

# ORO MORADO

Una visión contemporánea de riego con agua reciclada

POR EL DR. M. ALI HARIVANDI



*El tratamiento avanzado de aguas residuales toma las aguas negras y las convierte en aguas claras, agua recuperada que se ve tan bien al ojo humano como cualquier agua potable. Sin embargo, muchos sólidos "disueltos" (sales) todavía permanecen y son motivo de preocupación si el agua se va a utilizar para el riego.*

La mayoría de nosotros estamos familiarizados con el término **Oro Negro** como otro nombre para el petróleo, y puede que hayamos escuchado sobre el **Oro Azul** utilizado en algunos sectores en referencia al agua. Las noticias del mundo ofrecen cada vez más historias acerca de que el agua está siendo "privatizada" o de luchas políticas entre aquellos que la ven como mercancía y los que creen que el acceso al agua potable es un derecho humano básico. Sin lugar a dudas, la humanidad está contaminando y desperdiciando el agua, incluso cuando su necesidad de agua crece con el aumento de la población. Por lo tanto, tal y como parece que las guerras de hoy se deben al petróleo, las guerras del futuro podrían ser luchadas por el agua (para un excelente tratamiento de este tema, ver *Blue Gold: World Water Wars*, un documental, así como un libro, por Barlow y Clarke).

Los agrónomos generalmente no desempeñan las funciones de economistas, diplomáticos, o soldados. Podemos, sin embargo, tratar de educar, y

a veces los temas que abordamos tienen grandes consecuencias. El uso del agua reciclada o recuperada es, creo yo, un gran tema. Y teniendo en cuenta las necesidades críticas de agua del mundo de hoy, me gustaría asignar al agua reciclada el término **Oro Morado**, por el color utilizado oficialmente para designar a todos los equipos en contacto con él. Habiendo trabajado con este recurso por más de 30 años, evaluando su potencial para el riego del césped y los jardines, he sido testigo del aumento de su calidad de forma significativa. Dado que la calidad ha aumentado, tanto el valor como el uso del agua reciclada también han aumentado dramáticamente. Creo que el agua reciclada, que ya merece el nombre de **Oro Morado**, será reconocida como tal en un futuro próximo por toda la sociedad. Ya, frente a la sequía cada vez más común, la erosión del hábitat y los crecientes costos de agua potable, el agua reciclada es el **Oro Morado** de riego para los jardines urbanos. A la luz de la importancia del agua reciclada, se debe hacer una revisión de sus cualidades y de

las prácticas de manejo necesarias para utilizarla con éxito.

## DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Aunque tres cuartas partes de la superficie terrestre están cubiertas de agua, sólo una pequeña fracción de toda el agua en la tierra es a la vez de fácil acceso y de calidad suficiente para ser adecuada para el uso humano, incluyendo el riego de los cultivos agrícolas y las plantas del jardín. De hecho, se estima que sólo el 0.02% de toda el agua en la tierra es fresca y está disponible de inmediato - es decir, se podría utilizar con relativa facilidad y con el aporte mínimo de energía y gasto. Esa pequeña fracción de agua de la tierra incluye la lluvia y el deshielo almacenado en lagos y embalses, así como el agua disponible en los ríos. Más del 99% del agua de la tierra está en sus océanos o encerrada en casquetes polares y glaciares. La conversión de agua de estas fuentes a una forma potable es altamente dependiente de la energía y es costosa. Sin embargo, las aguas subterráneas y de



*El tratamiento avanzado de aguas residuales involucra los procesos y equipos similares a los utilizados para el tratamiento de agua potable. El tratamiento avanzado se refiere a menudo como el "tratamiento terciario".*

la superficie se están agotando rápidamente debido al uso industrial y agrícola y al consumo humano directo. El crecimiento demográfico se acelera y agrava la escasez de agua potable. Además, las actividades humanas siguen contaminando gran parte de las aguas de la tierra, contribuyendo a la escasez de agua potable. Se estima que para el año 2025, la población de la tierra pasará los 8 mil millones, con la gran mayoría de la población viviendo en las grandes áreas metropolitanas. La mayoría del césped del mundo (y otras plantas de jardines) también se encuentra en los centros urbanos, donde compite con el consumo humano y la producción de alimentos para el acceso al agua de riego de alta calidad.

Otra pieza del rompecabezas de agua del mundo, es la sequía que es un problema serio y creciente en gran parte del mundo. En los Estados Unidos y en otros lugares durante las últimas dos décadas, se produjeron condiciones de sequía significativas en diversas regiones. Durante el mismo período, los estadounidenses emigraron en grandes cantidades a los estados "desérticos". Las urbanizaciones en estas regiones áridas, junto con sus paisajes asociados (campos de golf especialmente) han aumentado significativamente la demanda de agua.

En la mayoría de los casos, el césped y el riego de jardines no es una prioridad para los municipios durante las sequías. Las restricciones severas sobre el césped y el riego de jardines durante las sequías son comunes, incluyendo el cierre por completo del riego de los campos de golf y los parques. Por lo tanto, el riego con

agua reciclada es una forma viable de hacer frente a la sequía, la escasez de agua y/o el aumento del costo del agua potable. Actualmente, grandes volúmenes de agua reciclada son utilizadas para el riego de campos de golf, parques, bermas, jardines, cementerios, campos deportivos, fincas de producción de césped y otros sitios del paisaje. El interés en el riego con agua reciclada también aumenta a medida que más aguas residuales tratadas y de mejor calidad están disponibles.

