que finalmente en laboratorio fueron reunidas en grupos de tres unidades para la obtención de tres análisis (sub muestra), por repetición para cada tratamiento.

Cuadro 5. Resultados obtenidos correspondientes a los análisis realizados al primer cultivo de lechugas para la detección de *E. coli* en tratamientos de aguas de riego superficiales con desinfección UV y agua de riego sin desinfección UV. Instituto de Salud Pública. Octubre de 2013.

Tratamientos	<i>Escherichia coli</i> (ufc/g)
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 1	< 10
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 2	< 10
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 3	< 10
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 1	< 10
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 2	< 10
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 3	< 10

Nota: Límite de detección 10 ufc/g.

En el **Cuadro 6**, se puede observar los resultados obtenidos correspondientes a los análisis realizados a lechugas para el segundo ciclo de producción. Los resultados mostrados son resumidos, debido a que en todas las submuestras analizadas independiente de la repetición y tratamiento, no se detectó presencia de *E. coli* a la dilución analizadas.

Cuadro 6. Resultados obtenidos correspondientes a los análisis realizados al segundo cultivo de lechugas para la detección de *E. coli* en tratamientos de aguas de riego superficiales con desinfección UV y agua de riego sin desinfección UV. Instituto de Salud Pública. Diciembre de 2013.

Tratamientos	<i>Escherichia coli</i> (ufc/g)
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 1	< 10
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 2	< 10
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 3	< 10
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 1	< 10
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 2	< 10
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 3	< 10

Nota: Límite de detección 10 ufc/g.

Para el tercer ciclo de cultivo de lechugas la cosecha fue realizada durante el mes de marzo de 2014.

En el **Cuadro 7**, se puede observar los resultados obtenidos correspondientes a los análisis realizados a lechugas para la detección de *E. coli*. El número de muestras analizadas fue el mismo de la cosecha anterior. Se detalla la totalidad de las submuestras por repetición debido a los resultados obtenidos.

Cuadro 7. Resultados obtenidos correspondientes a los análisis realizados al tercer cultivo de lechugas para la detección de *E. coli* en tratamientos de aguas de riego superficiales con desinfección UV y agua de riego sin desinfección UV. Instituto de Salud Pública. Marzo de 2014.

Tratamiento	<i>Escherichia coli</i> (ufc/g)
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 1. Sub muestra 1.	240
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 1. Sub muestra 2.	<3,0
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 1. Sub muestra 3.	<3,0
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 2. Sub muestra 1.	<3,0
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 2. Sub muestra 2.	<3,0
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 2. Sub muestra 3.	<3,0
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 3. Sub muestra 1.	<3,0
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 3. Sub muestra 2.	<3,0
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 3. Sub muestra 3.	<3,0
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 1. Sub muestra 1.	<3,0
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 1. Sub muestra 2.	290
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 1. Sub muestra 3.	<3,0
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 2. Sub muestra 1.	<3,0
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 2. Sub muestra 2.	<3,0
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 2. Sub muestra 3.	<3,0
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 3. Sub muestra 1.	>1100
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 3. Sub muestra 2.	<3,0
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 3. Sub muestra 3.	<3,0

Nota: Límite de detección 10 ufc/g.

En este ciclo de cultivo se detectó la presencia de *E. coli* en una muestra de lechugas regadas con agua desinfectada por medio de radiación UV, con una carga de 240 ufc/g. También se detectó la presencia *E. coli* en dos muestras de lechugas regadas con agua sin desinfección mediante radiación UV, con valores de 290 y >1100 ufc/g de bacterias.

Según el Reglamento Sanitario de los Alimentos 977/1996 referidos al Artículo 173 punto 14 Frutas y Verduras, Tabla 14.1, los rangos permitidos de *E. coli* pueden fluctuar entre 100 y 1000 bacterias. Los valores detectados en las muestras de lechugas sólo en una muestra sobrepasaron el rango máximo permitido y correspondió al tratamiento sin desinfección por medio de radiación UV.

4.4.2. Evaluación en zanahorias

El análisis de zanahorias establecidas en INIA La Platina se realizó en dos ciclos de cultivo.

Los resultados del **Cuadro 8**, corresponden al primer ciclo de cultivo que permitió la cosecha en octubre de 2013.

El número de muestras consideradas en cada evaluación fue de tres zanahorias por repetición, las que finalmente en laboratorio formaron

Cuadro 8. Resultados obtenidos correspondientes a los análisis realizados al primer cultivo de zanahorias para la detección de *E. coli* en tratamientos de aguas de riego superficiales con desinfección UV y agua de riego sin desinfección UV. Instituto de Salud Pública. Octubre de 2013.

Tratamiento	<i>Escherichia coli</i> (ufc/g)
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 1	<1000
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 2	<1000
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 3	2.500
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 1	<1000
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 2	<1000
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 3	40.000

Nota: Límite de detección 10 ufc/g.

una muestra para cada tratamiento. En cada evaluación se analizó la presencia de *E. coli*.

Se puede apreciar que las repeticiones que presentaron resultados de <1000 ufc/g de *E. coli*, independiente del tratamiento aplicado, no presentan contaminación de esta bacteria. Por tanto, el producto es inocuo desde el punto de vista de contaminación microbiológica. La excepción fue el tratamiento con desinfección UV, repetición 3 y tratamiento sin desinfección UV, repetición 3, donde se detectó 2.500 y 40.000 ufc/g de *E. coli*.

