

# Macrófitas de interés en fitodepuración.

María Dolores Curt Fernández de la Mora



## 1. RELACIÓN DE MACROFITAS UTILIZADAS EN FITODEPURACIÓN

El abanico de especies que se utilizan en fitodepuración es más bien reducido, y en general se restringe a especies típicamente helófitas debido a que los sistemas más extendidos son los de flujo superficial y flujo sub-superficial. En estos sistemas, las principales plantas utilizadas son emergentes o helófitas, como las eneas (*Typha* spp.) y el carrizo (*Phragmites australis*) e higrófitos como los juncos (*Scirpus* spp.). En sistemas estrictamente acuáticos de tratamiento de aguas se utilizan plantas flotantes de flotación libre, como son el jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) y las lentejas de agua (*Lemna* spp.).

perennes, erectas, de gran desarrollo, que pueden alcanzar más de 3 m de altura.

Las hojas de las eneas se disponen formando un denso grupo desde la parte basal de



Detalle de la base de las hojas de *Typha latifolia*. Obsérvese la presencia de aurículas, expansiones laterales de aspecto membranoso  
© M.D. Curt

## 2. Macrofitas emergentes

### 2.1. *Typha* spp. (Familia *Typhaceae*)

#### 2.2.1. Descripción

La familia de las *Typhaceae* está formada por un único género, el género *Typha*, de características morfológicas bastante homogéneas. Se trata de plantas acuáticas helófitas, esto es, plantas acuáticas con sistema radicular arraigado en el fango o fondo del humedal, y estructura vegetativa que emerge por encima de la lámina de agua; por esa razón también se denominan macrofitas emergentes. Son plantas herbáceas

la planta, ya que están envainadas unas con otras. La hoja consta de vaina –parte envolvente– y lámina o limbo –porción plana y extendida de la hoja, emergente–. En función de la especie que se trate, también puede haber aurículas, que son como expansiones laterales de la parte superior de la vaina. La forma de la lámina de la hoja de las eneas es muy característica. Es acintada, es decir, extremadamente larga, entera y de bordes paralelos; su nerviación es paralela. Las hojas son planas pero gruesas y esponjosas; al seccionarlas transversalmente se observan numerosos canales aeríferos. Como ocurre en las gramíneas, tienen un meristemo basal, que hace que, si se cortan las hojas durante el período vegetativo –práctica recomendable en el manejo de los humedales artificiales– su crecimiento no se interrumpa.

Todas las eneas son plantas monoicas; es decir, en un mismo especimen aparecen flores unisexuales femeninas y flores unisexuales masculinas. En las eneas las flores se agrupan densamente en inflorescencias unisexuales –botánicamente son del tipo espiga compuesta– diferenciadas, que se sitúan muy próximas entre sí en el extremo del escapo floral; la inflorescencia masculina en la parte más apical del escapo floral, y la inflorescencia femenina por debajo de la masculina, pudiendo estar ambas inflorescencias prácticamente seguidas una de la otra, o estar separadas por un espacio axial de varios centímetros. El conjunto de la inflorescencia femenina tiene una apariencia similar a un 'puro', por su grosor y coloración marrón; bruscamente está seguida por el conjunto diferenciado de la inflorescencia masculina, de forma cilíndrica, similar a la forma de la femenina, pero no así su grosor –más fino generalmente– y coloración –amarillenta por el polen–; todo ello atravesado por un largo eje erecto (tallo aéreo o escapo floral) de grosor fino, prácticamente constante en toda su longitud.

Inflorescencias de *Typha* spp.  
La parte gruesa inferior es la inflorescencia femenina aún inmadura; la superior corresponde a la masculina, cargada de polen  
© M.D. Curt