El tratamiento de aguas residuales se ha vuelto más eficaz en la eliminación de

potenciales patógenos humanos. Históricamente, se utilizó el agua residual tratada para el riego de cultivos no consumidos directamente por los seres humanos (por ejemplo, los cultivos de pastos, forraje, fibras y semillas), los frutos que crecen lo suficientemente alto en los árboles que no están en contacto con el agua de riego y los cultivos para procesamiento (por ejemplo, las uvas para el vino, los tomates para la salsa de tomate o los pepinillos para encurtidos). Hoy en día, la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales producen agua reciclada de alta calidad adecuada (en cuanto al contenido de patógenos humanos se refiere) para usos adicionales, como campos de golf, parques, campos deportivos y otros lugares con paisajes urbanos. En ciertas zonas del suroeste de los Estados Unidos, la mayoría de los campos de golf (y paisajes asociados) pueden utilizar sólo agua reciclada (o de otra calidad degradada) para el riego. En un contexto más amplio, el agua reciclada es ahora la fuente de irrigación para aproximadamente el 15% de los campos de golf estadounidenses y cerca del 35% de los campos de golf en los estados del suroeste. Estas cifras están aumentando rápidamente, como también las de otros sitios comerciales, institucionales e industriales regados con agua reciclada.

### CÓMO SE RECICLA EL AGUA

El "agua reciclada" se refiere al agua que ha pasado por un ciclo de uso (humano)



*En la mayoría de los casos en que se producen condiciones de sequía significativas, el riego de jardines y céspedes no es una prioridad para los municipios, lo que resulta en áreas secas de pasto.*

y luego ha recibido un tratamiento significativo en una planta de tratamiento de aguas residuales para hacerse apta para diversos fines de reutilización, incluyendo el riego del césped. Muchos otros términos también se utilizan para el agua reciclada, entre ellos: agua recuperada, reutilización de aguas residuales, aguas efluentes y aguas residuales tratadas. Dependiendo del grado de tratamiento, al agua reciclada se le refiere como aguas residuales tratadas municipales o industriales primaria, secundaria o avanzada (terciaria). El tratamiento primario es generalmente un proceso de selección o deposición que remueve los sólidos orgánicos e inorgánicos de las aguas residuales. El tratamiento secundario es un proceso biológico en el que la materia orgánica compleja se descompone en material orgánico menos complejo, que luego es metabolizado por los organismos simples que luego son removidos de las aguas residuales. El tratamiento de aguas residuales avanzado consiste en los procesos que son similares al tratamiento de agua potable, tales como la coagulación química y floculación, sedimentación, filtración o adsorción de compuestos por un lecho de carbón activado. El tratamiento avanzado es a menudo denominado "tratamiento terciario". Los procesos

secundarios y terciarios reducen significativamente la materia en suspensión y los organismos patógenos contenidos en el agua efluente. El tratamiento de aguas residuales urbanas emplea procedimientos y equipos sofisticados para eliminar los organismos causantes de enfermedades humanas. La figura 1 presenta un esquema simplificado de los tres niveles de tratamiento.

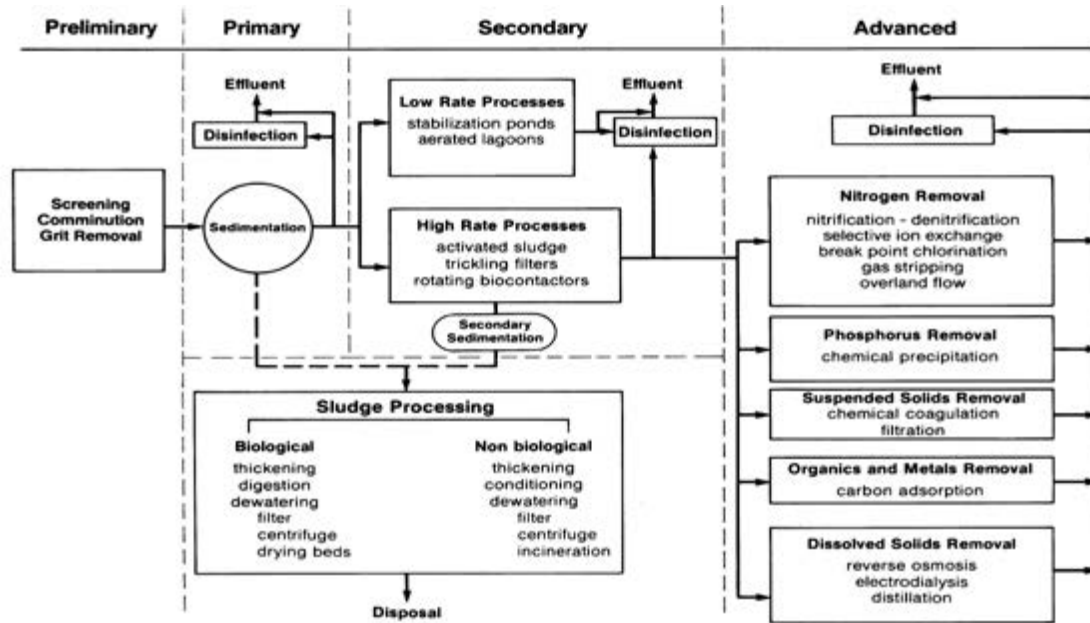
El tratamiento de aguas residuales toma las aguas negras con toda su materia en suspensión y microorganismos patógenos y la convierte en agua clara, regenerada que se ve tan bien al ojo humano como el agua potable. En casi todos los casos, el agua reciclada se desinfecta a fondo antes de salir de la planta de tratamiento. La desinfección reduce grandemente (o elimina completamente) los organismos causantes de enfermedades humanas y amplía los usos de riego del agua reciclada.