En un segundo cultivo de zanahorias cosechado en marzo de 2014, se realizó el mismo análisis. Sin embargo, de igual forma que en lechuga se aumentó el número de muestras por cada repetición.

Los resultados mostrados en el **Cuadro 9**, son resumidos debido a que en todas las submuestras analizadas independiente de la repetición y tratamiento no se detectó presencia de *E. coli* a la dilución analizada. Se puede observar que todos los valores obtenidos fueron <3.0 ufc/g de *E. coli*, lo cual indica que no se detectó la presencia de *E. coli* en todas las muestras analizadas independiente del tratamiento aplicado a las aguas.

Cuadro 9. Resultados obtenidos correspondientes a los análisis realizados al segundo cultivo de zanahorias para la detección de *E. coli* en tratamientos de aguas de riego superficiales con desinfección UV y agua de riego sin desinfección UV. Instituto de Salud Pública. Marzo de 2014.

Tratamientos	<i>Escherichia coli</i> (ufc/g)
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 1.	<3.0
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 2.	<3.0
Agua de riego con desinfección UV. Rep. 3.	<3.0
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 1.	<3.0
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 2.	<3.0
Agua de riego sin desinfección UV. Rep. 3.	<3.0

Nota: Límite de detección 10 ufc/g.

4.5. FACTORES QUE PUEDEN AFECTAR EL COMPORTAMIENTO DE PATÓGENOS EN EL SUELO

El comportamiento de los patógenos como bacterias y otros presentes en el suelo, depende de la relación de tres tipos de factores:

- Condiciones ambientales.
- Condiciones del suelo.
- Condiciones del propio microorganismo.

Condiciones ambientales: las que más influyen en el comportamiento de los microorganismos son la radiación ultravioleta, la temperatura y la lluvia. La temperatura ambiental alta puede producir, por ella misma, el aumento de la supervivencia de las bacterias. También produce un descenso de la humedad del suelo, factor negativo para la vida de las bacterias. Este descenso de la humedad favorece la aparición de grietas en la superficie del suelo, las cuales facilitan el movimiento de suspensiones de microorganismos hacia capas más profundas. La lluvia favorece la supervivencia de patógenos en el suelo, porque aumenta el grado de humedad. A su vez facilita el movimiento de los patógenos ya que aporta el vehículo de transporte de los microorganismos.

Condiciones del suelo: la textura y materia orgánica define la superficie global de contacto, la cual se relaciona íntimamente con:

- La capacidad de retención de agua.
- La capacidad de retención de sales y nutrientes.
- La capacidad de retención de sustancias antagonistas o tóxicas para los patógenos.
- La capacidad de retención de bacterias y virus.

Las tres primeras afectan a la supervivencia de los patógenos, la última afecta al movimiento.

En suelos arcillosos, se favorece la supervivencia de los microorganismos, ayudando a la protección a la desecación y exposición a rayos ultravioletas. Esto se debe a que en suelos arcillosos existe una mayor

retención de agua, nutrientes y capacidad de adsorción de microorganismos. Por otra parte, el movimiento de los microorganismos es difícil a causa de la adsorción que se genera con las partículas de arcilla. En contraste, los suelos arenosos no favorecen la supervivencia de los microorganismos, debido al movimiento de agua, nutrientes y una menor capacidad de adsorción.

Según la estructura del suelo habrá espacios vacíos dentro y fuera del agregado. En estos espacios se puede retener una cierta cantidad de agua; cuando esta desaparezca por infiltración o desecación, será sustituida por aire; aerobiosis o anaerobiosis más o menos estrictas condicionan la supervivencia de determinados organismos.

El pH del suelo, además de seleccionar los organismos adaptados a vivir en éste, determina la carga neta de sustancias anfóteras y condiciona la adsorción de los organismos al complejo adsorbente del suelo.

La microflora autóctona puede originar modificaciones del micromedio, competencia por el alimento, síntesis de sustancias beneficiosas o tóxicas para los patógenos, predación, parasitismo, simbiosis y comensalismo. La macroflora favorece el movimiento, facilitando canales a los organismos.

Condiciones del propio microorganismo: Producción de formas de resistencia, características de la capa externa. En condiciones óptimas los coliformes pueden sobrevivir en el suelo muchos meses. En los climas calurosos, especialmente en los áridos, la supervivencia es limitada a dos a tres meses. Las salmonelas pueden sobrevivir hasta un año si el suelo es húmedo y rico en materia orgánica (por ejemplo, si ha estado abonado). La supervivencia es más grande a temperaturas bajas: se han descrito supervivencias de hasta tres meses en tiempos calurosos, aumentan a unos cinco meses en las condiciones de tiempo de invierno en Europa.

En los vegetales, la supervivencia de los patógenos se reduce si las condiciones ambientales prevaecientes son clima árido, radiaciones ultravioletas, baja humedad y calor. El tipo de cultivo también afecta la supervivencia. En hierbas densas y frondosas, ésta aumenta, porque les confiere mayor protección.

4.6. CONCLUSIONES

Por un período de 13 meses se obtuvieron resultados de análisis de calidad de agua relacionados con la turbiedad y presencia de coliformes fecales. Estos fueron obtenidos en agua que fue tratada con desinfección UV y agua no tratada. En ambos tratamientos se analizaron el producto cosechado tales como lechugas y zanahorias.

