Use of Treated Water in Forestry and Agroforestry

Basic knowledge

Módulos relacionados

- Agroforestería
- Gestión de bosques plantados
- Gestión de cuencas hidrográficas
- Los bosques y el agua
- Restauración de bosques
- Silvicultura urbana y periurbana
- Sistemas agro-silvopastoriles en zonas secas

Los cambios mundiales en la frecuencia y la cantidad de precipitaciones están aumentando los efectos de las sequías en las regiones áridas, y cabe prever que aumentarán aún más ante el cambio climático. En entornos con escasez de agua, el uso de aguas residuales puede ser una opción para regar algunos cultivos agrícolas y forestales, contribuyendo a la conservación de agua dulce. El objetivo de este módulo es informar sobre el uso inocuo de aguas residuales en sistemas forestales y agroforestales en zonas secas y degradadas, así como sobre la reforestación en zonas áridas utilizando aguas residuales tratadas.

Los cambios mundiales en la frecuencia y la cantidad de precipitaciones están aumentando los efectos de las sequías en las regiones áridas, y cabe prever que aumentarán aún más ante el cambio climático. En entornos con escasez de agua, el uso de aguas residuales puede ser una opción para regar algunos cultivos agrícolas y forestales, contribuyendo a la conservación de agua dulce. El objetivo de este módulo es informar sobre el uso inocuo de aguas residuales en sistemas forestales y agroforestales en zonas secas y degradadas, así como sobre la reforestación en zonas áridas utilizando aguas residuales tratadas.

Los bosques y los árboles desperdigados en las tierras secas proporcionan una amplia variedad de servicios, como el mejoramiento del suelo y su protección frente a la erosión y la desertificación. Además, pueden complementar los ingresos de los agricultores al ser fuentes de combustible de madera, productos a base de fibras y forraje. Los árboles proporcionan además sombra al ganado y, si se plantan en cortinas protectoras, protegen los cultivos agrícolas reduciendo la evapotranspiración y actuando de rompe vientos.

Los árboles necesitan la humedad del suelo para crecer, y suelen considerarse competidores de los cultivos agrícolas. Sin embargo, con sus amplios sistemas radicales, pueden absorber el agua de la parte más profunda del perfil del suelo, ocupando de algún modo diferentes nichos ambientales que los de los cultivos agrícolas anuales. Además, la calidad y la cantidad del agua que muchos árboles necesitan para sobrevivir y crecer son menores que la de los cultivos agrícolas.

En numerosas regiones de todo el mundo, la eliminación de las aguas residuales producidas por la industria, la agricultura y los asentamientos urbanos plantea problemas considerables. En función de su origen, las aguas residuales pueden contener agentes patógenos perjudiciales para la salud de las personas, como lombrices intestinales, bacterias y virus, así como sales, metales pesados y sustancias venenosas.

Según la base de datos Aquastat de la FAO, sólo se recicla el 52 por ciento de las aguas residuales municipales producidas a nivel mundial. En muchos países en desarrollo no se dispone de sistemas adecuados para tratar las aguas residuales, y no existen redes de alcantarillado ni plantas de tratamiento de las aguas residuales. En consecuencia, una gran cantidad de aguas residuales sin tratar se vierten a los ríos, mares o, después de dispersarse en la tierra, a las aguas subterráneas, lo cual provoca contaminación, la salinidad del suelo y una disminución de la calidad del agua. En los países con un abastecimiento de agua dulce limitado y sin gestión de los efluentes, el riesgo de contaminar los suelos y las aguas subterráneas y dañar la producción agrícola y forestal es muy alto. Por el contrario, el tratamiento eficaz de las aguas residuales puede transformar una posible amenaza ambiental en una fuente importante de agua adicional reduciendo, al mismo tiempo, la contaminación y mejorando el reciclaje de nutrientes. Las aguas residuales tratadas pueden utilizarse para incrementar la producción de madera, biomasa y alimentos.

Para reducir al mínimo o eliminar la necesidad de bombeo (y, por tanto, disminuir el costo energético), las aguas residuales tratadas deberían utilizarse inmediatamente aguas abajo desde el lugar de tratamiento de las aguas en el que se virtieron. Por lo tanto, el uso de aguas residuales tratadas en las actividades forestales y agroforestales debería integrarse en las zonas urbanas y periurbanas, ya que

puede contribuir al reverdecimiento del territorio y ayudar a los agricultores locales en la producción de bienes y servicios ambientales.

Se pueden establecer bosques plantados y regados con aguas residuales para la producción de madera, madera para pasta o combustible de madera o bien con fines ambientales (por ejemplo, la protección del suelo), o se pueden integrar con la agricultura a fin de producir madera, proporcionar sombra y forraje para los animales y proteger los cultivos de los daños causados por los vientos. No todas las especies y los cultivos arbóreos se pueden regar con aguas residuales, y debe tenerse especial cuidado al plantar árboles para la producción de fruta.

