

Sauces para energía y fitorremediación en Suecia

I. Dimitriou y P. Aronsson

Los sauces en sistema de monte bajo y rotación corta se cultivan no solo por su biomasa para producir energía, sino también para tratar productos de desecho, absorbiendo contaminantes del suelo y del agua.

El sauce se cultiva en Suecia en régimen de monte bajo de corta rotación para obtener biomasa para la producción de energía. Se trata de cultivos comerciales, principalmente en tierras agrícolas, y la biomasa producida se utiliza en centrales térmicas de distrito para la producción combinada de calor y energía.

Productos de desecho ricos en nutrientes –principalmente aguas residuales urbanas, lixiviados de vertidos, aguas residuales industriales por ejemplo, aguas de escorrentía de aserradero), fangos de cloaca y cenizas de madera– se han aplicado recientemente con éxito a montes bajos de sauces para reducir, por absorción de las plantas, el contenido de contaminantes, y/o el exceso de nutrientes en aguas y suelos, y para facilitar la degradación microbiana de los contaminantes orgánicos. Este proceso es conocido como fitorremediación.

Los beneficios de tales prácticas son medioambientales y económicos: este tratamiento de los productos de desecho (que pueden considerarse aquí más como recursos que como desechos) es más económico que los tratamientos convencionales, y los nutrientes contenidos en los desechos sirven como fertilizantes baratos para aumentar la producción de biomasa. En este artículo se presentan una visión general y ejemplos del uso de montes bajos de sauce de ciclo corto en sistemas de fitorremediación para tratar diferentes tipos de desechos en Suecia.

CULTIVO DEL SAUCE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA

Los cultivos de sauce en plantaciones bajas de corta rotación se introdujeron en Suecia a raíz de la crisis del petróleo en los años setenta del pasado siglo, con

la intención de sustituir los combustibles fósiles por nuevas fuentes de energía. Extensas investigaciones para identificar especies de crecimiento rápido que pudieran cultivarse intensivamente para la producción de energía indicaron que los sauces en sistemas de monte bajo eran los más adecuados (Sirén, Sennnerby-Forsse y Ledin, 1987). Se consideró que el uso de nutrientes y la ordenación de los rodales eran más económicos y eficientes para el sauce que para otras especies leñosas, y se comprobó que el monte bajo de sauces de corta rotación era un sistema sostenible para producir combustibles neutros en cuanto al dióxido de carbono, ya que la quema de biomasa devolvería a la atmósfera el dióxido de carbono que las plantas habían tomado del aire.

Actualmente se cultivan en Suecia unas 16 000 hectáreas de sauces en plantaciones bajas de corta rotación, compuestas principalmente de diferentes clones e híbridos de *Salix viminalis*, *S. dasyclados* y *S. schwerinii*.

El cultivo del sauce está totalmente mecanizado desde la plantación hasta la recolección. En la fase inicial, se plantan unos 15 000 esquejes por hectárea en dobles filas, para facilitar ulteriormente la escarda, la fertilización y la recolección. En los años siguientes a la plantación se aplicaron en general fertilizantes inorgánicos convencionales. La recolección se hace cada cinco años, durante el invierno cuando el suelo está helado, utilizando máquinas de diseño especial. La biomasa sobre el nivel del terreno se desmenuza allí mismo, para ser después almacenada o quemada directamente en centrales térmicas.

Después de la recolección, las plantas rebrotan con fuerza, por lo que no es necesaria una nueva plantación. El ciclo

Ioannis Dimitriou y Pär Aronsson trabajan en el Departamento de Rotación Forestal Corta, Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia, Uppsala (Suecia).



Las plantaciones bajas de sauce de corta rotación se recolectan cada tres a cinco años, en invierno cuando el suelo está helado, utilizando máquinas de diseño especial

vital económico de un monte bajo de sauce en corta rotación se calcula en 20 a 25 años.

La producción actual de biomasa de sauce cultivado comercialmente en Suecia es de unas 6 a 12 toneladas por hectárea y año, según las condiciones del terreno.

EJEMPLOS DE SISTEMAS DE FITORREMEDIACIÓN EN GRAN ESCALA EN SUECIA

Aguas residuales urbanas

Las aguas residuales urbanas contienen nitrógeno y fósforo y son casi siempre una solución nutriente bien equilibrada que puede utilizarse como fertilizante para las plantas. No obstante, por razones sanitarias, su uso solo es adecuado para cultivos no alimentarios ni forrajeros, tales como el monte bajo de sauces de ciclo corto.