Según los análisis realizados a este curso de agua superficial, la calidad desde el punto de vista de contaminación microbiológica, tiene una alta variabilidad durante los distintos meses del año llegando incluso a obtener valores muy distintos para un muestreo realizado en un mismo punto.

De lo anterior, se deduce, que este curso de agua superficial permaneció durante todo los meses con contaminación microbiológica. Sin embargo, durante varios meses los análisis demostraron que los niveles estuvieron sobre la norma, es decir, sobrepasan los 1000 coliformes fecales por 100 ml coincidiendo con la temporada de producción agrícola.

Se observó que el desarenador y acumulador disminuyen significativamente la cantidad de coliformes fecales que trae el agua. La remoción de estos coliformes fluctuó entre un 68 y más del 95% durante los meses evaluados. Esto permitió entregar agua con niveles aceptables de coliformes fecales según la norma para las siguientes etapas.

El sistema de filtrado de arena y anillas no logró reducir la carga de coliformes fecales en forma estable, a excepción de algunos meses.

La utilización de un filtro de desinfección UV demostró un control total de los coliformes fecales durante todos los meses indistintamente de la concentración de estos en las aguas.

El muestreo realizado en lechugas y zanahorias para la identificación de la bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*) demostró que no hubo contaminación microbiológica, excepción de dos submuestras independiente del tratamiento utilizado. Sin embargo, estuvieron dentro del rango permitido según el Reglamento Sanitario de los Alimentos 977/1996 referidos al Artículo 173 punto 14 Frutas y Verduras tabla 14.1.

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE RIEGO POR MEDIO DE RADIACIÓN UV PARA USO EN HORTALIZAS

Arturo Campos M.

Ing. Agr. M.Sc.

INIA La Platina

La producción de hortalizas se ha convertido en una importante actividad económica del sector agropecuario, en especial en áreas cercanas a los centros de consumo como son las grandes ciudades. Los cambios en los hábitos de consumo de la población y las fuertes campañas publicitarias orientadas a combatir la obesidad han determinado que la demanda por estos alimentos haya crecido de manera importante en nuestro país. Sin embargo, las hortalizas de hojas han presentado algunas dificultades especialmente en la Región Metropolitana, pues la calidad del agua utilizada para riego cuenta con una cantidad importante de patógenos que dificultan su producción en gran escala. La elevada presencia de coliformes fecales, y otros microorganismos, dieron origen al establecimiento de decretos y normativas que impiden la producción de las hortalizas que crecen a ras de suelo y que se consumen crudas, a menos que se sean producidas con agua de pozo y cumplan con la normativa. Esta situación da origen a que exista una restricción en la superficie a utilizar con estas especies, en una zona en que la población consumidora no sólo aumenta, sino que también se prevé un fuerte crecimiento de la misma en un plazo, relativamente breve.

La situación anterior tiene dos efectos inmediatos: primero, el limitar las posibilidades de producción en áreas de la Región Metropolitana que presenta una tradición en la producción de estos cultivos afectando los ingresos de la población rural especialmente la de pequeños productores. Por otra parte, el concentrar la producción de estas hortalizas en otras regiones del país, para satisfacer la demanda de la Región Metro-

politana, encarece significativamente los costos, no sólo de los insumos utilizados, sino que además los de la comercialización, especialmente los de transporte, a los cuales deben ser agregados los de ingreso a los mercados mayoristas, y personal que supervisa la comercialización de estos productos en los mercados mayoristas.

Se agrega, el hecho que durante los últimos años, la zona Central de Chile se ha visto sometida a una fuerte sequía, que ha limitado el uso de agua de pozo dada la disminución de los caudales de éstos y con ello limitando las posibilidades de expandir la superficie hortícola, lo cual permitiría, aumentar la oferta, regularla en el tiempo y mejorar de esta manera la creciente demanda por este tipo de alimentos.

Por otra parte, la empresa agropecuaria es una típica tomadora de precios, caracterizada por enfrentar mercados en los cuales tiene escasa información, siendo esta además asimétrica, en la que los precios de los productos enfrentan una alta variabilidad entre años y dentro de la temporada. Esta situación ha ido cambiando, dado que existen programas gubernamentales que propenden a mejorar el conocimiento por parte de los productores de las condiciones de comercialización de sus productos. Se agrega un componente de gran importancia, los productores generalmente no cuentan con registros productivos lo suficientemente claros que permita al final del ciclo productivo, los resultados económicos de la gestión.

Con este propósito se desarrolló un sistema de riego que permite usar una tecnología para tratar el agua de cursos superficiales por medio un filtro de radiación ultravioleta que permite desinfectar el agua previo al riego, disminuyendo de manera significativa la presencia de coliformes y otros potenciales patógenos. Con ello se mejora la calidad del agua y permitiendo la producción de hortalizas que eventualmente podrían ser incorporadas al proceso productivo en áreas que en la actualidad presentan limitaciones de tipo sanitario.

Básicamente este sistema está orientado a un riego cerrado presurizado ("cintas") el cual consiste en implementar una infraestructura consistente en un desarenador, un tranque acumulador, la caseta de control de riego en donde se encuentra el sistema de desinfección UV, y el sistema de distribución de agua por cinta a las hortalizas.

El objetivo de este análisis fue el determinar los costos de la inversión, y establecer su equivalencia para un año de operación y de la rentabilidad del sistema. Estos costos fueron obtenidos de la empresa que ejecutó la obra.