Las flores individuales, ya sean masculinas o femeninas son muy pequeñas, nada vistosas, y están muy reducidas. La femenina consta de un ginóforo más o menos desarrollado, que sostiene un gineceo con forma de almendra largamente apuntada y está prolongado por un largo

estigma; el gineceo está formado por un único carpelo, que contiene un único rudimento seminal. Además, la flor femenina lleva en su base un conjunto de pelos sedosos y, dependiendo de la especie que se trate, entre esos pelos se distingue fácilmente una escama estéril alargada, ya que su extremo está más o menos aplanado. Frecuentemente, en la misma inflorescencia femenina, se desarrollan flores estériles, cuya apariencia es similar a las flores femeninas –también hay presencia de pelos sedosos– pero la forma del gineceo estéril es diferente: el extremo está truncado, no apuntado, y su interior está hueco. La flor masculina, como la femenina, está también muy reducida; en este caso se limita a un grupo de unos tres estambres soldados irregularmente por los filamentos. Produce mucha cantidad de polen. Finalmente, después de la fecundación, cada flor femenina dá origen a un minúsculo fruto seco que contiene una única semilla. La unidad de dispersión es el fruto propiamente dicho, sostenido por un pié más o menos largo y rodeado por pelos sedosos que ayudan a la dispersión por el viento.

### 2.1.2. Especies de interés

En España el género *Typha* está representado por únicamente tres especies: *T. latifolia* L., *T. angustifolia* L., y *T. domingensis* (Pers.) Steudel, que ocasionalmente pueden hibridar entre sí. El aspecto general de las tres especies indicadas, y su hábitat natural es más o menos similar para el no introducido, pero no así su tolerancia a la contaminación. Por esta razón conviene señalar sus diferencias morfológicas. Los caracteres morfológicos más útiles para su identificación son: anchura del limbo foliar; presencia de glándulas mucilaginosas en la parte interna de la vaina foliar; presencia de escamas estériles (bracteolas), pigmentación de éstas y color de la inflorescencia femenina.

- *T. latifolia* L. es una planta robusta, que alcanza más de 2 m de altura. La vaina de la hoja está normalmente abierta en el extremo superior –más próximo a la lámina–, y se observan aurículas. En la cara interna de la vaina foliar no se observan a simple vista glándulas mucilaginosas oscuras. La lámina de la hoja es de color verde-grisáceo pálido, y tiene unos 8-20 mm de anchura. En el tallo floral las inflorescencias femenina y

masculina están muy próximas entre sí (0-2.5 cm entre sí). La femenina es de color marrón muy oscuro, larga (8-15 cm de longitud) y bastante gruesa (2-3 cm de diámetro). En esta especie, los pelos que acompañan a la flor femenina salen a partir de una cierta longitud (= 1 mm) del pie del gineceo (ginóforo); no tiene escamas estériles.

**Inflorescencia femenina de *Typha latifolia*, con los frutos ya maduros. Obsérvese su color marrón oscuro y grosor**  
© M.D. Curt



● *T. angustifolia* L. es una planta esbelta, menos robusta que la especie anterior; que no suele sobrepasar los 2 m de altura. Los laterales de la vaina de la hoja, aunque no están soldados entre sí, son envolventes en toda su longitud, por lo que la vaina permanece cerrada en toda su longitud, incluso en la zona más próxima a la lámina. En esta especie también se observan, generalmente, aurículas en la parte superior de la vaina. En la cara interna de la vaina foliar se observan a simple vista glándulas mucilaginosas oscuras, a modo de punteaduras marrones. La lámina de la hoja es de color verde oscuro, y es estrecha; su anchura es del orden de 3-6 mm. En el tallo floral las inflorescencias femenina y masculina están separadas entre sí por un amplio espacio, de unos 3-8 cm de longitud. La femenina es de color marrón oscuro a rojizo, más claro

que la de *T. latifolia*; es muy alargada (8-20 cm de longitud) y en proporción, estrecha (1.3-2.5 cm de diámetro). En las flores femeninas los pelos sedosos se concentran en la parte basal; además, las flores llevan escamas estériles de color marrón oscuro, opacas, rígidas y de forma espatulada.