Sin embargo, los sólidos "disueltos" (sales) todavía permanecen y son motivo de preocupación si el agua se va a utilizar para el riego. Técnicamente es posible eliminar todas las sales disueltas de las aguas residuales, usando técnicas como la osmosis inversa. La osmosis inversa, de hecho, se utiliza a

menor escala en unos cuantos campos de golf para eliminar casi todos los sólidos disueltos en el agua. Sin embargo, el gasto es tal que muy pocas plantas de tratamiento en el mundo actualmente la utilizan. Por lo tanto, la mayor parte del agua reciclada disponible para el riego sólo se trata terciariamente y pueden contener alta concentración de sales.

El césped está particularmente bien adaptado a la irrigación con agua reciclada. Entre las plantas del jardín, los céspedes pueden absorber cantidades relativamente grandes de nitrógeno y otros nutrientes que a menudo se encuentran en cantidades elevadas en el agua reciclada, una característica que puede reducir en gran medida las probabilidades de contaminación de aguas subterráneas por el agua reciclada. Igualmente importante, las plantaciones de césped son generalmente permanentes y su crecimiento es continuo, proporcionando una necesidad estable para el agua reciclada producida continuamente. Actualmente, la mayoría de los céspedes regados con agua reciclada crecen en campos de golf. Sin embargo el riego con agua reciclada está aumentando en los campos deportivos, en los parques, en muchos panoramas

**Figura 1**  
Diagrama de flujo generalizado de tratamiento de aguas



Fuente: Asano, T., et al. 1984. Municipal wastewater: treatment and reclaimed water characteristics. En Pettygrove and Asano (eds.) Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater — A Guidance Manual. Informe No. 84-1 wr. Calif. State Water Resources Control Board, Sacramento, Ca.

industriales e institucionales y en las fincas de producción de césped

La mayoría de los municipios requieren señalización (generalmente de color **morado**) para informar al público de la presencia de agua reciclada. Estos esfuerzos están destinados a evitar que cualquier persona ingiera o utilice el agua directamente, para evitar cualquier riesgo, por insignificante que sea, de

**Morado**, a pesar de los desafíos potenciales.

Las aguas recicladas generalmente contienen mayores cantidades de sales disueltas que la mayoría de otras fuentes de agua de riego. La acumulación de sales en el suelo es la preocupación más común. Generalmente, un largo periodo de riego pasa antes de que la sal se acumule en el suelo lo suficiente para

de la zona de raíces. Para este tipo de síntomas de estrés osmótico, el término *sequía fisiológica* se utiliza a menudo. La alta salinidad también puede causar que algunos iones (por ejemplo, sodio) sean absorbidos por la planta en cantidades suficientemente altas como para causar quemaduras de tejidos o para competir con otros elementos esenciales, creando desequilibrios nutricionales. En la mayoría de casos, la lesión causada por la



Ahora el color morado es ampliamente aceptado como el color oficial para los equipos de conducción de agua reciclada. Casi todos los componentes del sistema de riego ya están disponibles en color morado.



En la actualidad, la mayoría de los céspedes regados con agua reciclada crecen en campos de golf, campos deportivos y parques. Sin embargo, el riego con agua reciclada está aumentando en otros espacios urbanos comunes.

contacto con patógenos humanos. Ahora el color **morado** es ampliamente aceptado como el color oficial para los equipos de conducción de agua reciclada. Casi todos los componentes del sistema de riego ya están disponibles en **morado**, incluyendo las tuberías, cabezales de los aspersores, válvulas y arquetas de riego.

## DESAFÍOS POTENCIALES

A pesar de las buenas razones para el uso de agua reciclada para el riego del césped, hay preocupaciones legítimas sobre posibles lesiones al césped y otras plantas de jardín debido al contenido de sal y otras características de las aguas recuperadas. Durante el riego, las sales disueltas y otros constituyentes químicos se mueven con el agua a la zona radicular de la planta. El reconocer los problemas que pueden surgir de esto y comprender sus soluciones permite a los administradores de césped hacer uso de este valioso recurso de riego, el **Oro**

realmente dañar las plantas. Además del agua salina de riego, la precipitación natural insuficiente, el riego inadecuado y el mal drenaje aumentan la probabilidad de la creación de las condiciones del suelo salino.

Generalmente, la salinidad se convierte en un problema para el césped cuando la cantidad total de sal soluble en la zona radicular es alta. La velocidad en la que las sales se acumulan a estos niveles en un suelo depende de su concentración en el agua de riego, la cantidad de agua aplicada anualmente, la precipitación anual y las características físicas y químicas del suelo. Una vez que la salinidad en la zona radicular aumenta a niveles nocivos, pueden ocurrir varios problemas. La salinidad puede inhibir la absorción de agua por las raíces de las plantas (debido al alto potencial de osmosis de la solución de agua en el suelo) y causar que las plantas parezcan estresadas por la sequía a pesar de la presencia de agua adecuada dentro

de la zona de raíces. Para este tipo de síntomas de estrés osmótico, el término *sequía fisiológica* se utiliza a menudo. La alta salinidad también puede causar que algunos iones (por ejemplo, sodio) sean absorbidos por la planta en cantidades suficientemente altas como para causar quemaduras de tejidos o para competir con otros elementos esenciales, creando desequilibrios nutricionales. En la mayoría de casos, la lesión causada por la

salinidad del agua/suelo se debe a una combinación de estos factores. Si la cantidad de agua aplicada al césped (riego más precipitación) es mayor que la evapotranspiración y el drenaje es proporcionado, entonces el movimiento de la sal es hacia abajo. Por el contrario, el movimiento de la sal es hacia arriba si la evapotranspiración excede la cantidad de agua aplicada. En este último caso, la sal llevada a la superficie se acumula gradualmente a niveles tóxicos para los céspedes y otras plantas. Diagnosticar los problemas de salinidad del agua/suelo siempre comienza con el análisis químico del agua de riego y el suelo.