Para ello se simuló, dada las características y el tamaño de la inversión, una superficie de ocho hectáreas, las cuales fueron subdivididas en 21 sectores, que permiten regar en términos rotativos para una capacidad de distribución del agua de seis litros por segundo. Se consideró tres sistemas productivos conformados por siete sectores cada uno, logrando una superficie de 2,6 hectáreas cada uno, en los cuales se simuló el establecimiento de especies hortícolas para cada una de las temporadas.

5.1. DESARROLLO

El **Cuadro 10**, muestra el nivel de inversión asociada a la construcción de la infraestructura, incluyendo la obra gruesa que fue necesaria para el establecimiento del sistema de riego.

El monto de la inversión alcanzó a m\$37,9 y al agregar el plástico de recubrimiento del tranque y las cinta de riego, el monto ascendió a MM\$ 45. Desde el punto de vista de la estructura de los costos de inversión, gran parte de ella se concentra en la obra gruesa, instalación de la matriz y equipo eléctrico, las que en conjunto representan un 64,3% y un 54,1 %, sea esto considerando o no las instalaciones del recubrimiento plástico y cinta de riego. La unidad de desinfección UV (ultravioleta), representa un costo relativamente menor considerando la magnitud de los otros ítems anteriores.

Es importante considerar que el costo de la cinta representa para estas ocho hectáreas, una inversión equivalente a Mm\$ 5,5, lo que representa un 12,2 % del valor total de las inversiones.

El **Cuadro 11**, muestra la vida útil y la depreciación anual de las inversiones asociadas a la construcción de la infraestructura del sistema.

Cuadro 10. Niveles de inversión del sistema de tratamientos de aguas superficiales por medio de desinfección ultravioleta diseñada para ocho hectáreas de hortalizas.

Ítem	Valor (\$)	(%)	(%)
Fundaciones	10.000.000	26,4	22,2
Empalme trifásico	1.200.000	3,2	2,7
Caseta de control	1.600.000	4,2	3,6
Matriz PVC y fitting	7.955.449	21,0	17,7
Equipo eléctrico:	6.404.253	16,9	14,2
Sistema de filtrado	2.714.519	7,2	6,0
Equipo fertirrigación	740.000	2,0	1,6
Válvulas y piezas de acero caseta	938.000	2,5	2,1
Proyecto	1.082.000	2,9	2,4
Fletes y montaje	1.294.000	3,4	2,9
Unidad de UV (desinfección)	3.800.000	10,0	8,4
Estabilizador de voltaje	150.000	0,4	0,3
Sub Total	37.878.221	100,0	
Revestimiento tranque	1.600.000		3,6
Cinta Riego para distribución de agua	5.496.624		12,2
Total	44.974.845		100

Cuadro 11. Vida útil y depreciaciones de los componentes de la inversión en tratamiento de aguas UV.

Ítem	Vida útil (años)	Depreciación Anual
Fundaciones	10	1.000.000
Empalme trifásico	10	120.000
Caseta de control	10	160.000
Matriz PVC y fitting:	5	1.591.090
Equipo eléctrico:	10	640.425
Sistema de filtrado:	5	542.904
Equipo fertirrigación:	5	148.000
Válvulas y piezas de acero caseta	5	187.600
Unidad de UV (desinfección)	5	760.000
Estabilizador de voltaje	5	30.000
Plástico recubrimiento tranque	5	320.000

Los cultivos utilizados para la evaluación económica fueron: lechuga; espinaca; apio, zanahoria y zapallo italiano. Las razones de esta elección obedecen a la necesidad de distribuir en una mayor cantidad, hortalizas que se encuentran prohibidas de regar con aguas superficiales (lechuga, espinaca y apio), pudiendo regarlas sólo con agua de pozo y de usar de manera más intensiva el suelo disponible y el capital de inversión utilizado en este trabajo.

Los 21 sectores fueron distribuidos en tres módulos los cuales fueron conformados por siete sectores cada uno, permitiendo dar origen a las rotaciones que pudiesen ser regadas con agua desinfectada con radiación UV.

El primero de ellos, denominado Modulo 1, simuló la existencia de lechugas, en tres rotaciones a lo largo de la temporada. El Modulo 2, correspondió a una rotación simulada de espinaca y zanahoria. El Modulo 3, zanahoria, apio y zapallo italiano.

La disposición temporal de estos cultivos en la superficie calculada para cada uno de ellos se muestra en la **Figura 13**.

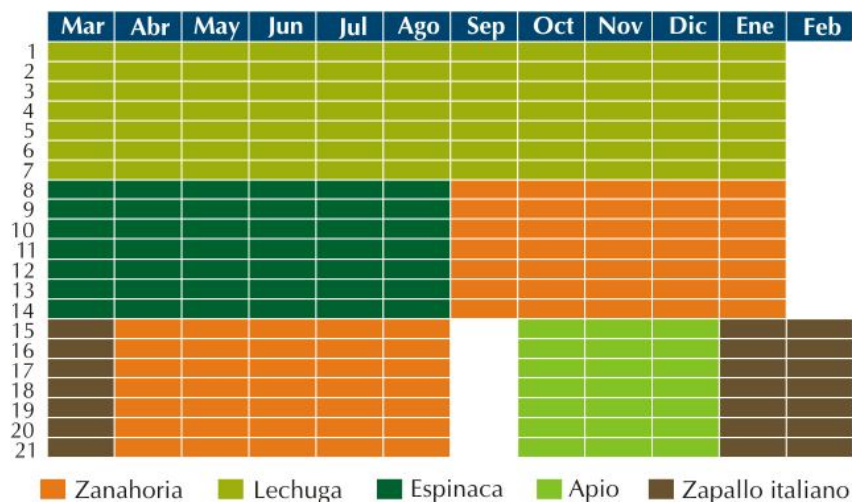


Figura 13. Plan de manejo de la superficie destinada a la producción de hortalizas bajo el esquema UV.