● *T. domingensis* (Pers.) Steudel es una planta mucho más robusta, que puede alcanzar más de 3 m de altura, aunque en algunos aspectos puede confundirse con *T. angustifolia*. La vaina de la hoja, como en *T. latifolia*, está abierta en su extremo superior y en la parte interna se observan a simple vista glándulas mucilaginosas oscuras. No lleva aurículas marcadas. La lámina es de color verde pálido a amarillento, y es estrecha, aunque no tanto como *T. angustifolia*. Su anchura es de 5-12 mm. Como en *T. angustifolia*, las flores femeninas llevan escamas estériles, pero en *T. domingensis* son de color marrón claro, translúcidas, frágiles y de forma obovada-apiculada. La inflorescencia femenina es en proporción más estrecha que la de *T. latifolia*, y en conjunto, tiene color canela.



**Colonia natural de *Typha domingensis*. Pueden observarse las inflorescencias femeninas delgadas y esbeltas**  
© M.D. Curt

### 2.1.3. Ciclo de desarrollo

Como ya se ha indicado, las eneas son plantas herbáceas perennes. El carácter perenne se debe a que poseen un sistema radicular rizomatoso perenne, pero el ciclo de desarrollo de la planta es anual. En la época favorable, primavera tardía, la planta brota a partir de yemas situadas en los rizomas, y desarrolla numerosas hojas nuevas. Gracias a la asimilación fotosintética, produce carbohidratos que redundan en el

desarrollo de un tallo subterráneo rastrero, formación de nuevos rizomas y almacenamiento de carbohidratos de reserva por engrosamiento de los rizomas. En verano (Junio-Julio) la planta emite un tallo aéreo, generalmente sin hojas, que lleva en su extremo las inflorescencias. Los frutos maduran aproximadamente un mes más tarde, hacia Agosto-Septiembre. En otoño, la parte emergente de la planta senesce y toda la parte aérea de la planta se seca. La diseminación de los frutos se produce más tarde, generalmente a lo largo del invierno; es entonces cuando los 'puros' adquieren un cierto aspecto canoso, debido a que los pelos que acompañan a los frutos quedan a la vista. En la siguiente primavera comienza un nuevo ciclo con la brotación, desde los rizomas, de nuevas hojas.

Con la sucesión de ciclos anuales de desarrollo, la planta va colonizando poco a poco nuevas áreas del humedal, dando lugar en la parte arraigada en el fango, a un denso entramado de rizomas y raíces, y en la parte emergente, a una agrupación espesa de hojas y tallos en la que no pueden distinguirse plantas individuales. Por esta razón, las eneas siempre aparecen en los humedales formando colonias densas, en cuyo interior difícilmente crecen otra especie vegetal; finalmente tienen el aspecto de monocultivos rodeados de una orla fronteriza en la que aparecen otras plantas acuáticas e higrófitas.

#### 2.1.4. Aplicación

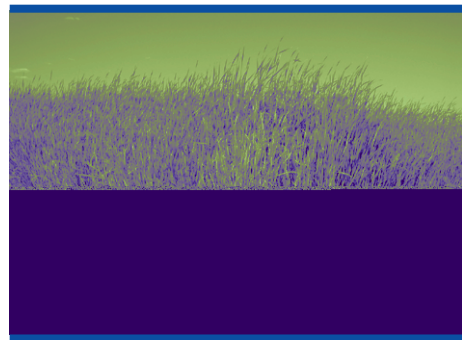
Las eneas son helófitas de climas templados o templado-fríos con estaciones. El rango de temperaturas en que se desarrollan es de 10 a unos 30°C, existiendo diferencias entre especies. *T. angustifolia* prefiere las temperaturas frescas, mientras que *T. domingensis* y *T. latifolia* tienen requerimientos térmicos parecidos. Además existen diferencias en cuanto a tolerancia a la inundación y características del agua en que viven.

Así pues, aunque se ha visto que la profundidad óptima de la capa de agua en la que crecen las eneas, es del orden de 0.5 m, se ha comprobado en humedales naturales de buena calidad que existe una zonación de especies en función de la profundidad de la capa de agua. En

el caso de co-existir *T. latifolia* y *T. angustifolia*, la primera se sitúa en las zonas menos profundas (0-60 cm) y la segunda, en las más profundas (37-90 cm).