Durante los años 1990 se establecieron grandes plantaciones de sauces equipadas con sistemas de riego por goteo o aspersión próximas a instalaciones de tratamiento de aguas residuales para mejorar la eficiencia del tratamiento del nitrógeno produciendo al mismo tiempo biomasa regada con aguas residuales. Se suponía que si la producción de biomasa fuera de 10 toneladas de materia seca por hectárea y la concentración de nitrógeno en los brotes de sauce fuera 0,5 por ciento, se retirarían del campo con la recolección de cada año 50 kg de nitrógeno por hectárea. Sin embargo,

se ha comprobado que la retención de nitrógeno en el monte bajo de sauce de ciclo corto puede superar los 200 kg de nitrógeno por hectárea y año, gracias a la desnitrificación (transformación microbiana del nitrato en gas nitrógeno) y a la incorporación a largo plazo del nitrógeno al suelo (Aronsson y Perttu, 2001).

En Enköping, ciudad de unos 20 000 habitantes en Suecia central, se ha introducido un sistema novedoso. El agua residual rica en nitrógeno procedente del fango de alcantarillado, antes tratada en la planta depuradora, se distribuye ahora por una plantación de sauces contigua de 75 hectáreas durante el período de crecimiento. Estas aguas contienen unos 800 mg de nitrógeno por litro y equivalen a alrededor del 25 por ciento del total de nitrógeno tratado en la depuradora. El agua se bombea a albercas impermeabilizadas durante el invierno y se utiliza para regar las plantaciones de sauce durante el verano (mayo a septiembre). El sistema está concebido de manera que puedan añadirse aguas residuales convencionalmente tratadas para promover el crecimiento de

las plantas. Los sauces se riegan unos 120 días al año.

El sistema trata unas 11 toneladas de nitrógeno y 0,2 toneladas de fósforo al año en un volumen de 200 000 m³ de aguas residuales, de las cuales 20 000 m³ proceden del drenaje de los fangos después de sedimentación y centrifugación. El riego se interrumpe automáticamente los días de lluvia. Las tasas de riego alcanzan una media diaria de unos 2,5 mm durante el período de crecimiento.

Se controlan los posibles riesgos medioambientales derivados de estas aplicaciones, por ejemplo escapes de nitrógeno y emisiones de óxido nítrico (N₂O) a la atmósfera; los resultados indican hasta ahora que los riesgos son mínimos después de la aplicación de las aguas residuales.

Lixiviados de vertidos

Los lixiviados de vertidos (agua que escurre de los vertidos controlados de basura) suelen ser tratados junto con las aguas residuales urbanas en plantas depuradoras. Este procedimiento es en general caro y consume mucha energía, porque los lixiviados han de trasladarse lejos para su tratamiento. Por ello los administradores de vertidos se están interesando por soluciones alternativas de tratamiento de los lixiviados en el terreno. Un método es airearlos y utilizarlos después para regar plantaciones bajas de sauces de ciclo corto, sea en partes restauradas de los terrenos de vertido o en campos cultivables contiguos. El objetivo es contribuir al crecimiento de los arbustos y minimizar los posibles efectos negativos del potencial iónico generalmente alto

Sistema de fitorremediación mediante plantación de 75 hectáreas de sauces en Enköping, Suecia central: planta de tratamiento de aguas residuales (primer plano), albercas para almacenar las aguas en invierno (al fondo) y campos de sauces regados con efluentes de fangos



Vista aérea del vertedero de Högbytorp, Suecia central, administrado por Ragnsells Avfallsbehandling AB: los lixiviados de vertidos se airean en albercas y se usan para regar plantaciones bajas contiguas de sauces en verano



RAGNELLS AVFALLSBEHANDLING AB

de los lixiviados, que a menudo tienen concentraciones de cloruro del orden de 1 000 mg por litro. La ventaja principal de este método son los bajos costos de establecimiento en comparación con los sistemas convencionales de ingeniería sobre el terreno.