Los costos de producción fueron recopilados a través de planillas de cálculo elaboradas por INIA, en base a información proporcionada por productores, más información proveniente de ODEPA. En cada uno de los casos se asumió riego con cinta, y compra de plantines ahorrándose el proceso de preparación de éstos y así acortar con ello el tiempo de uso de la superficie en el sistema. Dado que los productores hortícolas utilizan más de un cultivo por sector, y puesto que utilizan las cintas de riego para más de uno de ellos, se asume que el retiro y colocación de las cintas de riego, sistema layflat, ocupan cuatro jornadas por hectárea cada una. Adicionalmente, se consideró como parte de los costos el valor de arriendo del terreno, como un costo alternativo, y un interés al capital fijo de un 3% derivado de las inversiones realizadas en el sistema de riego utilizando desinfección UV. Los principales valores utilizados se muestran en el **Cuadro 12**.

Cuadro 12. Principales valores utilizados en la evaluación económica.

Ítem	Unidad	Valor Unidad
Planta de lechuga	Pesos	14
Planta de apio	Pesos	15
Planta de zapallo italiano	Pesos	27
Jornada Hombre	Pesos	15.000
Arriendo de Tierra	Pesos	300.000
Colocar cintas de riego/cultivo	Jornadas hombre/ha	4
Retirar cintas de riego/cultivo	Jornadas hombre/ha	4
Interés al capital fijo	%	3
Costo anual operación riego	Pesos	120.000

Los valores correspondientes al uso de maquinaria y de los insumos utilizados en el proceso productivo fueron obtenidos de las empresas de servicios de maquinaria agrícola y de distribuidora de insumos. El valor de la mano de obra correspondió al valor promedio de su uso en explotaciones agrícolas de la Región Metropolitana. Es importante indicar que existe amplia variabilidad en este valor y que se ha utilizado el más alto para proporcionar mayores exigencias a la evaluación económica del sistema. Todos los valores son sin IVA.

5.2. RESULTADO ECONÓMICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS MEDIANTE UV

Los valores de la comercialización se obtuvieron de los datos proporcionados por los productores o de la información proveniente de ODEPA. El **Cuadro 13**, que se muestra a continuación, indica las unidades de comercialización, rendimientos por cultivo y precios de cada una de las hortalizas consideradas en este análisis.

Cuadro 13. Rendimientos por hectárea y precios a nivel de productor de las hortalizas utilizadas en el análisis.

Cultivo	Unidad	Rendimiento	Precio (\$)
Lechuga	Unidad	37.800	90
Zanahoria	Unidad	225.000	12
Espinaca	Caja de 12 kilos	1.314	3.000
Apio	Atado de 12 unidades	2.550	1.500
Zapallo italiano	Caja de 60 unidades	900	5.500

El **Cuadro 14**, muestra los principales indicadores productivos por hectárea para cada uno de los cultivos. Los costos de producción directos por hectárea fluctuaron entre Mm\$1,7 para zanahoria y Mm\$2,9 para zapallo italiano. En general las mayores diferencias entre los costos se debieron a la cantidad de mano de obra requerida para su cultivo. En estos costos se consideró la operación del tratamiento de desinfección UV, vale decir los costos de energía. Los niveles de rendimientos utilizados correspondieron a valores que fueron significativamente menores

Cuadro 14. Indicadores económicos por hectárea y cultivo.

Cultivo	Costos directos	Rendimiento	Precio	Ingresos brutos	Margen bruto
Lechuga	2.278.590	37.800	81	3.061.800	783.210
Espinaca	2.750.682	1.314	2.700	3.547.800	797.118
Zanahoria	1.707.678	247.500	11	2.673.000	965.322
Apio	2.217.640	2.550	1.350	3.442.500	1.224.860
Zapallo Italiano	2.903.683	900	4.950	4.455.000	1.551.317

a los parámetros de una buena producción para cada uno de ellos. Una situación similar ocurrió con los niveles de precios usados para este trabajo, y que son los recolectados a nivel de productores de la Región Metropolitana.

Los ingresos brutos calculados, a través de los rendimientos y los precios, indicaron que lo mayores valores se obtuvieron con zapallo italiano, y los menores con zanahoria. En términos de márgenes brutos, zapallo italiano mantuvo su condición de generar mayores ingresos, y en el caso opuesto, la lechuga obtuvo los menores márgenes. La diferencia en los márgenes brutos entre estos dos cultivos alcanzó a un 98%, mientras que en términos de costos, esta diferencia sólo alcanzó a un 27,4%. Si bien, zapallo italiano aparecía muy atractivo, es importante indicar que uno de los problemas que tiene esta hortaliza es la mano de obra para cosecha además de la dificultad en comercialización, porque se requiere de un momento óptimo de cosecha y venta para que alcance un buen precio en el mercado.