La salinidad del agua se reporta de manera diferente por diferentes laboratorios. Puede ser expresada como conductividad eléctrica (ECw) en términos de deci siemens por metro (dS/m), o como el total de sólidos disueltos (TDS), ya sea en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/L).

Generalmente, las aguas de calidad aceptable para el riego del césped tienen conductividades eléctricas de menos de 0,7 dS/m (Tabla 1). Las aguas con niveles de sales solubles por encima de 3 dS/m pueden dañar el césped y no son recomendadas para la irrigación. El agua de riego reciclada con niveles de sal de hasta 3 dS/m puede ser tolerada por algunas especies de césped, pero sólo en suelos con buena permeabilidad y buen drenaje del subsuelo, que permiten que un administrador de césped lixiviar el exceso de sal de la zona radicular con grandes riegos periódicos.

Para los fines agronómicos, además de la salinidad, las aguas recicladas también deben ser evaluadas por su sodio, cloruro, boro, bicarbonato y el contenido de nutrientes, así como el pH y la materia suspendida. Cada uno de estos elementos afecta el crecimiento de las plantas. Los administradores pueden solicitar que los laboratorios prueben sus muestras para los elementos específicos

que saben que es probable que causen daño a las plantas. Con los resultados de las pruebas en la mano, los administradores utilizan directrices publicadas para determinar si sus condiciones son problemáticas y si es así, de qué manera.

El contenido de sodio es tan importante para la calidad del agua reciclada como lo es la salinidad. Aunque el sodio puede ser directamente tóxico para las plantas, sus efectos nocivos más frecuentes en el crecimiento de las plantas son indirectos a través de su efecto en la estructura del suelo. El alto contenido de sodio común en el agua reciclada puede causar defloculación (dispersión) de las partículas de arcilla del suelo o la rotura de la estructura del suelo, la reducción de la aireación del suelo y la infiltración y percolación del agua. El anegamiento y la compactación del suelo son resultados comunes del exceso de sodio. En tales condiciones, eventualmente también puede ocurrir la toxicidad directa de sodio.

El peligro del sodio (Na) en el agua reciclada se mide por la relación de adsorción de sodio (SAR), que generalmente se calcula como se muestra aquí:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Debido a que el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) floculan las partículas de arcilla, mientras que el sodio las dispersa, la relación de estos elementos entre sí en el agua de riego proporciona una medida de la probabilidad de la permeabilidad del suelo resultante del riego con un agua en particular. Dicho esto, el efecto del sodio en la dispersión de partículas del suelo (es decir, permeabilidad) se contrarresta por la alta cantidad de electrolitos (sales solubles). Por lo tanto, el efecto probable de un agua de riego en la permeabilidad

**Tabla 1**  
Directrices para las interpretaciones de la calidad del agua reciclada para el riego

Problemas potenciales de riego	Unidades	Grado de restricción de uso leve a		
		Ninguno	Moderado	Severo
<b>Salinidad</b>				
EC <sub>w</sub>	dS m <sup>-1</sup>	<0,7	0,7 a 3,0	>3,0
TDS	mg L <sup>-1</sup>	<450	450 a 2.000	>2.000
<b>Infiltración del agua en el suelo</b> (Evaluar usando EC <sub>w</sub> (dS m <sup>-1</sup> ) y SAR juntos:				
Si SAR = 0 a 3 y EC <sub>w</sub> =		>0,7	0,7 a 0,2	<0,2
Si SAR = 3 a 6 y EC <sub>w</sub> =		>1,2	1,2 a 0,3	<0,3
Si SAR = 6 a 12 y EC <sub>w</sub> =		>1,9	1,9 a 0,5	<0,5
Si SAR = 12 a 20 y EC <sub>w</sub> =		>2,9	2,9 a 1,3	<1,3
Si SAR = 20 a 40 y EC <sub>w</sub> =		>5,0	5,0 a 2,9	<2,9
<b>Toxicidad iónica específica</b>				
<b>Sodio (Na)</b>				
➤ Absorción de la raíz	SAR	<3	3 a 9	>9
➤ Absorción foliar	meq L <sup>-1</sup>	<3	>3	—
	mg L <sup>-1</sup>	<70	>70	—
<b>Cloruro (Cl)</b>				
➤ Absorción de la raíz	meq L <sup>-1</sup>	<2	2 a 10	>10
	mg L <sup>-1</sup>	<70	70 a 355	> 355
➤ Absorción foliar	meq L <sup>-1</sup>	<3	>3	—
	mg L <sup>-1</sup>	<100	>100	—
<b>Boro (B)</b>	mg L <sup>-1</sup>	<1,0	1,0 a 2,0	>2,0
<b>pH</b>	—	Rango normal:	6,5 a 8,4	



*Bajo un riego con agua reciclada salina, el daño a las plantas del jardín diferente al césped a menudo aparece en el follaje bajo debido a su contacto directo con el agua de riego.*

*(Derecha) Los céspedes tienen diversos grados de tolerancia a la salinidad. La investigación financiada por organizaciones tiene como objetivo desarrollar céspedes altamente tolerantes a la sal (por ejemplo, la grama salada).*