Un tratamiento eficaz de las aguas residuales es fundamental para el mantenimiento de un nivel elevado de salud pública. Las aguas residuales sin tratar no deben ser nunca vertidas al ambiente, y, especialmente en las tierras secas, el uso inocuo de las aguas residuales tratadas es aconsejable desde un punto de vista ecológico. El riego con aguas residuales tratadas puede ser caro debido a los costes que conllevan el establecimiento y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales y la energía necesaria para el tratamiento. No obstante, es probable que el costo de producir aguas residuales adecuadas para el riego se vea más que compensado por los beneficios para la salud pública y el medio ambiente y por el incremento de la productividad de las tierras regadas derivados de la eliminación de vertidos de agua contaminada al ambiente.

Uso de aguas residuales tratadas en las actividades forestales y agroforestales en las tierras secas contribuye a los ODS:

Módulos relacionados

- Agroforestería
- Gestión de bosques plantados
- Gestión de cuencas hidrográficas
- Los bosques y el agua
- Restauración de bosques
- Silvicultura urbana y periurbana
- Sistemas agro-silvopastoriles en zonas secas

Los bosques y los árboles desperdigados en las tierras secas proporcionan una amplia variedad de servicios, como el mejoramiento del suelo y su protección frente a la erosión y la desertificación. Además, pueden complementar los ingresos de los agricultores al ser fuentes de combustible de madera, productos a base de fibras y forraje. Los árboles proporcionan además sombra al ganado y, si se plantan en cortinas protectoras, protegen los cultivos agrícolas reduciendo la evapotranspiración y actuando de rompe vientos.

Los árboles necesitan la humedad del suelo para crecer, y suelen considerarse competidores de los cultivos agrícolas. Sin embargo, con sus amplios sistemas radicales, pueden absorber el agua de la parte más profunda del perfil del suelo, ocupando de algún modo diferentes nichos ambientales que los de los cultivos agrícolas anuales. Además, la calidad y la cantidad del agua que muchos árboles necesitan para sobrevivir y crecer son menores que la de los cultivos agrícolas.

En numerosas regiones de todo el mundo, la eliminación de las aguas residuales producidas por la industria, la agricultura y los asentamientos urbanos plantea problemas considerables. En función de su origen, las aguas residuales pueden contener agentes patógenos perjudiciales para la salud de las personas, como lombrices intestinales, bacterias y virus, así como sales, metales pesados y sustancias venenosas.

Según la base de datos Aquastat de la FAO, sólo se recicla el 52 por ciento de las aguas residuales municipales producidas a nivel mundial. En muchos países en desarrollo no se dispone de sistemas adecuados para tratar las aguas residuales, y no existen redes de alcantarillado ni plantas de tratamiento de las aguas residuales. En consecuencia, una gran cantidad de aguas residuales sin tratar se vierten a los ríos, mares o, después de dispersarse en la tierra, a las aguas subterráneas, lo cual provoca contaminación, la salinidad del suelo y una disminución de la calidad del agua. En los países con un abastecimiento de agua dulce limitado y sin gestión de los efluentes, el riesgo de contaminar los suelos y las aguas subterráneas y dañar la producción agrícola y forestal es muy alto. Por el contrario, el tratamiento eficaz de las aguas residuales puede transformar una posible amenaza ambiental en una fuente importante de agua adicional reduciendo, al mismo tiempo, la contaminación y mejorando el reciclaje de nutrientes. Las aguas residuales tratadas pueden utilizarse para incrementar la producción de madera, biomasa y alimentos.

Para reducir al mínimo o eliminar la necesidad de bombeo (y, por tanto, disminuir el costo energético), las aguas residuales tratadas deberían utilizarse inmediatamente aguas abajo desde el lugar de tratamiento de las aguas en el que se virtieron. Por lo tanto, el uso de aguas residuales tratadas en las actividades forestales y agroforestales debería integrarse en las zonas urbanas y periurbanas, ya que puede contribuir al reverdecimiento del territorio y ayudar a los agricultores locales en la producción de bienes y servicios ambientales.

Se pueden establecer bosques plantados y regados con aguas residuales para la producción de madera, madera para pasta o combustible de madera o bien con fines ambientales (por ejemplo, la protección del suelo), o se pueden integrar con la agricultura a fin de producir madera, proporcionar sombra y forraje para los animales y proteger los cultivos de los daños causados por los vientos. No todas las especies y los cultivos arbóreos se pueden regar con aguas residuales, y debe tenerse especial cuidado al plantar árboles para la producción de fruta.