El cultivo de espinaca, requiere de un manejo adecuado para alcanzar niveles de rendimiento y precios de mercado. De acuerdo a los antecedentes que se manejan en INIA, la producción presenta altas variaciones en los rendimientos. Por su parte zanahoria y apio, son hortalizas de mayor difusión, en donde es posible encontrar productores altamente especializados en su cultivo. Por ello en este trabajo se asumieron rendimientos asociados a productores de este tipo y las variaciones estuvieron más asociadas a los precios que eventualmente recibían los productores.

En base a los valores del Cuadro 14, se determinaron los resultados operativos de los tres módulos que conforman el manejo de las ocho hectáreas y que responden al diseño del sistema de uso de desinfección UV para riego de las hortalizas consideradas en este análisis. El **Cuadro 15** muestra los resultados que se obtuvieron en cada uno de los módulos propuestos.

Los tres cultivos de lechugas, señalados como módulo 1, generaron un margen bruto de Mm\$5,7, mientras que el módulo 2, conformado por espinacas y zanahoria dió origen a un margen bruto de Mm\$6,3. El módulo 3, conformado por los cultivos de zanahoria, apio, zapallo

Cuadro 15. Ingreso y costos de cada uno de los módulos productivos utilizados en la producción de hortalizas con el sistema de tratamientos de aguas por desinfección UV.

Cultivo	Costos directos	Ingresos	Margen Bruto	Imprevistos	Arriendo	Margen Neto
Módulo 1						
Lechuga	18.015.444	23.790.186	5.774.742	288.737	1.295.000	4.191.005
Módulo 2						
Espinaca	14.248.533	18.377.604	4.129.071	206.454		2.627.618
Zanahoria	4.422.886	6.923.070	2.500.184	125.009		2.375.175
Subtotal	18.982.219	25.300.674	6.318.455	331.463	1.295.000	5.002.792
Módulo 3						
Zanahoria	4.422.886	6.923.070	2.500.184	125.009		1.080.175
Apio	5.743.688	8.916.075	3.172.387	158.619		3.013.768
Zapallo italiano	7.520.539	11.538.450	4.017.911	200.896		3.817.015
Subtotal	17.997.913	27.377.595	9.379.682	484.524	1.295.000	7.910.958
Totales	54.995.576	76.468.455	21.472.879	1.104.724	3.885.000	17.104.755

italiano, dió un margen bruto de Mm\$9,4. Los tres módulos que utilizaron el sistema UV, generaron en términos de margen bruto Mm\$21,4. Al descontar de este margen, los imprevistos y el valor del arriendo de la tierra, el margen neto del sistema tratamientos de agua por desinfección UV generó una utilidad de Mm\$17.

Si a los costos directos por cultivo y hectárea, señalados en el Cuadro 15, se multiplica las hectáreas de cada uno de los módulos y el número de veces que cada uno de estos se encuentra en el sistema, se obtienen los valores que se muestran en el cuadro “Ingresos y costos de cada uno de los módulos productivos”

Los márgenes netos de cada uno de los módulos propuestos alcanzaron unos Mm\$ 4,2 para el módulo 1, Mm\$5,0 para el módulo 2, y de unos Mm\$7,9 para el módulo 3. De acuerdo a los antecedentes, los costos operacionales del sistema UV, alcanzó a m\$7 por hectárea, mientras que los ingresos brutos a Mm\$9,8, lo cual generó un beneficio neto de 2,2, millones de pesos por hectárea.

5.3. DETERMINACIÓN DE LA RENTABILIDAD DEL SISTEMA

Además del análisis de los márgenes brutos del sistema planteado, se determinó la rentabilidad a largo plazo del sistema. Para ello se simuló (con un horizonte de 10 años), los ingresos y costos de los tres módulos propuestos y evaluados en conjunto y que se muestran en el **Cuadro 16**, considerando además las necesidades de reinversiones dada la vida útil de los componentes de las inversiones requeridas por el sistema. Paralelamente se consideró un valor de arriendo de terreno anual de \$500.000 la hectárea.

La evaluación consistió en calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) con una tasa de interés alternativa de un 12%, para el sistema de tratamiento de aguas. Es decir, para los tres módulos que sumaron en conjunto aproximadamente unas ocho hectáreas.

La tasa interna de retorno de una inversión o proyecto es la tasa de descuento que hace que el valor actual neto de todos los flujos de efectivo (tanto positivos como negativos) de una determinada inversión sea igual a cero.

El VAN, se utiliza para calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, producto de la realización de una inversión. La metodología consiste en actualizar mediante una tasa, denominada tasa de descuento, todos los flujos de caja futuros que genera el proyecto al tiempo 0 y compararlos con la inversión inicial. El monto de la inversión correspondió a la indicada en el Cuadro 10, mientras que los ingresos al igual que los costos directos provinieron del Cuadro 15.

Cuadro 16. Flujos netos del sistema proyectado para uso de tratamiento de aguas.