Por otra parte, también se ha observado que cuando las condiciones son muy favorables, es decir, que el medio no está alterado y no hay contaminación, *T. latifolia* compite exitosamente contra las otras especies. *T. angustifolia* y *T. domingensis* suelen restringirse a medios más alterados y salinos. En condiciones de aguas de baja calidad, si ocasionalmente hubiera la co-existencia de *T. latifolia* con *T. domingensis*, esta segunda iría poco a poco desplazando a *T. latifolia*, ya que desarrolla mayor talla y tiene menor exigencia de calidad de agua.

En España los estudiosos del tema señalan que en los humedales naturales *T. domingensis* está desplazando a *T. latifolia*, como consecuencia de la baja calidad de las aguas. Con respecto a *T. angustifolia*, se indica que el área natural de distribución es de temperaturas más frescas que las de los hábitats de las otras dos especies, por lo que en España es bastante menos frecuente que *T. domingensis* o *T. latifolia*.



Humedal de flujo sub-superficial con *Typha domingensis*. En primer término film impermeable para el aislamiento del humedal, y lecho de grava que soporta las plantas  
© M.D. Curt

La aplicabilidad de las eneas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas es muy amplia. Pueden aplicarse en sistemas de flujo superficial, aprovechando su condición de helófitas, en flujo sub-superficial, como plantas arraigadas en la grava, y en sistemas acuáticos en flotación inducida, optimizando el papel filtrante de su sistema radicular. Los resultados de diferentes experiencias indican que, en comparación con otras plantas utilizadas para tratamiento de aguas (*Scirpus validus* y *Juncus effusus*, entre otras) las eneas son las plantas más

eficaces para la fitodepuración. Pueden ser utilizadas para tratamiento secundario (remoción de materia orgánica) y terciario (remoción de N y P) en climas templados. Su eficacia dependerá de los factores condicionantes del crecimiento de las plantas (básicamente, temperatura y radiación). Existen numerosos trabajos sobre la productividad de las eneas, en medios naturales y en humedales artificiales, que documentan que es una especie altamente productiva. En experiencias de fitodepuración se indica una productividad de 13 kg de biomasa total (aérea + sumergida, materia seca) por m<sup>2</sup> y año. Las extracciones se estiman en función de los contenidos de nutrientes en las distintas fracciones de la planta; pueden llegar a ser del orden de 180 g N/m<sup>2</sup> y 27 g P/ m<sup>2</sup>.

### 2.1.5. Técnicas de manejo en los humedales artificiales

#### ● Implantación

La implantación de las eneas se puede realizar bien a partir de pequeñas plantas previamente desarrolladas en vivero, o directamente mediante rizomas, en función de la disponibilidad del material vegetal y de la época en que se desea realizar la implantación. Las plantas pueden implantarse prácticamente en cualquier época del año, mientras que para la implantación de rizomas, el momento óptimo es en primavera, justo antes de la brotación. La distancia entre rizomas o plantas aconsejada en la implantación es de aproximadamente 1 m; con esta distancia, en unos 3 meses de desarrollo se consigue una buena cobertura vegetal. Cualquiera de los dos sistemas de implantación (rizomas o plantas) es de aplicación a los humedales FS y SF; en cambio, para humedales macrofitas en flotación lo aconsejable es utilizar planta producida a tal efecto, de un tamaño próximo a los 50 cm de altura.

La producción de plantas en vivero también tiene dos posibilidades: producción desde semilla o reproducción vegetativa partiendo de plantas madres. Si la producción se hace desde semilla se puede elegir exactamente la especie de enea que se desea, factor importante para asegurar la tolerancia a la contaminación y el mantenimiento de una altura de agua determinada. Por el contrario, cuando se sigue la repro-

ducción vegetativa (rizoma, o separación de plantas) es difícil, sino imposible, discernir de qué ejemplar y especie procede el material vegetal.