Un tratamiento eficaz de las aguas residuales es fundamental para el mantenimiento de un nivel elevado de salud pública. Las aguas residuales sin tratar no deben ser nunca vertidas al ambiente, y, especialmente en las tierras secas, el uso inocuo de las aguas residuales tratadas es aconsejable desde un punto de vista ecológico. El riego con aguas residuales tratadas puede ser caro debido a los costes que conllevan el establecimiento y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales y la energía necesaria para el tratamiento. No obstante, es probable que el costo de producir aguas residuales adecuadas para el riego se vea más que compensado por los beneficios para la salud pública y el medio ambiente y por el incremento de la productividad de las tierras regadas derivados de la eliminación de vertidos de agua contaminada al ambiente.

Uso de aguas residuales tratadas en las actividades forestales y agroforestales en las tierras secas contribuye a los ODS:

6
AGUA LIMPIA
Y SANEAMIENTO

15
VIDA
DE ECOSISTEMAS
TERRESTRES

In more depth

La buena gestión de las aguas residuales tratadas se basa en dos principios:

1. el agua potable es de vital importancia para la salud de las personas, y
2. el agua es un recurso valioso y debe destinarse al mejor aprovechamiento.

El uso inocuo de las aguas residuales tratadas en las actividades forestales y agroforestales y en la agricultura periurbana favorece el ahorro de agua en las tierras secas, y ayuda a proteger la salud pública reduciendo el riesgo de que agentes patógenos y sustancias químicas perjudiciales entren en la cadena de alimentos y los recursos hídricos. Las aguas residuales tratadas pueden utilizarse para luchar contra la degradación del suelo y regar los árboles y los cultivos plantados, incluidos los viveros; puede contribuir a mantener los bosques plantados en las tierras secas y generar ingresos gracias a la producción de madera, productos agrícolas y servicios ambientales. Para utilizar las aguas residuales tratadas en el sector forestal son necesarias la buena gestión de todos los activos hídricos, la capacitación de las partes interesadas involucradas (como trabajadores, agricultores, el personal de organizaciones de la sociedad civil, profesionales forestales y expertos sobre el agua) y una planificación eficaz del territorio.

La buena gestión de las aguas residuales tratadas se basa en dos principios:

1. el agua potable es de vital importancia para la salud de las personas, y
2. el agua es un recurso valioso y debe destinarse al mejor aprovechamiento.

El uso inocuo de las aguas residuales tratadas en las actividades forestales y agroforestales y en la agricultura periurbana favorece el ahorro de agua en las tierras secas, y ayuda a proteger la salud pública reduciendo el riesgo de que agentes patógenos y sustancias químicas perjudiciales entren en la cadena de alimentos y los recursos hídricos. Las aguas residuales tratadas pueden utilizarse para luchar contra la degradación del suelo y regar los árboles y los cultivos plantados, incluidos los viveros; puede contribuir a mantener los bosques plantados en las tierras secas y generar ingresos gracias a la producción de madera, productos agrícolas y servicios ambientales. Para utilizar las aguas residuales tratadas en el sector forestal son necesarias la buena gestión de todos los activos hídricos, la capacitación de las partes interesadas involucradas (como trabajadores, agricultores, el personal de organizaciones de la sociedad civil, profesionales forestales y expertos sobre el agua) y una planificación eficaz del territorio.

Tratamiento primario, secundario y terciario de las aguas residuales
Existen tres niveles básicos de tratamiento de las aguas residuales. El tratamiento primario consiste en la eliminación por un proceso de sedimentación de los materiales y los aceites, grasas y sólidos ligeros flotantes. El tratamiento secundario utiliza microorganismos para procesar la mayor parte de la materia orgánica y el nitrógeno y reducir considerablemente la concentración de agentes patógenos. En el tratamiento terciario, el agua que se ha sometido al tratamiento secundario se desinfecta química o físicamente (por ejemplo, a través del uso de lámparas de ultravioletas) con el fin de poder utilizarla para el riego del territorio (por ejemplo, parques recreativos o campos de golf) y responder a las necesidades comerciales e industriales de agua. El agua sometida al tratamiento terciario puede utilizarse también para recargar las aguas subterráneas o con fines agrícolas; si ha sido objeto de filtración natural al suelo (filtrado a través de suelos arenosos), puede usarse también en el abastecimiento de agua potable. Sin embargo, el tratamiento terciario suele necesitar una gran cantidad de energía.

La mayor parte de las aguas residuales se tratan al nivel secundario; las aguas tratadas a este nivel pueden utilizarse para determinados cultivos agrícolas y para la producción de forraje y cultivos leñosos (pero no para el riego de huertos). Los árboles son idóneos para el riego con agua de baja calidad: pueden actuar como filtros adicionales para purificar el agua contaminada y mitigar la contaminación del suelo o el agua.

El riego de árboles con aguas residuales tratadas puede llevarse a cabo cerca de asentamientos humanos en zonas urbanas y periurbanas; de hecho, se prefiere en las cercanías porque reduce el costo del bombeo. Una planta de tratamiento que da servicio a una pequeña ciudad de 5 000 habitantes es probable que produzca unos 700 metros cúbicos de aguas residuales tratadas al día. En las tierras secas con un alto índice de evapotranspiración, este volumen es suficiente para regar unas 6 hectáreas de una plantación de árboles de alta densidad y más de 15 hectáreas de una de baja densidad.