Ítem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos Módulo 1		23.790	23.790	23.790	23.790	23.790	23.790	23.790	23.790	23.790	23.790
Ingresos Módulo 2		25.301	25.301	25.301	25.301	25.301	25.301	25.301	25.301	25.301	25.301
Ingresos Módulo 3		27.378	27.378	27.378	27.378	27.378	27.378	27.378	27.378	27.378	27.378
Ingresos Totales		76.468	76.468	76.468	76.468	76.468	76.468	76.468	76.468	76.468	76.468
Costos D. Módulo 1		18.015	18.015	18.015	18.015	18.015	18.015	18.015	18.015	18.015	18.015
Costos D. Módulo 2		18.982	18.982	18.982	18.982	18.982	18.982	18.982	18.982	18.982	18.982
Costos D. Módulo 3		17.998	17.998	17.998	17.998	17.998	17.998	17.998	17.998	17.998	17.998
Costos Directos		54.996	54.996	54.996	54.996	54.996	54.996	54.996	54.996	54.996	54.996
Obra Gruesa	10.000										
Empalme trifásico	1.200										
Caseta de control	1.600										
Matriz PVC y fittings:	7.955										
Equipo eléctrico:	6.404					7.955					
Sistema de filtrado:	2.715										
Equipo fertirrigación:	740					740					
Válvulas y piezas de acero caseta	938					938					
Proyecto	1.082					1.082					
Fletes y montaje	1.294										
Unidad de UV (desinfección)	3.800					3.800					
Estabilizador de voltaje	150					150					
Plástico recubrimiento tranque	1.600					1.600					
Cinta Riego	5.497			2.748		2.748		2.748		2.748	
Inversiones	44.975			2.748		19.014		2.748		2.748	
Arriendo Terreno		4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Beneficio Neto	-44.975	17.473	17.473	14.725	17.473	-1.541	17.473	14.725	17.473	14.725	17.473

El Cuadro de los Flujos Netos se muestra en el Cuadro 16, mientras que los resultados de la evaluación considerando el análisis de sensibilidad, se muestra en el **Cuadro 17**.

Cuadro 17. Análisis de sensibilidad de precios y rendimientos en el sistema UV.

Precios	100%	90%	80%
TIR (%)	31,70	6,54	S/V
Tasa estimada	12%	12%	12%
VAN (\$)	34.617.359	-8.246.116	-51.109.591
Rendimiento	100%	90%	80%
TIR (%)	31,70	11,24	-21,06
Tasa estimada	12%	12%	12%
VAN (\$)	34.617.359	-1.190.400	-36.998.159

El análisis de sensibilidad que se observa en el Cuadro 17, muestra el efecto en los parámetros económicos, al variar el precio de las hortalizas estudiadas y en forma independiente, la disminución en los rendimientos, cuando el precio de estas se mantiene en las condiciones iniciales (100%).

Los resultados señalan que el precio y los rendimientos tuvieron un efecto muy importante en los resultados económicos proyectados para la implementación y puesta en marcha de un sistema de tratamiento de cursos superficiales mediante desinfección UV y bajo un sistema hortícola modular, que incluye especies prohibidas de cultivarse con agua directa de canales. Si los precios considerados en el estudio, que son los promedios de mercado, bajan en un 10 %, la TIR disminuye desde un 31,7% a solo un 6,54%. Por otra parte, el VAN a una tasa del 12%, se hace negativo en Mm\$8,2. Por otra parte, si los rendimientos por hectárea, disminuyen en un 10%, para todas las hortalizas consideradas en este trabajo, la TIR disminuye desde un 31,7% a sólo un 11,24%, y por ello el VAN alcanza a Mm\$-1,2.

5.4. CONCLUSIONES

El estudio económico muestra la factibilidad de la realización de un sistema de tratamiento de aguas mediante desinfección con luz ultravioleta y sistema productivo modular, considerando las especies que para este propósito fueron utilizadas.

Los costos directos ya sean por hectárea o para cada uno de los tres sistemas evaluados, utilizando técnicas de producción adecuadas, generan un nivel de producto que compensa con los ingresos percibidos, los costos incurridos.

La Tasa Interna de Retorno (TIR), considerando los precios y rendimientos por hectárea promedios a los cuales se transan los productos evaluados, alcanzó a un 31,7% y un VAN de Mm\$34,6, al ser utilizada una tasa de interés de un 12 %. Sin embargo, el análisis de sensibilidad mostró que la TIR, bajó significativamente cuando disminuyeron los precios de los productos como el rendimiento, ambos evaluados en forma separada. Esta condición determina la necesidad de una permanente supervisión técnica de este sistema o bien generar otros mecanismos que permitan utilizar el sistema UV, con niveles de inversión más bajos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA; AWWA; WPCF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th ed, Washington D.C: American Public Health Association. 953 p.

Arancibia, M. 2011. Control de CLr en agua potable. Aguas servidas domésticas. Ministerio de Salud, SEREMI de Salud Región Metropolitana. Departamento Acción Sanitaria, Santiago, Chile. Disponible: http://www.munitel.cl/eventos/seminarios/html/documentos/2011/CURSO_DE_CAPACITACION_SANITARIA_PARA_FUNCIONARIOS_MUNICIPALES_SANTIAGO/PPT09.pdf. [Consultado 5 Nov. 2014].

Banco Mundial. 2011. Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. [en línea] Banco Mundial. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. 88 p. Disponible: <http://water.worldbank.org/node/83999> [Consultado: 4 nov. 2014].

Decreto 106/1997. Reglamento de aguas minerales. Ministerio de Salud, Chile. [en línea]: www.leychile.cl [Consultado 4 nov 2014].

Decreto N° 256/1991. Otorga facultades extraordinarias que indica a los Directores de Servicios de Salud del país. Ministerio de Salud, Chile. Disponible: juridico1.minsal.cl/256_DE_1991.doc [Consultado 4 nov. 2014].