*(Abajo) En las primeras etapas de la acumulación de sales bajo el riego con agua reciclada salina, el estrés causado por la salinidad puede hacer que el pasto delgado y débil sea vulnerable a otros factores de estrés como el calor, la sequía, o infección de enfermedades.*



del suelo se mide mejor mediante la evaluación del SAR del agua en combinación con su ECw. Tenga en cuenta que para las aguas recicladas con alto contenido de bicarbonato, algunos laboratorios "ajustan" el cálculo del SAR (produciendo un número llamado "SAR ajustado" o "SARaj"), ya que las concentraciones de calcio y magnesio del suelo se ven afectadas por el bicarbonato del agua. En términos más simples, la SAR ajustado refleja el contenido de calcio, magnesio, sodio y bicarbonato en el agua, así como la salinidad total del agua. El efecto combinado de ECw y SAR del agua en la permeabilidad del suelo se muestra en la Tabla 1. La tabla proporciona solamente pautas generales, ya que las propiedades del suelo, el riego, clima, tolerancia de la especie a la sal y las prácticas culturales interactúan juntas con la calidad del agua y el crecimiento de las plantas. En general, el agua con una SAR por debajo de 3 es segura para el césped y otras plantas ornamentales. Las aguas recicladas con una SAR por encima de 9 pueden causar graves problemas de permeabilidad cuando se aplican a suelos de textura fina (es decir, arcilla) durante un periodo de tiempo. Los suelos de textura densa (es decir, arena) experimentan problemas de permeabilidad menos graves y pueden tolerar una SAR de esta magnitud. Los greens de los campos de golf y los campos deportivos con mezclas de alto contenido de arena en la zona radicular, por ejemplo, pueden ser regados con éxito con agua con una SAR alto debido a que su drenaje es bueno.

Las aguas recicladas generalmente contienen una amplia variedad de otros elementos en pequeñas concentraciones. Algunos de estos elementos son tóxicos para los céspedes y otras plantas si se acumulan en el suelo a niveles suficientes. Las toxicidades más comunes se deben a la acumulación de sodio, cloruro y boro. Las raíces de las plantas absorben el sodio y lo transportan a las hojas, donde puede acumularse y causar lesiones. Los síntomas de la toxicidad de sodio se parecen a los de las quemaduras por sal en las hojas. La toxicidad de sodio suele ser de mayor preocupación en plantas distintas a los céspedes, principalmente porque el sodio acumulado es eliminado cada vez que se corta el pasto.

El cloruro (Cl), además de contribuir al contenido de sal soluble total del agua de riego, es otro ion que puede ser directamente tóxico para las plantas del jardín. Aunque no es particularmente tóxico para los céspedes, afecta a muchos árboles, arbustos y cubiertas de

tierra. En las plantas sensibles, la toxicidad de cloruro causa una quemadura en el margen de la hoja en casos menores y una muerte total de las hojas y abscisión en situaciones graves. Afortunadamente, las sales de cloruro son muy solubles y por lo tanto pueden ser lixiviadas de los suelos bien drenados, con buen drenaje subterráneo.

El agua reciclada también puede contener boro (B), un micronutriente esencial para el crecimiento vegetal en cantidades muy pequeñas. Las lesiones por exceso de B son más evidentes como necrosis en los márgenes de las hojas más viejas. Los céspedes son más tolerantes al boro que cualquier otra planta cultivada en el jardín. La Tabla 1 proporciona las directrices generales para evaluar el efecto del sodio, cloruro y boro en el agua para riego.

El pH, una medida de la acidez, se valora en una escala de 0 a 14. El pH del agua es fácilmente determinado y proporciona información útil acerca de las propiedades químicas del agua. Aunque rara vez es un problema en sí mismo, un pH muy alto o bajo indica que el agua necesita una evaluación de otros componentes. En la escala del pH, el pH 7 representa el neutro (es decir, agua con un pH de 7 no es ácida ni alcalina.) Al pasar del pH 7 al pH 0, el agua es cada vez más ácida; al pasar del pH 7 al pH 14, el agua es cada vez más básica (o "alcalina"). El pH ideal del *suelo* para la mayoría de los céspedes es de 5,5 a 7,0; sin embargo, el pH de la mayoría de *agua* para riego, oscila entre 6,5 a 8,4. Dependiendo del suelo sobre el que se cultiva el pasto, es deseable un intervalo de pH del agua de riego de 6,5 a 7. El agua reciclada con un pH fuera del rango deseable debe ser evaluada para otros componentes químicos.

El contenido de bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) y en menor grado, el contenido de carbonato ( $\text{CO}_3$ ) del agua de riego reciclada también merece una evaluación cuidadosa. Las aguas recicladas son especialmente propensas a niveles excesivos de bicarbonato. Los altos niveles de bicarbonato en el agua de riego aumentan el pH de los suelos y puede afectar la permeabilidad del suelo; combinado con calcio y/o magnesio, el bicarbonato se precipita como carbonato de calcio y/o magnesio, ambos de los cuales aumentan la SAR de la solución del suelo. Como se señaló anteriormente, la SAR alta puede conducir a la reducción de la permeabilidad del suelo. Para determinar el impacto negativo del contenido de bicarbonato del agua reciclada, no se

reporta como meq/L (miliequivalentes por litro) de  $\text{HCO}_3$ , sino como carbonato sódico residual (RSC). El RSC se calcula a partir de la ecuación que se muestra abajo, en la que las concentraciones de todos los iones se expresan en meq/L.

$$\text{RSC} = (\text{HCO}_3 + \text{CO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

Generalmente, el agua reciclada con un valor de RSC de 1,25 meq/L o menos es segura para el riego, el agua con un RSC entre 1,25 y 2,5 meq/L es marginal, y el agua con un RSC de 2,5 meq/L y más probablemente no es adecuada para el riego.