Plantel de *Typha dominigensis* (centro izquierda) y *Typha latifolia* (centro derecha) en bandejas de alveolos, producidas en vivero para humedales artificiales © M.D. Curt

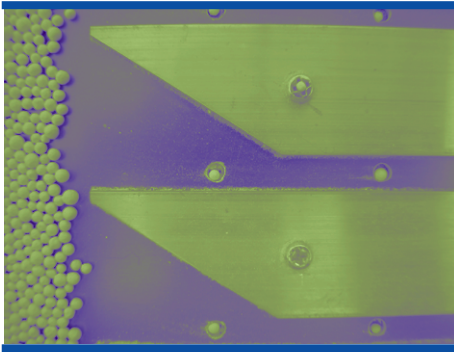
Las eneas producen gran cantidad de frutos —se estima que del orden de 20.000 a 700.000 frutos por inflorescencia— que germinan fácilmente en condiciones adecuadas de humedad y calidad del agua. En condiciones naturales, el sistema de reproducción más competitivo, y que asegura la propagación y extensión de colonias establecidas de eneas, es de tipo vegetativo gracias a los rizomas, que son órganos de almacenamiento de carbohidratos de reserva. Cuando las condiciones ambientales son adecuadas, los rizomas proporcionan muy eficazmente el sustento necesario para la brotación de la planta. La propagación por semilla sirve, ante todo, para la dispersión espacial de la especie.

Las técnicas de tratamiento de los frutos para la producción de plántulas son similares a las plantas hortícolas, y están condicionadas por el pequeñísimo tamaño de éstos (el peso de 100 frutos es del orden de 5 mg). Los frutos pueden empíldorarse y a partir de píldoras mono-germen realizarse la siembra en pots individuales, rellenos de un sustrato a base de turba y arena, sometidos a permanente saturación de agua. La tasa de germinación está relacionada con la temperatura; el óptimo para *T. latifolia* es del orden de 20°C, y a esa temperatura más del 50% de las semillas germinan en 1-3 días. Otro procedimiento es la realización de semilleros que posteriormente han de ser aclarados y transplantarse a pots. El tamaño óptimo para la implantación en el humedal es de plantas de 20-30 cm de altura. Después de la implantación hay que controlar bien la altura de agua; por ejem-

plo, las plántulas de *T. latifolia* no sobreviven con alturas de agua de unos 45 cm.

La reproducción vegetativa a partir de plantas madre exige el levantamiento del sistema sumergido de las plantas, fraccionamiento de los rizomas y/o separación de plantas. Los rizomas deben elegirse con buen aspecto y suficiente tamaño, para lo cual hay que tener en cuenta que estarán en su óptimo cuando las plantas están en reposo (invierno) mientras que cuando tienen menor cantidad de reservas es en pleno desarrollo, aproximadamente en Julio.

Detalle de un dispositivo convencional para la siembra de semillas pildoradas en bandeja de alveolos utilizado para *Typha spp.*  
© M.D. Curt



- Accidentes, plagas y enfermedades

Las plantas adultas de enea son muy rústicas y resistentes, y escasamente registran efectos negativos por accidentes, plagas o enfermedades. En cuanto a accidentes caben indicar la inundación, el fuego y el sombreado, pero estos accidentes tendrían que suceder por espacio muy prolongado para que afectaran a la colonia. El mantenimiento continuado de una altura de agua superior a la tolerada por las eneas tiene efectos negativos, pero la colonia podría reanudar su propagación por germinación de las semillas en el agua, o por brotación a partir de los rizomas, cuando las condiciones fueran más favorables. El efecto del fuego depende de la época en que se produjera, ya que afectaría principalmente a la parte emergente de la planta, y no a los rizomas, con lo que una nueva brotación permite la perpetuación de la colonia. En relación al sombreado, hay que indicar que las eneas son plantas de zonas soleadas, y por tanto, no son tolerantes al sombreado prolongado. Sin embargo, esta situación es totalmente controlable en los humedales artificiales. En relación a

plagas y enfermedades, cabe indicar que muy ocasionalmente las plantas adultas pueden ser huéspedes de áfidos, ácaros, larvas minadoras o roya, que por tanto, no suelen ser necesarios controlar.

En lo que respecta a las plántulas, el operador del vivero debe realizar un seguimiento cuidadoso del estado de los plantales, ya que la incidencia de accidentes, plagas y enfermedades es mayor. En cuanto a accidentes, hay que mencionar las heladas, que ocasionarían la muerte de las plántulas, y el mantenimiento de una altura de agua no tolerada. En los semilleros puede ser necesario el control de enfermedades de pudrición del pie, y en plántulas, de las plagas de ácaros y áfidos.