Un aspecto importante que hay que tener en cuenta en las tierras secas es la variación de las necesidades de riego de las diferentes especies agrícolas en función de las estaciones. Por ejemplo, la superficie de un cultivo herbáceo debería limitarse a la medida en que puede ser regada completamente durante los momentos de máxima evapotranspiración del verano. En cambio, los cultivos leñosos pueden resistir períodos de estrés hídrico y, por tanto, puede regarse una superficie mayor.

Calidad y cantidad de las aguas residuales

El uso inapropiado de las aguas residuales tratadas puede plantear riesgos para las personas y los ecosistemas; además, puede que el uso de aguas residuales no sea culturalmente aceptable. La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Instituto Internacional para el Manejo del Agua fomentan el uso inocuo de las aguas residuales en los sistemas agrícolas y brindan orientación a través de directrices, manuales y proyectos sobre el terreno (véase la sección Herramientas).

El uso de las aguas residuales debe ser lo más inocuo posible a fin de que las comunidades rurales cuyos medios de vida dependen del riego con dichas aguas puedan obtener el máximo beneficio en materia de nutrición y seguridad alimentaria. Por consiguiente, es fundamental asegurarse de que se han identificado todos los peligros y que se han adoptado todas las medidas preventivas para reducir al mínimo el riesgo de contaminación.

Según la base de datos Aquastat de la FAO, la extracción global de agua dulce en todo el mundo se distribuye de la siguiente manera: agricultura (69 por ciento), industria (19 por ciento) y asentamientos urbanos (12 por ciento). Gran parte del agua usada para la agricultura no se puede recuperar, ya que vuelve a entrar en el ciclo del agua a través de la evaporación y la infiltración (si bien se calcula que un 32 por ciento del drenaje agrícola es recuperable). Resulta relativamente fácil recolectar y utilizar de nuevo las aguas residuales producidas por la industria y los asentamientos humanos, ya que existe una red de alcantarillado. Sin embargo, la mayor parte de las aguas residuales producidas por la industria contiene contaminantes, entre ellos metales pesados, y requiere un tratamiento adicional antes de descargarlas en las plantas de tratamiento de las aguas residuales. Los asentamientos urbanos constituyen la fuente más común de aguas residuales tratadas para las actividades forestales y agroforestales, aunque actualmente sólo se recicla alrededor del 52 por ciento del agua urbana.

Las aguas residuales que se utilicen para la agricultura y el sector forestal deberían tratarse al menos hasta el nivel secundario a fin de evitar el riesgo de que los profesionales forestales y los agricultores, así como los consumidores de productos recolectados, estén expuestos a los agentes patógenos presentes en los efluentes, la mayor parte de los cuales pueden persistir en los suelos y contaminar los cultivos. En las situaciones en que las aguas residuales no sean adecuadas o aceptadas para la producción de cultivos alimentarios, una opción viable podría ser su utilización en los sistemas forestales y agroforestales con objeto de reducir los riesgos para la salud humana y recuperar una parte del costo del tratamiento de las aguas residuales.

Debe señalarse que, a menudo, las aguas residuales tratadas a nivel secundario y no utilizadas (así como las aguas residuales no tratadas) se vierten a las masas de agua dulce naturales, como ríos y lagos, de las que se extrae agua para el riego agrícola, lo cual constituye un uso muy arriesgado de agua potencialmente contaminada.

Uso de aguas residuales tratadas en los sistemas agroforestales de tierras secas

Las aguas residuales tratadas son un recurso atípico que puede estar disponible incluso en las tierras secas que cuentan con escasos recursos hídricos superficiales y subterráneos. Entre otras cosas, pueden utilizarse para establecer y mantener bosques plantados de producción intensiva (para la producción de madera) o con fines ambientales, agrícolas y sociales a través del riego de, por ejemplo, zonas recreativas, huertos, cinturones verdes urbanos, rompe vientos y árboles de sombra y forrajeros.

En varios estudios y programas de reforestación se ha demostrado la factibilidad técnica del cultivo de especies forestales utilizando aguas residuales tratadas. Arabia Saudita, Argelia, Egipto, Emiratos Árabes Unidos, Irán (República Islámica del), Jordania, Marruecos, Omán, Sudán, Túnez y Yemen, entre otros, han elaborado programas de reutilización de aguas residuales para regar cinturones verdes y parcelas forestales o fijar dunas de arena. Las especies que se utilizan con más frecuencia en este tipo de programas son árboles multipropósito y de rápido crecimiento como *Eucalyptus*, *Casuarina*, *Acacia*, *Pinus*, *Khaya* (caoba africana) y *Tamarix* (para más información sobre estos programas véanse los estudios de casos).