Decreto 977/1996. Reglamento Sanitario de los Alimentos. Ministerio de Salud, Chile. [on line] www.leychile.cl [Consultado 4 nov. 2014].

Decreto 1775/1995. Establece normas para la aplicación del artículo 75 del Código Sanitario. Ministerio de Salud, Chile [en línea] Disponible: <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=18595> [Consultado: 4 de nov. 2014].

Decreto con Fuerza de Ley 725/69. Código Sanitario. Ministerio de Salud, Chile [En línea] Disponible: <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=5595&idParte=0> [Consultado: 4 nov. 2014].

Environmental Protection Agency of United States. 1999. Folleto informativo. Tratamiento y disposición de residuos sépticos. Lagunas de estabilización. [en línea] EPA, Office of Water, Washington DC, Disponible: http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_septic_fs_septage_sp.pdf [Consultado 4 nov. 2014].

Environmental Protection Agency of United States. 1999. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Desinfección con cloro. [en línea] EPA, Office of Water, Washington DC, Disponible http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-062.pdf [Consultado 4 de nov. 2014].

Environmental Protection Agency of United States. 1999. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Desinfección con luz ultravioleta. [en línea] EPA, Office of Water, Washington DC, Disponible; http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-064.pdf [Consultado 4 nov. 2014].

Environmental Protection Agency of United States. 1999. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Desinfección con ozono. [en línea] EPA, Office of Water, Washington DC, Disponible: http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-063.pdf [Consultado 4 Nov. 2014].

Feng, P., S. D. Weagant, M. A. Grant and W. Burkhardt. 2002. BAM: Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria. *In*: Bacteriological Analytical Manual [Online] FDA U.S. Food and Drug Administration. Disponible: <http://www.fda.gov/Food/FoodScience-Research/LaboratoryMethods/ucm064948.htm>. [Consultado: 05 de nov. de 2014].

- Instituto Nacional de Estadísticas. 2007. VII Censo Agropecuario [en línea] INE, Chile. Disponible: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censo_agropecuario_07.php [Consultado 4 nov. 2014].
- Instituto de Salud Pública. 2010. Procedimiento para determinación de turbiedad en aguas. PRT-721.01-113. Santiago, Chile. [en línea] Disponible: http://www.ispch.cl/sites/default/files/documento_tecnico/2011/08/PRT-721.01-113%20V%207%20Turbiedad%20en%20aguas.pdf [Consultado: 05 nov. 2014].
- Instituto de Salud Pública. 2012. Proyecto FONIS. Estudio de presencia de enteropatógenos en aguas de cursos superficiales de la Región Metropolitana y su potencial como agua de riego. Instituto de Salud Pública. CONICYT Ministerio de Educación. Ministerio de Salud. Santiago, Chile. 75 p.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being. Synthesis. Island Press, Washington D.C. 137 p.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2007. A toolkit for understanding and action. Protecting Nature's services. Protecting ourselves. Island Press, Washington, D.C. 28 p.
- Ministerio de Obras Públicas. 2012. Chile cuida su agua. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025. MOP, Santiago, Chile. 40 p.
- Miquel, S. *et al.* 1994. Prevenció del risc Sanitari derivat de la reutilització d'aigües residuals depurades com a aigües de reg. Departament de Sanidad y Seguridad Social, Generalitat de Catalunya. 34 p. Disponible: http://ccuc.cbuc.cat/search~S23*cat?/dRegatge+amb+aig%7Bu00FC%7Des+residuals+---+Congressos/dregatge+amb+aigues+residuals+congressos/-3%2C-1%2C0%2CE/frameset&FF=dregatge+amb+aigues+residuals+aspectes+sanitaris&1%2C1%2C [Consultado 4 nov 2014]

- Norma Chilena 1333. Of.78. Modificada en 1987. Requisitos de calidad de aguas para diferentes usos. Instituto Nacional de Normalización, INN, Chile. 9 p.
- Oficina de Planificación Agrícola. Estadísticas Productivas. [en línea] ODEPA, Chile. Disponible: <http://www.odepa.cl> [Consultado 4 Nov. 2014].
- Organización Mundial del Comercio. 2013. Informe sobre el Comercio Mundial. Factores que determinan el futuro del comercio. OMC, Ginebra, Suiza. 340 p
- Parrotta, M., F. Bekdash. 1998. UV Disinfection for small groundwater supplies, J.AWWA v. 90(2): 71-81.
- Solsona, F. y J. P.Méndez. 2002. Radiación Ultravioleta. En: Desinfección de aguas. Lima, CEPIS. pp. 92-102.
- Salsona, F.; Mendez, J. 2003. Water Disinfection. PAHO/CEPIS/PUB/03.89. Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences Pan American Health Organization Regional Office of the World Health Organization, Lima, Perú. 208 p.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2003. Water for people, water for life, Executive Summary of the UN World Water Development Report, UNESCO, Paris, Francia. 36 p.
- World Resources Institute. 2000. El agua dulce en el planeta Tierra, Washington DC, USA. [en línea] http://www.aguaquehasdebeber.cl/wp-content/uploads/2013/08/agua_dulce_planeta_2012.pdf. [Consultado: 4 nov-2014].
- Wright, H; Cairns, W. 1998. Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta. Trabajo presentado en los Anales simposio OPS: Calidad de agua, Desinfección efectiva, 1998. Disponible en la OPS/CEPIS.