Una plantación de sauces establecida para restaurar un terreno de vertidos hace descender la formación de lixiviados gracias a una alta evapotranspiración. Puede reducirse a casi cero la descarga neta de lixiviados reciclando estas aguas residuales en un monte bajo de sauces de ciclo corto, incluso en el clima húmedo de Europa septentrional. Al mismo tiempo, los componentes peligrosos del lixiviado (por ejemplo, amonio y una serie de sustancias orgánicas persistentes y potencialmente tóxicas) son absorbidos por los sauces o retenidos en el sistema suelo-planta. Una alta concentración de iones de amonio en el agua es un peligro para el medio ambiente, pero si se controla cuidadosamente el amonio puede también suministrar nitrógeno a los sauces.

Hay actualmente unos 20 terrenos en Suecia en los que se usa el lixiviado de los vertidos para regar plantaciones de sauce de ciclo corto con sistemas de aspersión o goteo. Por ejemplo, en Högbytorp, Suecia central, un sistema operado por la compañía Ragnsells Avfallsbehandling AB almacena y airea el lixiviado de vertido en albercas y lo bombea después a una plantación de 5 hectáreas de sauces de ciclo corto, que se riega diariamente durante el tiempo de crecimiento con unos 2 a 3 mm de aguas residuales.

Las diferencias en la composición de lixiviados según los vertidos y las condiciones de suelo y clima, así como las diferencias en la absorción de productos químicos por los diversos tipos de sauces, han de ser tenidas en cuenta en el diseño y la ordenación de los sistemas de tratamiento de lixiviados para riego de plantaciones de sauce de corta rotación.

Aguas de escorrentía de la industria maderera

En los aserraderos y las fábricas de pasta de madera de Suecia, la madera almacenada se rocía con agua en verano para protegerla de los daños causados por insectos y hongos y evitar las grietas que se forman cuando la madera se seca. Las aguas de escorrentía resultantes contienen una serie de compuestos orgánicos procedentes de la corteza de los árboles, así como cantidades importantes de fósforo tanto de la corteza como de partículas del suelo pegadas a los troncos o a las ruedas de los camiones que los transportan. Un aserradero de tamaño medio en Suecia consume unos 100 000 m³ de agua al año para humedecer la madera almacenada, por lo que es preciso tratar un volumen considerable de agua de escorrentía. Además, el agua residual procedente de las instalaciones después de las lluvias o el deshielo puede contaminar captaciones próximas o aguas freáticas si no se recoge y se trata debidamente. Hasta hace poco, en la mayoría de los casos tales aguas desembocaban en ríos y lagos.

El contenido de las aguas residuales varía según la madera almacenada y las condiciones de almacenaje. Los principales problemas medioambientales se deben a los ácidos fenólicos, el carbono orgánico total, los metales pesados y las mayores concentraciones de fósforo.

En el aserradero de Heby en Suecia central se reciclan al año unos 60 000 m³ de aguas de escorrentía que se dirigen a

un campo de sauces de ciclo corto de una hectárea, regado por aspersión durante el período de crecimiento a razón de unos 4 000 a 4 500 mm al año (33 a 38 mm diarios en 120 días de riego). Estas cifras son muy altas en comparación con las cantidades tratadas de aguas residuales urbanas y lixiviados de vertidos.

La escorrentía del aserradero de Heby tiene una tasa de peligrosidad relativamente baja, con muy escasas concentraciones de nitrógeno, pero contiene grandes cantidades de compuestos orgánicos y fósforo. Se ha comprobado que después de aplicar estas aguas a la plantación de sauces descende el total de carbono orgánico y compuestos fenólicos en la capa freática (aunque los compuestos fenólicos no parecen ser un problema, por sus bajas concentraciones iniciales) (Jonsson, 2004). Además, ni el crecimiento de los sauces ni las cuencas fluviales próximas parecen afectados negativamente por las altas cargas de fósforo y carbono orgánico total. Sin embargo, la gran cantidad de agua utilizada satura el suelo, lo que reduce el crecimiento de los sauces. Se ha comprobado que reduciendo el volumen total de riego hasta 10 a 20 mm diarios se mejoran tanto el vigor de las plantas como la eficiencia de la absorción de nutrientes, ya que ello supone un período más largo de tratamiento.