Los dos métodos para el tratamiento de aguas residuales más utilizados en las actividades forestales y agroforestales son los humedales construidos y el filtrado selectivo modular de las aguas residuales tratadas a nivel secundario.

Humedales construidos

Se ha demostrado que las bacterias, los hongos, las algas y las plantas almacenan y asimilan moléculas compuestas y contaminantes como metales pesados. La fitorrecuperación utiliza plantas, como juncos, malezas, arbustos y árboles, para tratar el agua y los suelos contaminados y recuperar zonas industriales contaminadas por la descarga de contaminantes.

Los humedales actúan como biofiltros naturales, y eliminan los sedimentos del agua a través de los efectos del filtrado de los juncos y la vegetación palustre. La vegetación de los humedales proporciona un sustrato (es decir, raíces, tallos y hojas) sobre el cual los

microorganismos pueden crecer a medida que descomponen la materia orgánica. Se ha demostrado que las plantas eliminan entre el 70 por ciento y el 90 por ciento de los contaminantes de las aguas residuales; asimismo, proporcionan una fuente de carbono al descomponerse. Los humedales pueden eliminar los contaminantes, incluidos los metales pesados, de las aguas residuales vertidas al medio ambiente.

Los humedales construidos son pantanos artificiales creados para purificar las aguas residuales vertidas a través de un filtrado natural. Están formados por estanques en los que crecen juncos, arbustos y árboles seleccionados con base en su capacidad para filtrar impurezas del agua. Las aguas residuales entran en una serie de tanques de almacenamiento para el tratamiento conectados y, a continuación, se descargan en un estado adecuado para el riego.

Los humedales construidos son tolerantes a las fluctuaciones hidrológicas y de carga contaminante. Su construcción y funcionamiento son relativamente económicos, y son fáciles de mantener con un consumo de energía muy bajo o nulo. Los humedales construidos son rentables, asequibles y sostenibles para las comunidades rurales de zonas secas remotas en las que las circunstancias económicas no permiten el establecimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales normales. Ellos producen agua tratada a nivel secundario apta para los sistemas agroforestales y las plantaciones de árboles dirigidos a producir cultivos comerciales, reducen (o evitan) la erosión del suelo y proporcionan rompe vientos, sombra y forraje. Los humedales construidos empezaron a usarse en el norte de Europa y, actualmente, se están utilizando cada vez más en aldeas rurales de las zonas áridas de países en desarrollo.

Sin embargo, los humedales construidos necesitan una superficie de tierra relativamente grande y son unos sistemas biológicos e hidrológicos muy complejos, por lo que para establecerlos es preciso disponer de considerables conocimientos especializados. En concreto, si se establecen en tierras secas, los humedales construidos pueden tener una productividad relativamente baja debido a las pérdidas por evapotranspiración e infiltración, y pueden proporcionar un hábitat ideal para los mosquitos, que representan un peligro para la salud. No existen todavía conocimientos y experiencias suficientes sobre la utilización de humedales construidos en tierras secas, y es preciso recolectar datos reales para la elaboración de modelos de sustancias químicas de eliminación de contaminantes. La vulnerabilidad de los sistemas de humedales construidos ante los factores ambientales como fuertes vientos y tormentas de arena todavía debe evaluarse.

Filtrado selectivo modular de aguas residuales tratadas a nivel secundario

El objetivo final del tratamiento de las aguas residuales es el tratamiento terciario, el cual produce agua con un contenido suficientemente bajo de microorganismos que es apta para el consumo humano. Sin embargo, el tratamiento terciario no es siempre la forma más eficaz de gestionar el agua. La eliminación completa de los sólidos y las impurezas requiere una energía considerable, produce una gran cantidad de fango (que ha de ser eliminado) y conlleva la pérdida de nutrientes (como el carbono orgánico, el nitrógeno y el fósforo) contenidos en la materia orgánica.

Los nuevos métodos de tratamiento producen aguas residuales inocuas de calidad correspondiente al nivel secundario a través de la eliminación selectiva de la mayor parte de los agentes patógenos y de una parte de los sólidos y otras impurezas. La eliminación selectiva se lleva a cabo en la segunda fase del tratamiento en plantas convencionales de tratamiento de las aguas residuales utilizando filtros físicos y químicos adicionales que eliminan la mayor parte de los agentes patógenos y disminuyen la descarga de nutrientes y materia orgánica. El agua puede ser filtrada en diferentes fases del tratamiento secundario para incrementar o disminuir la cantidad de nutrientes basándose en las necesidades del cultivo y del suelo que se deben regar. Por tanto, la eliminación selectiva es un tipo simplificado de tratamiento secundario que reduce los costos energéticos y el fango, y permite reciclar la mayoría de los nutrientes y utilizar de nuevo el agua para el riego y la fertilización del suelo mediante la “fertirrigación”.