- Cosecha

Es conveniente cosechar periódicamente y retirar del humedal, la parte emergente de la colonia de eneas, a fin de que el proceso de renovación de la colonia y remoción de carga contaminante (materia orgánica y nutrientes) sea eficaz. Si el corte se hace en plena época vegetativa (por ejemplo, en Julio) puede ocurrir que no se haya completado el almacenamiento de carbohidratos de reserva en los rizomas, y que se comprometa la plantación para la siguiente temporada. Por ello es recomendable que el corte se haga una vez que las plantas estén en reposo, y antes de que comience la nueva brotación.

## 2.2. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel (= *P. communis* Trin.)

### 2.2.1. Descripción

*Phragmites australis* es una planta acuática perteneciente a la familia de las gramíneas (*Poaceae*), cuyas características morfológicas recuerdan a la caña común *Arundo donax*, que es una planta terrestre muy conocida. La diferencia más notable entre ambas es la de la condición de planta acuática helófito del carrizo. Como las eneas, el carrizo crece en zonas inundadas con el sistema radicular arraigado en fango o fondo del humedal, y desarrolla una estructura vegetativa emer-

gente por encima de la lámina de agua. Según algunos autores el carrizo es la especie vegetal de mayor distribución conocida a nivel mundial de entre todas las plantas superiores. Se encuentra en todos los continentes, excepto en la Antártida, siendo muy común en cursos de agua –ya sea como acuática o como marginal–, formando típicamente cinturones continuos a lo largo del cauce; también es muy corriente en humedales, marismas, y otros espacios inundados, pudiendo vivir en medios muy alterados, tanto alcalinos como ácidos.

Cinturón de *Phragmites australis* en el margen de un cauce natural de agua  
© M.D. Curt



Es planta herbácea perenne, erecta, muy robusta, que puede alcanzar más de 3 m de altura, de hábito es similar al de la caña común y los bambús. En la parte subterránea de la planta se desarrollan rizomas leñosos, escamosos y nudosos, y largos estolones. El tallo aéreo del carrizo es generalmente simple, y como en todas las gramíneas, está formado por una sucesión de nudos y entrenudos perfectamente diferenciados que conforman la 'caña' de la planta. Sin embargo, estos nudos no son visibles ya que están cubiertos por las vainas de las hojas. Las hojas son enteras, largas (20-70 cm longitud), estrechas (1-5 cm anchura), agudas y de color verde grisáceo durante la etapa de crecimiento vegetativo. En el extremo del tallo se desarrolla una panícula, más bien laxa, y a menudo, de color púrpura, en la que se sitúan las flores, inconspicuas, organizadas en espiguillas. La organización en espiguillas sigue un patrón similar al de otras gramíneas. La espiguilla consta de unas piezas estériles membranáceas, llamadas glumas (2 por espiguilla), lema y pálea; en el carrizo las glumas son glabras, mientras que en la caña común están cubiertas de pelos suaves, visibles a simple vista.

La especie muestra una gran variabilidad fenotípica, que puede relacionarse con la variación en el número cromosómico y con el desarrollo adaptativo de diferentes clones. Así pues, hay clones de pequeña talla y otros clones que tienen gran talla (carrizos gigantes). A este respecto, hay autores que reconocen dos diferentes variedades botánicas para los tipos morfológicos de talla gigante (*P. australis* var. *gigantea*) y de morfología fina (*P. australis* var. *flavescens*), que pueden relacionarse con el nivel de ploidía. También se ha observado que diferentes clones tienen diferente tolerancia a la salinidad. Así por ejemplo, los clones españoles del área mediterránea son más tolerantes que los daneses. A este respecto hay que indicar que hay dos mecanismos responsables de su tolerancia a la salinidad, que son el ajuste catiónico y la disminución del contenido en humedad de la planta, que contribuye al ajuste osmótico. En cuanto al número cromosómico hay que indicar que el carrizo presenta un amplio rango de euploidía (de  $3n$  a  $12n$ ), y así por ejemplo, los tetraploides dominan entre los carrizos que crecen de modo natural en Europa, mientras que los octoploides predominan en Asia. Algunos estudios indican que los tetraploides se adaptan mejor a ambientes salinos que los octoploides.