FANGOS DE CLOACA Y CENIZAS DE MADERA

Alrededor de 10 000 hectáreas de plantaciones bajas de sauce se han fertilizado



Plantación baja de sauces de una hectárea en Heby, Suecia central, regada con agua de escorrentía industrial de un aserradero contiguo



Bibliografía

en Suecia con fangos de cloaca. Estos fangos no son un fertilizante equilibrado en nutrientes vegetales, ya que contienen algún nitrógeno (principalmente orgánico) y altas proporciones de fósforo pero muy poco potasio. Por consiguiente, cuando se dispone de cenizas de madera se mezclan éstas con los fangos y se aplica la mezcla a los sauces. Este fertilizante más equilibrado sustituye a los fertilizantes inorgánicos convencionales.

La idea es que los efectos de los metales pesados peligrosos y del fósforo en las mezclas de fangos y cenizas se reduzcan por la absorción de las plantas y la retención en el sistema suelo-planta. En la recolección, los brotes que contienen metales pesados se retiran del sistema y se queman, y este material se recicla en parte aplicando las cenizas a los rodales de sauces. Solo se aplican las cenizas de fondo (las que quedan en el fondo del horno), que tienen menor contenido de metales pesados que las cenizas volantes (retenidas en filtros en la chimenea).

Las mezclas de fangos y cenizas se aplican a las plantaciones bajas de sauces durante la fase de establecimiento y después de cada recolección –es decir, cada tres a siete años– para compensar la extracción de nutrientes con la recolección. En la práctica, la cantidad aplicada equivale a unos 22 a 35 kg de fósforo por hectárea y año (Naturvårdsverket, 1994).

Los metales pesados en el sistema suelo-planta después de la aplicación de las mezclas fango-ceniza quedan dentro de los límites permitidos, y las concentraciones de cadmio, uno de los metales más peligrosos para la salud humana, son reducidas (Klang-Westin y Eriksson, 2003). Cuando se quema la biomasa, el cadmio y otros metales pesados

permanecen en diferentes partes de las cenizas, y hay que tener cuidado para no reciclarlos de nuevo devolviéndolos a tierras agrícolas. Técnicamente es bastante fácil retirar los metales pesados de las cenizas, pero como este servicio medioambiental no cuenta actualmente con financiación, las cenizas contaminadas con metales pesados suelen ponerse en vertederos.

CONCLUSIÓN

Utilizadas para la fitorremediación, las plantaciones bajas de sauces de ciclo corto presentan ventajas como alto rendimiento en biomasa y retirada de compuestos peligrosos mediante recolecciones frecuentes. La alta tasa de evapotranspiración y la tolerancia de las raíces de los sauces al anegamiento permiten altas tasas de riego. Además, las plantaciones bajas de sauces de ciclo corto pueden limpiar terrenos contaminados absorbiendo importantes cantidades de metales pesados como cadmio, y pueden retener grandes cantidades de nutrientes en el sistema suelo-planta. Los sistemas de fitorremediación con este tipo de plantaciones de sauces consiguen en Suecia retirar los compuestos peligrosos contenidos en varias aguas residuales, y utilizan los nutrientes y el agua aplicada para la producción de biomasa. En gran escala, estos sistemas constituyen soluciones alternativas para el tratamiento, ecológicas y baratas, al mismo tiempo que se aumenta la producción de biomasa con fines energéticos. ♦

Aronsson, P. y Perttu, K. 2001. Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production. *Forestry Chronicle*, 77(2): 293-299.

Jonsson, M. 2004. Wet storage of roundwood – effects on wood properties and treatment of run-off water. *Acta Universitatis Agriculturae Suecicae, Silvestria*, No. 319. Ph.D. dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suecia.

Klang-Westin, E. y Eriksson, J. 2003. Potential of *Salix* as phytoextractor for Cd on moderately contaminated soils. *Plant and Soil*, 249(1): 127-137.

Naturvårdsverket (Agencia Sueca de Protección del Medio Ambiente). 1994. *Kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt om marken, när avloppsslam används i jordbruket* [Noticia pública de normas de protección medioambiental, en especial efectos de los fangos sobre las condiciones del terreno]. NFS 1994:2, MS: 72.

Sirén, G., Sennerby-Forsse, L. y Ledin, S. 1987. Energy plantations – short-rotation forestry in Sweden. En D.O. Hall y R.P. Overend, eds. *Biomass: regenerable energy*, pp. 119-143. Chichester, Reino Unido, John Wiley and Sons Ltd. ♦