La eliminación selectiva es beneficiosa para los suelos y mejora el almacenamiento de carbono en el suelo y la retención de agua. Es especialmente viable para cultivos no alimentarios (como parcelas forestales para la producción de energía o madera) en las tierras secas, que suelen tener suelos pobres, ya que proporciona agua y nutrientes y aumenta la retención de agua de los suelos. La fertirrigación requiere un seguimiento continuo para reducir al mínimo el riesgo de que se propaguen enfermedades y poder realizar ajustes en el nivel de fertilización para satisfacer las necesidades de los suelos y los cultivos.

Tratamiento primario, secundario y terciario de las aguas residuales

Existen tres niveles básicos de tratamiento de las aguas residuales. El tratamiento primario consiste en la eliminación por un proceso de sedimentación de los materiales y los aceites, grasas y sólidos ligeros flotantes. El tratamiento secundario utiliza microorganismos para procesar la mayor parte de la materia orgánica y el nitrógeno y reducir considerablemente la concentración de agentes patógenos. En el tratamiento terciario, el agua que se ha sometido al tratamiento secundario se desinfecta química o físicamente (por ejemplo, a través del

uso de lámparas de ultravioletas) con el fin de poder utilizarla para el riego del territorio (por ejemplo, parques recreativos o campos de golf) y responder a las necesidades comerciales e industriales de agua. El agua sometida al tratamiento terciario puede utilizarse también para recargar las aguas subterráneas o con fines agrícolas; si ha sido objeto de filtración natural al suelo (filtrado a través de suelos arenosos), puede usarse también en el abastecimiento de agua potable. Sin embargo, el tratamiento terciario suele necesitar una gran cantidad de energía.

La mayor parte de las aguas residuales se tratan al nivel secundario; las aguas tratadas a este nivel pueden utilizarse para determinados cultivos agrícolas y para la producción de forraje y cultivos leñosos (pero no para el riego de huertos). Los árboles son idóneos para el riego con agua de baja calidad: pueden actuar como filtros adicionales para purificar el agua contaminada y mitigar la contaminación del suelo o el agua.

El riego de árboles con aguas residuales tratadas puede llevarse a cabo cerca de asentamientos humanos en zonas urbanas y periurbanas; de hecho, se prefiere en las cercanías porque reduce el costo del bombeo. Una planta de tratamiento que da servicio a una pequeña ciudad de 5 000 habitantes es probable que produzca unos 700 metros cúbicos de aguas residuales tratadas al día. En las tierras secas con un alto índice de evapotranspiración, este volumen es suficiente para regar unas 6 hectáreas de una plantación de árboles de alta densidad y más de 15 hectáreas de una de baja densidad.

Un aspecto importante que hay que tener en cuenta en las tierras secas es la variación de las necesidades de riego de las diferentes especies agrícolas en función de las estaciones. Por ejemplo, la superficie de un cultivo herbáceo debería limitarse a la medida en que puede ser regada completamente durante los momentos de máxima evapotranspiración del verano. En cambio, los cultivos leñosos pueden resistir períodos de estrés hídrico y, por tanto, puede regarse una superficie mayor.

Calidad y cantidad de las aguas residuales

El uso inapropiado de las aguas residuales tratadas puede plantear riesgos para las personas y los ecosistemas; además, puede que el uso de aguas residuales no sea culturalmente aceptable. La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Instituto Internacional para el Manejo del Agua fomentan el uso inocuo de las aguas residuales en los sistemas agrícolas y brindan orientación a través de directrices, manuales y proyectos sobre el terreno (véase la sección Herramientas).

El uso de las aguas residuales debe ser lo más inocuo posible a fin de que las comunidades rurales cuyos medios de vida dependen del riego con dichas aguas puedan obtener el máximo beneficio en materia de nutrición y seguridad alimentaria. Por consiguiente, es fundamental asegurarse de que se han identificado todos los peligros y que se han adoptado todas las medidas preventivas para reducir al mínimo el riesgo de contaminación.

Según la base de datos Aquastat de la FAO, la extracción global de agua dulce en todo el mundo se distribuye de la siguiente manera: agricultura (69 por ciento), industria (19 por ciento) y asentamientos urbanos (12 por ciento). Gran parte del agua usada para la agricultura no se puede recuperar, ya que vuelve a entrar en el ciclo del agua a través de la evaporación y la infiltración (si bien se calcula que un 32 por ciento del drenaje agrícola es recuperable). Resulta relativamente fácil recolectar y utilizar de nuevo las aguas residuales producidas por la industria y los asentamientos humanos, ya que existe una red de alcantarillado. Sin embargo, la mayor parte de las aguas residuales producidas por la industria contiene contaminantes, entre ellos metales pesados, y requiere un tratamiento adicional antes de descargarlas en las plantas de tratamiento de las aguas residuales. Los asentamientos urbanos constituyen la fuente más común de aguas residuales tratadas para las actividades forestales y agroforestales, aunque actualmente sólo se recicla alrededor del 52 por ciento del agua urbana.