El agua reciclada también puede ser alta en nutrientes, cuyo valor económico

puede ser una consideración importante. El nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales son esenciales para el crecimiento del césped, son los nutrientes principales presentes en la mayoría de las aguas recicladas. Incluso si las cantidades de nutrientes en un agua reciclada en particular son pequeñas, se utilizan de manera eficiente por el césped porque se aplican con frecuencia y regularidad. En la mayoría de los casos, el césped obtiene todo el fósforo y potasio y una gran parte del nitrógeno que necesita del agua reciclada. Suficientes micronutrientes también son suministrados por la mayoría de aguas



*En algunos sitios, especialmente en los campos de golf, donde se utiliza agua reciclada para el riego, se incorporan fuentes de agua atractivas en el diseño del paisaje para controlar el crecimiento de las algas en los estanques.*



*Dondequiera que se use agua reciclada para el riego, el buen drenaje es esencial. El drenaje puede ser natural o puede ser mejorado mediante la instalación de tubos de drenaje.*

recicladas. Por lo tanto, el análisis químico del agua debe ser evaluado a fondo para determinar el tipo y la cantidad de cada nutriente aplicado a través del riego; posteriormente, el programa de fertilidad del césped puede ser programado como corresponde. La mayoría de los laboratorios de ensayos agrícolas proporcionan los contenidos nutricionales de agua reciclada a pedido.

Los sólidos en suspensión en el agua reciclada pueden incluir partículas inorgánicas tales como arcilla, limo y otros componentes del suelo, así como la materia orgánica como materiales vegetales, algas, bacterias, etc. Estos materiales no se disuelven en el agua y por lo tanto sólo pueden ser removidos por filtración. Los sólidos en suspensión en aguas recicladas tratadas terciariamente (avanzado) son insignificantes y no son una causa de preocupación. Sin embargo, si el agua reciclada tratada secundariamente se utiliza para el riego, los sólidos en suspensión deben ser monitoreados. Además de taponar los equipos de riego, los sólidos pueden llenar los espacios de aire entre las partículas de arena, reduciendo la infiltración y el drenaje, y aumentando la compactación. Ya que estos efectos varían considerablemente con el tipo de sólidos, el sistema de riego y el suelo, es difícil de estandarizar valores de sólidos en suspensión para el agua de riego. En general, la complejidad y la

variabilidad de las aguas y los sistemas de riego hacen de la filtración efectiva el enfoque más sensato para controlar los peligros que crean los sólidos suspendidos en el agua.

La calidad del agua reciclada varía significativamente entre las plantas de tratamiento de aguas residuales al igual que entre estaciones, y debe ser analizada de forma individual y con regularidad. Hay muy pocas fuentes de agua reciclada que son absolutamente inadecuadas para el riego del césped. Además, la naturaleza y la magnitud de los problemas potenciales de un agua específica dependerán de su interacción con el clima y la química y física del suelo.

Las características físicas del suelo y del drenaje juegan un papel importante en la determinación de la capacidad de la zona radicular para manejar la salinidad. Por ejemplo, el agua con un EC<sub>w</sub> de 1,5 dS/m puede ser utilizada con éxito en el césped que crece en suelos arenosos con buen drenaje y de alta lixiviación natural, pero puede resultar perjudicial en un periodo de tiempo muy corto si se utiliza para irrigar el mismo césped que crece en un suelo de arcilla o suelo que tiene un drenaje limitado debido a la acumulación de sales en la zona radicular. En consecuencia, las características del suelo deben ser evaluadas junto con la calidad del agua para determinar si pueden haber problemas inducidos por el riego. Los

suelos de textura fina (arcillas) son más propensos a acumular sales que los suelos de textura gruesa (arenas). También, las capas en la zona radicular que interfieren con el drenaje (y por lo tanto la lixiviación de sales) pueden conducir a daños en las plantas por causa del agua a pesar del riego con agua reciclada aparentemente aceptable. En otras palabras, la falta de drenaje conduce a la acumulación de sal. Los suelos que ya son salinos o sódicos, evidentemente son más probables de contribuir a la lesión por la salinidad debido al riego con agua reciclada, independientemente de sus características de drenaje. La aplicación de fertilizantes en exceso también puede contribuir a la carga de sal y puede crear problemas de salinidad, donde la carga de sal del agua reciclada por sí sola puede que no sea lo suficientemente alta como para causar daño.

### POSIBLES SOLUCIONES

Si la salinidad del agua, el sodio y otros componentes químicos son problemas potenciales, el manejo es la clave para el éxito agronómico. A continuación se presenta una lista de las prácticas de manejo que se pueden utilizar para hacer frente a los desafíos potenciales del riego con agua reciclada.

#### Seleccionar especies de césped tolerantes a la sal.

Si se espera problemas de salinidad por el riego con agua reciclada, las especies de pastos tolerantes a la sal deben ser consideradas para la siembra. La tolerancia a la sal de los céspedes se expresa generalmente en relación con el contenido de sal del suelo. La Tabla 2 proporciona una guía general para la tolerancia a la sal de los céspedes individuales, basada en los valores de EC<sub>e</sub> (conductividad eléctrica del extracto de agua en el suelo). Las gramíneas se enumeran en columnas que indican los niveles más altos de sal en los cuales se desempeñan adecuadamente. Como se indica, los suelos con un EC<sub>e</sub> por debajo del 3 dS/m se consideran satisfactorios para el cultivo de la mayoría de los céspedes; los suelos con un EC<sub>e</sub> entre 3 y 10 dS/m pueden mantener unas cuantas especies de céspedes moderadamente tolerantes a la sal, mientras que los suelos con un EC<sub>e</sub> superior a 10 dS/m mantendrán sólo los pastos muy tolerantes a la sal.