### 2.2.2. Ciclo de desarrollo

El carrizo es una planta herbácea perenne gracias al carácter perenne de sus rizomas, pero el ciclo de desarrollo de la planta es anual, como ocurre en las eneas. La brotación a partir de los rizomas se produce hacia el mes de Abril, dando lugar al desarrollo de un vástago muy vigoroso, erecto, que crece rápidamente. Aproximadamente, entre Julio y Septiembre se produce la floración, seguida de la formación de semillas. A partir de la formación de la semilla (Agosto-Septiembre) se produce la translocación de asimilados hacia los rizomas, y la senescencia de la parte aérea de la planta. En invierno (Noviembre-Enero) ocurre la diseminación de las semillas. En la siguiente primavera comienza un nuevo ciclo con la brotación, desde los rizomas, de nuevos vástagos.

La mayoría de las semillas producidas por la planta del carrizo no son viables, pero en la naturaleza, la colonización de nuevos ambientes

ocurre fundamentalmente por la diseminación de las semillas. La germinación se produce cuando hay temperatura favorable (alrededor de 20°) y fluctuación de temperaturas entre el día y la noche (>10°C), circunstancias que se producen en primavera. Las plántulas no toleran la inundación permanente (>4 cm altura de agua), razón a la que se atribuye el que la nueva colonia comience por el borde del humedal. Una vez establecido el carrizo, su propagación queda asegurada vegetativamente gracias a los rizomas.

*Colonia de Phragmites australes al término del invierno, desarrollada sobre efluentes municipales sin depurar. En la parte inferior izquierda asoman brotes primaverales*  
© M.D. Curt



En su hábitat natural, la sucesión de ciclos de desarrollo por propagación vegetativa facilita el avance estable del carrizal a lo largo de los márgenes del humedal o del cauce del curso de agua, trazando los límites del área húmeda a modo de franja homogénea, uniforme y densa, de vegetación monoespecífica, generalmente sin espacios abiertos en su interior. En los carrizales más densos se pueden llegar a contabilizar de hasta 200-300 cañas por m<sup>2</sup>.

### 2.3.3. Aplicación

El carrizo se desarrolla bien tanto en aguas no contaminadas como en aguas alteradas de naturaleza orgánica, alcalina o salina. En aguas no contaminadas su crecimiento es mayor, pero en esos medios resulta frecuentemente desplazado por otras especies más competitivas. Sin embargo, su gran tolerancia a medios alterados hace que desplace muy eficazmente otras especies, y que se extienda rápidamente. En función del lugar que se trate, el incremento en las poblaciones de carrizo puede ser preocupante, por lo que llega a ser considerado como especie invasiva no deseable. Su expansión se relaciona con

el incremento en la contaminación mineral de las aguas (especialmente, nitratos), y el aumento de su salinidad.

Existen numerosos trabajos de investigación sobre el carrizo, que indican que la tolerancia a distintos parámetros de contaminación es muy amplia, pudiendo además relacionarse con las características particulares del ecotipo. Hay estudios que refieren valores para el influente del orden de 500 mg O<sub>2</sub>/l de DBO<sub>5</sub>, 60 mg/l de N total, 20 mg/l de N-NH<sub>4</sub> y 14 mg/l de fósforo. Con respecto a la tolerancia a la salinidad, se citan valores de tolerancia máxima del orden de 2% de concentración de sales, pero puede crecer con la influencia de aguas marinas (3.5% sal) si el medio en que está la parte subterránea (raíces y rizomas) tiene <2.0% sal.

El carrizo se utiliza como helófito en los humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial de manera prácticamente generalizada, porque es una planta muy rústica, polimorfa, con amplia variabilidad entre ecotipos. En los sistemas de flujo superficial tiene la ventaja sobre las enneas de que sus rizomas penetran verticalmente, y más profundamente, en el sustrato o fango del humedal, con lo que el efecto oxigenador por liberación de oxígeno desde los rizomas es potencialmente mayor.