Las aguas residuales que se utilicen para la agricultura y el sector forestal deberían tratarse al menos hasta el nivel secundario a fin de evitar el riesgo de que los profesionales forestales y los agricultores, así como los consumidores de productos recolectados, estén expuestos a los agentes patógenos presentes en los efluentes, la mayor parte de los cuales pueden persistir en los suelos y contaminar los cultivos. En las situaciones en que las aguas residuales no sean adecuadas o aceptadas para la producción de cultivos alimentarios, una opción viable podría ser su utilización en los sistemas forestales y agroforestales con objeto de reducir los riesgos para la salud humana y recuperar una parte del costo del tratamiento de las aguas residuales.

Debe señalarse que, a menudo, las aguas residuales tratadas a nivel secundario y no utilizadas (así como las aguas residuales no tratadas) se vierten a las masas de agua dulce naturales, como ríos y lagos, de las que se extrae agua para el riego agrícola, lo cual constituye un uso muy arriesgado de agua potencialmente contaminada.

Uso de aguas residuales tratadas en los sistemas agroforestales de tierras secas

Las aguas residuales tratadas son un recurso atípico que puede estar disponible incluso en las tierras secas que cuentan con escasos recursos hídricos superficiales y subterráneos. Entre otras cosas, pueden utilizarse para establecer y mantener bosques plantados de producción intensiva (para la producción de madera) o con fines ambientales, agrícolas y sociales a través del riego de, por ejemplo, zonas recreativas, huertos, cinturones verdes urbanos, rompe vientos y árboles de sombra y forrajeros.

En varios estudios y programas de reforestación se ha demostrado la factibilidad técnica del cultivo de especies forestales utilizando aguas residuales tratadas. Arabia Saudita, Argelia, Egipto, Emiratos Árabes Unidos, Irán (República Islámica del), Jordania, Marruecos, Omán, Sudán, Túnez y Yemen, entre otros, han elaborado programas de reutilización de aguas residuales para regar cinturones verdes y parcelas forestales o fijar dunas de arena. Las especies que se utilizan con más frecuencia en este tipo de programas son árboles multipropósito y de rápido crecimiento como *Eucalyptus*, *Casuarina*, *Acacia*, *Pinus*, *Khaya* (caoba africana) y *Tamarix* (para más información sobre estos programas véanse los estudios de casos).

Los dos métodos para el tratamiento de aguas residuales más utilizados en las actividades forestales y agroforestales son los humedales construidos y el filtrado selectivo modular de las aguas residuales tratadas a nivel secundario.

Humedales construidos

Se ha demostrado que las bacterias, los hongos, las algas y las plantas almacenan y asimilan moléculas compuestas y contaminantes como metales pesados. La fitorrecuperación utiliza plantas, como juncos, malezas, arbustos y árboles, para tratar el agua y los suelos contaminados y recuperar zonas industriales contaminadas por la descarga de contaminantes.

Los humedales actúan como biofiltros naturales, y eliminan los sedimentos del agua a través de los efectos del filtrado de los juncos y la vegetación palustre. La vegetación de los humedales proporciona un sustrato (es decir, raíces, tallos y hojas) sobre el cual los microorganismos pueden crecer a medida que descomponen la materia orgánica. Se ha demostrado que las plantas eliminan entre el 70 por ciento y el 90 por ciento de los contaminantes de las aguas residuales; asimismo, proporcionan una fuente de carbono al descomponerse. Los humedales pueden eliminar los contaminantes, incluidos los metales pesados, de las aguas residuales vertidas al medio ambiente.

Los humedales construidos son pantanos artificiales creados para purificar las aguas residuales vertidas a través de un filtrado natural. Están formados por estanques en los que crecen juncos, arbustos y árboles seleccionados con base en su capacidad para filtrar impurezas del agua. Las aguas residuales entran en una serie de tanques de almacenamiento para el tratamiento conectados y, a continuación, se descargan en un estado adecuado para el riego.

Los humedales construidos son tolerantes a las fluctuaciones hidrológicas y de carga contaminante. Su construcción y funcionamiento son relativamente económicos, y son fáciles de mantener con un consumo de energía muy bajo o nulo. Los humedales construidos son rentables, asequibles y sostenibles para las comunidades rurales de zonas secas remotas en las que las circunstancias económicas no permiten el establecimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales normales. Ellos producen agua tratada a nivel secundario apta para los sistemas agroforestales y las plantaciones de árboles dirigidos a producir cultivos comerciales, reducen (o evitan) la erosión del suelo y proporcionan rompe vientos, sombra y forraje. Los humedales construidos empezaron a usarse en el norte de Europa y, actualmente, se están utilizando cada vez más en aldeas rurales de las zonas áridas de países en desarrollo.