**Aplicar agua extra para lixiviar el exceso de sales por debajo de la zona radicular del césped.** El agua de riego extra necesario para lixiviar las sales por debajo de la zona radicular del césped,

**Tabla 2**

Tolerancias relativas de las especies de césped a la salinidad del extracto de pasta del suelo saturado (EC<sub>e</sub>)

<b>Sensible (&lt;3 dS/m)</b>	<b>Moderadamente sensible (3-6 dS/m)</b>	<b>Moderadamente tolerante (6-10 dS/m)</b>	<b>Tolerante (&gt;10 dS/m)</b>
Bluegrass anual Bahagrass	Ryegrass anual Buffalograss	Ryegrass perenne Creeping Bentgrass (variedades Mariner y Seaside)	Alkaligrass Bermudagrass
Carpetgrass	Creeping Bentgrass	Coarse-Leaf (tipo Japanica) Zoysiagrasses	Fineleaf (tipo Matrella) Zoysiagrasses
Centipedegrass	Slender Creeping, Red y Chewings Fescues	Tall Fescue	Saltgrass
Colonial Bentgrass			Seashore Paspalum
Hard Fescue			St. Augustinegrass
Kentucky Bluegrass			
Rough Bluegrass			



evitando así la acumulación de sales a niveles tóxicos, se llama *requisito o fracción de lixiviación* y es calculado con la fórmula que se muestra a continuación:

$$LR = \frac{EC_{iw}}{5(EC_g) - EC_{iw}}$$

(Requerimiento de lixiviación)

Un requisito de lixiviación se basa en el contenido de sal del agua reciclada y los niveles de tolerancia a la sal del pasto (expresado en ECe) en el sitio. Por ejemplo, si una especie de césped con tolerancia a la sal de no más de 2,5 dS/m es irrigada con un agua reciclada con una conductividad eléctrica de 1,2 dS/m, 10% más de agua que es dictada sólo por la evapotranspiración (ET) debe aplicarse para lixiviar las sales fuera de la zona de las raíces.

$$LR = \frac{1.2}{5(2.5) - 1.2} = \frac{1.2}{11.3} = 0.10$$

Cualquier cambio en la entrada de un sistema, como las precipitaciones, puede afectar la cantidad de agua que se debe aplicar para la lixiviación. A medida que el requerimiento de lixiviación aumenta (y por lo tanto, se produce más lixiviación de sales), la acumulación de sales en la zona radicular disminuye. Como resultado, el agua reciclada altamente salina puede ser utilizada con éxito para el riego en zonas de alta precipitación, mientras que la misma agua puede causar daños de salinidad severos en los céspedes en zonas áridas y semi-áridas.

**Proveer drenaje.** Claramente, la lixiviación exitosa requiere un drenaje adecuado. En todos los casos donde se utiliza agua reciclada para el riego, un buen drenaje es esencial. El drenaje puede ser natural o puede ser mejorado mediante la instalación de tubos de drenaje. Un ejemplo de un sitio donde el drenaje se debe mejorar: un campo de golf con greens construidos sobre suelos nativos modificados (por ejemplo, greens elevados) cambiando a agua reciclada para el riego. El campo puede reconstruir greens en una mezcla de zona radicular a base de arena o instalar un sistema de drenaje eficaz para proporcionar el lixiviado de las sales. El objetivo es mantener el agua salina percolada por debajo de la zona radicular del césped.

**Modificar las prácticas de manejo.** Ciertas prácticas de manejo pueden aliviar los efectos nocivos de la salinidad. En los campos de golf, sobre todo, la reducción o eliminación de la materia orgánica acumulada en la superficie (paja) es fundamental bajo riego con agua reciclada.

Las capas de paja y mallas detienen el flujo de agua (y sales) a través del suelo e impiden la lixiviación de sales. En los greens de golf con un perfil de zona radicular uniforme, el drenaje es a menudo suficiente para el lixiviado de las sales. Sin embargo, si un perfil de zona radicular del green de golf dado indica una acumulación excesiva de materia orgánica (paja) o, peor aún, la existencia de un problema de estratificación dentro del perfil del suelo, entonces se deben emplear todos los esfuerzos para eliminar la paja o las capas

antes de la iniciación del riego con agua reciclada. La aireación (particularmente útil en los greens del campo de golf y los campos deportivos) perfora a través de capas impermeables, lo que facilita una mejor y más rápida circulación del agua a través del perfil del suelo. Los aereadores eliminan los núcleos de suelo en intervalos regulares. Los núcleos deben ser removidos de la superficie del suelo de los greens de golf y céspedes especiales similares, y los agujeros deben ser cubiertos con arena. A menudo, el simple esparcimiento de arena sobre la superficie aireada no llena los agujeros. El barrido, cepillado o soplado de la arena en los agujeros dejados por la aireación garantiza una aplicación óptima de la arena. Los orificios deben ser llenados hasta la superficie del suelo para proporcionar canales para la percolación del agua a través de las capas de arena/materia orgánica.

**Modificar la mezcla de la zona radicular.**

Donde se cultiva céspedes en suelos con un drenaje natural mínimo (por ejemplo, suelos muy arcillosos, suelos arcillosos pesados, de capa dura o arcilla densa) y el agua de riego reciclada es alta en sales o sodio, la modificación total de la mezcla de la zona de raíces puede ser necesaria. Los greens de golf o campos deportivos a base de arena, generalmente drenan bien y pueden tolerar aguas recicladas que pueden ser demasiado salinas para el riego en la arcilla pesada o suelos compactados.

