

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.

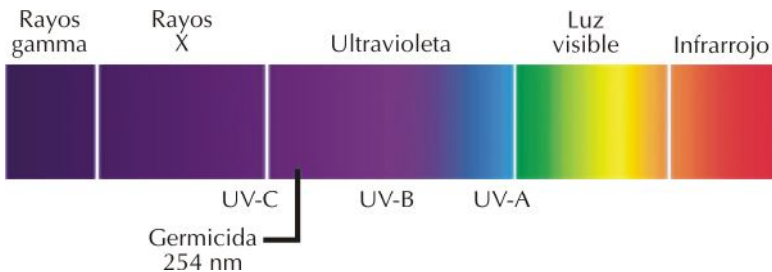


Figura 4. Espectro electromagnético y ubicación de la longitud de onda de la luz UV-C.

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**).

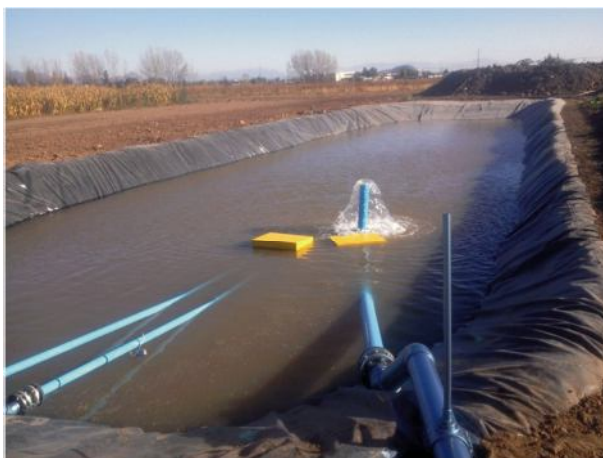


Figura 6. Acumulador de agua de riego, conectado en vaso comunicante con el desarenador.

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 más 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.