Sin embargo, los humedales construidos necesitan una superficie de tierra relativamente grande y son unos sistemas biológicos e hidrológicos muy complejos, por lo que para establecerlos es preciso disponer de considerables conocimientos especializados. En concreto, si se establecen en tierras secas, los humedales construidos pueden tener una productividad relativamente baja debido a las pérdidas por evapotranspiración e infiltración, y pueden proporcionar un hábitat ideal para los mosquitos, que representan un peligro para la salud. No existen todavía conocimientos y experiencias suficientes sobre la utilización de humedales construidos en tierras secas, y es preciso recolectar datos reales para la elaboración de modelos de sustancias químicas de eliminación de contaminantes. La vulnerabilidad de los sistemas de humedales construidos ante los factores ambientales como fuertes vientos y tormentas de arena todavía debe evaluarse.

Filtrado selectivo modular de aguas residuales tratadas a nivel secundario

El objetivo final del tratamiento de las aguas residuales es el tratamiento terciario, el cual produce agua con un contenido suficientemente bajo de microorganismos que es apta para el consumo humano. Sin embargo, el tratamiento terciario no es siempre la forma más eficaz de gestionar el agua. La eliminación completa de los sólidos y las impurezas requiere una energía considerable, produce una gran cantidad de fango (que ha de ser eliminado) y conlleva la pérdida de nutrientes (como el carbono orgánico, el nitrógeno y el fósforo) contenidos en la materia orgánica.

Los nuevos métodos de tratamiento producen aguas residuales inocuas de calidad correspondiente al nivel secundario a través de la eliminación selectiva de la mayor parte de los agentes patógenos y de una parte de los sólidos y otras impurezas. La eliminación selectiva se lleva a cabo en la segunda fase del tratamiento en plantas convencionales de tratamiento de las aguas residuales utilizando filtros físicos y químicos adicionales que eliminan la mayor parte de los agentes patógenos y disminuyen la descarga de nutrientes y materia orgánica. El agua puede ser filtrada en diferentes fases del tratamiento secundario para incrementar o disminuir la cantidad de nutrientes basándose en las necesidades del cultivo y del suelo que se deben regar. Por tanto, la eliminación selectiva es un tipo simplificado de tratamiento secundario que reduce los costos energéticos y el fango, y permite reciclar la mayoría de los nutrientes y utilizar de nuevo el agua para el riego y la fertilización del suelo mediante la “fertirrigación”.

La eliminación selectiva es beneficiosa para los suelos y mejora el almacenamiento de carbono en el suelo y la retención de agua. Es especialmente viable para cultivos no alimentarios (como parcelas forestales para la producción de energía o madera) en las tierras secas, que suelen tener suelos pobres, ya que proporciona agua y nutrientes y aumenta la retención de agua de los suelos. La fertirrigación requiere un seguimiento continuo para reducir al mínimo el riesgo de que se propaguen enfermedades y poder realizar ajustes en el nivel de fertilización para satisfacer las necesidades de los suelos y los cultivos.

Further Learning

Braatz, S. & Kandiah, A. 2002. *Use of municipal waste water for forest and tree irrigation.* Rome, FAO.

Dimitriou, I. & Aronsson, P. 2005. Willows for energy and phytoremediation in Sweden. *Unasylva*, 221.

Fernández-Cirelli, A., Arumí, J.L., Rivera, D. & Boochs, P.W. 2009. Environmental effects of irrigation in arid and semi-arid region. *Chilean Journal of Agriculture*, 69: 27–40.

International Water Management Institute. 2008. *Wastewater reuse and recycling systems: a perspective into India and Australia.* Working Paper 128.

Hasselgren, K. 1998. Use of municipal waste products in energy forestry: highlights from 15 years of experience. *Biomass and Bioenergy*, 15(1).

Magen, H. Potential development of fertigation and its effects on fertilizer use.

Myers, B.J., Theiveyanathan, S., O'Brien, N.D. & Bond, W.J. 1996. Growth and water use of *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiata* plantations irrigated with effluent. *Tree Physiology*, 16: 211–219.

Rosenquist, H., Aronsson, P., Hasselgren, K. & Perttu, K. 1997. Economics of using municipal wastewater irrigation of willow coppice crops. *Biomass and Bioenergy*, 12(1).

Vasudevan, P., Thapliyal, A., Srivastava, R.K., Pandey, A., Dastidar, M.G. & Davies, P. 2010. Fertigation potential of domestic wastewater for tree plantations. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 69.

USDA National Agroforestry Center. 2000. *Wastewater management using hybrid poplar*.

Credits

This module was developed with the kind collaboration of the following people and/or institutions:

Initiator(s): Alberto del Lungo - FAO, Forestry Department

Reviewer(s): Prof. Salvatore Masi - Università della Basilicata; Paolo de Angelis - Università della Tuscia; Sara Marjan Zadeh - FAO, NRL