**Mezclar las aguas de riego.** Con frecuencia, el agua de baja calidad puede ser utilizada para el riego si hay disponible agua de mejor calidad para la mezcla. Las dos aguas se pueden bombear a un depósito para que se mezclen antes del riego. Aunque la salinidad resultante variará de acuerdo con el tipo de sales presentes y las condiciones climáticas, la calidad del agua debe mejorar en proporción a la relación de la mezcla. Por ejemplo, cuando se mezclan volúmenes



*Especialmente en los campos de golf, la reducción o eliminación de la materia orgánica acumulada en la superficie (paja) es crucial en condiciones de riego con agua reciclada. Las capas de paja y mallas detienen el flujo del agua a través del suelo e impiden la lixiviación de sales.*

iguales de dos aguas, uno con un ECw de 1 dS/m y el otro con un ECw de 5 dS/m, la salinidad de la mezcla debe ser de aproximadamente 3 dS/m. Los efectos perjudiciales del sodio/bicarbonato se pueden reducir mediante la mezcla de agua de baja calidad con aguas menos sódicas (aguas con contenidos de sodio/bicarbonato elevados) y de mejor calidad. Aunque la sodicidad resultante variará de



La aplicación de acondicionamientos de suelo y agua, tales como yeso (sulfato de calcio), cloruro de calcio, azufre y ácido sulfúrico o N-phuric, pueden reducir los efectos negativos del sodio y otras sales. Hay muchos acondicionamientos y equipos disponibles para inyectarlos de manera eficaz en un sistema de riego.

de acuerdo con la cantidad de sodio/bicarbonato presente en las dos aguas, la calidad del agua mejorará en proporción a la relación de la mezcla.

**Utilizar acondicionamientos.** La aplicación de acondicionamientos de suelo y agua, como el yeso (sulfato de calcio), el cloruro de calcio, el azufre y el ácido sulfúrico o N-phuric, pueden ayudar a reducir los efectos negativos del sodio y el bicarbonato. También pueden ayudar a mejorar el pH del agua/suelo y parcialmente ayudar con el control de la salinidad. Estos acondicionamientos aumentan el suministro de calcio del suelo, ya sea directamente, como en el caso del yeso y el cloruro de calcio, o indirectamente, como en el caso del azufre y los ácidos sulfúricos o N-phuric. El azufre y los fertilizantes que contienen azufre aplicados a los suelos naturalmente ricos en calcio pueden hacer que el calcio sea más soluble. Una vez disponible, el calcio puede entonces reemplazar al sodio en las partículas de arcilla, evitando la acumulación de sodio en exceso. La lixiviación posterior eliminará las sales de sodio fuera de la zona de las raíces. La cantidad de acondicionamiento de azufre requerido depende del contenido de sodio en el suelo, la SAR del agua de riego, la cantidad de agua aplicada, la textura del suelo y el tipo de acondicionamiento.

El impacto del bicarbonato en el pH también se puede reducir mediante la aplicación de un fertilizante acidificante, como el sulfato de amonio, como parte de un programa de fertilización regular, o por acidificación del agua de riego. En algunos casos, el agua con alto carbonato de sodio residual puede requerir la

acidificación con ácido sulfúrico, ácido N-phuric (un tipo de ácido úreo sulfúrico) o ácido fosfóricos, o mediante el uso de un quemador de azufre (que produce ácido sulfuroso).

Los acondicionamientos pueden ser aplicados directamente al césped/suelo o inyectados en el sistema de riego. La acidificación del agua por inyección de ácido requiere mediciones y equipos únicos. Un administrador del césped debe trabajar en estrecha colaboración con un laboratorio de consultoría para determinar si es necesario la acidificación y, si lo es, la forma en que mejor se puede lograr. Se requiere el mismo cuidado para el uso de un quemador de azufre. Sin embargo, en general, el ácido sulfuroso producido por un quemador no es tan cáustico como el ácido sulfúrico.

Hay muchas ventajas para el tratamiento de agua reciclada con la inyección directa de los acondicionamientos en el sistema de riego, entre las cuales están:

- Más eficaz que la aplicación superficial (aplicación gradual y frecuente)
- Sin interrupción del uso en el sitio
- Menos mano de obra
- No hay problemas de polvo
- Reducción de la quemadura potencial de azufre
- Reducción del riesgo de "sobredosis"
- Reducción de las fluctuaciones de pH y salinidad

También hay posibles desventajas de la inyección directa:

- Material más costoso

- Equipo y mantenimiento costoso
- Peligro por la manipulación de ácidos
- La eficiencia y la uniformidad del riego deben ser óptimas
- La segregación de las áreas no son posibles (por ejemplo, los greens frente a los fairways en los campos de golf)

## CONCLUSIÓN

A medida que la población humana crece y el agua dulce se convierte cada vez más escasa, el agua reciclada es una alternativa viable a la costosa y limitada agua potable, para el riego de los sitios con césped. El agua reciclada es a menudo mejor tolerada por los céspedes que por otras plantas del jardín; al mismo tiempo, los campos de céspedes (campos de golf, parques, cementerios, zonas verdes, jardines de centros educativos, campos deportivos, y fincas de producción de césped), con sus grandes extensiones y personal de mantenimiento debidamente capacitado, son especialmente adecuados para incorporar el agua reciclada en sus programas de riego. El crecimiento de la población urbana asegura una expansión de los sitios de césped para una variedad de usos recreativos y funcionales, y esto quiere decir que el riego con **Oro Morado** será una parte permanente de nuestras estrategias para los paisajes urbanos.

M. ALI HARIVANDI, Ph.D., un especialista en el área de extensión de la extensión cooperativa de la Universidad de California, puede ser contactado en [maharivandi@ucdavis.edu](mailto:maharivandi@ucdavis.edu).