La productividad del carrizo varía ampliamente entre los diferentes ecotipos; se indican cifras superiores a 50 t de peso seco por ha y año, en donde aproximadamente el 44% corresponde a la biomasa aérea. La capacidad de extracción de nutrientes puede estimarse en función de la composición de sus tejidos; la biomasa aérea contiene aproximadamente 1.1% de nitrógeno y 0.12% de fósforo, y la subterránea 1.0% N y 0.15% fósforo.

### 2.2.4. Técnicas de manejo en los humedales artificiales

#### ● Implantación

La implantación del carrizo en los humedales artificiales se efectúa usualmente por propagación vegetativa. Debido a que hay diferencias de comportamiento entre poblaciones de la especie, se recomienda que el material vegetal se



obtenga a partir de poblaciones naturales de la zona, a fin de asegurar su adaptación al lugar. Los rizomas se fraccionan convenientemente (que tengan varias yemas) y se implantan en el sustrato o fango del humedal en primavera.

Para la propagación por semilla hay que tener en cuenta que gran parte de las semillas que produce la planta no son viables. Aquellas que sí lo son, germinan en aproximadamente 5 días en condiciones de humedad a 20-24°C. Las plántulas, para desarrollarse requieren condiciones de humedad permanente sin que la lámina de agua tenga más de 4 cm de altura.

- Accidentes, plagas y enfermedades

El éxito alcanzado por el carrizo en cuanto su área de distribución –tiene el honor de ser la angiosperma de distribución más amplia– indica que en general es una especie muy rústica, de fácil implantación, con pocas exigencias, y poco susceptible a accidentes, plagas y enfermedades. Hay que indicar que en la actualidad, y en poblaciones naturales, se observan dos tendencias opuestas: por una parte la expansión del carrizo como planta invasiva como consecuencia de la alteración del medio natural (contaminación, cambios del régimen hidrológico, incremento de la salinidad, eutrofización ...), y por otra, el retroceso de poblaciones asentadas o 'die-back' del *Phragmites*, que se atribuye a una conjunción de efectos negativos, como pueden ser destrucción mecánica, inundación excesiva, fitotoxicidad, metanogénesis, calidad del agua. Sin embargo, estos problemas no son normales en los humedales artificiales.

En los carrizos implantados en humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales, no es corriente la ocurrencia de accidentes, plagas y enfermedades. Como accidentes, sólo hay que mencionar el encamado de plantas adultas, que son poco resistentes al vuelco o rotura por efecto del viento o de bruscos cambios de la corriente del agua (oleaje), pero este accidente no compromete la continuidad del carrizal, que persiste gracias a los rizomas. Y con respecto a las plagas, caben citar los insectos taladradores del tallo o de los rizomas, y áfidos, aunque estas plagas son muy poco frecuentes y sus daños muy ocasionales.

- Cosecha

Al igual que la enea, el carrizo es una planta que produce mucha biomasa que es conveniente cosechar periódicamente y retirar del humedal para que no ocurra reciclado de nutrientes al humedal ni incremento de materia orgánica en el sistema. Aproximadamente, la época en la que los rizomas tienen menos reservas es hacia finales de Julio, por lo que si se efectúa la siega de la biomasa aérea, el vigor del carrizal se verá afectado. En épocas más tardías, (de Agosto en adelante, y antes de la brotación) ya no es probable que el corte comprometa el crecimiento de la planta.

### 3. JUNCOS: *SCIRPUS* SPP

#### 3.1. Descripción

El género *Scirpus* se encuadra dentro de las *Cyperaceae*, familia muy próxima botánicamente a las de las gramíneas. En general, el aspecto de las *Cyperaceae* recuerda al de las gramíneas, ya que en su mayoría son plantas herbáceas, cespitosas, con flores pequeñas, muy reducidas y poco aparentes. Sin embargo, tienen caracteres botánicos marcadamente diferenciales, como son la organización de la flor (en las *Cyperaceae* va acompañada de una sola bráctea o gluma) y el tipo de fruto (en las *Cyperaceae* es un aquenio indehisciente, que contiene una única semilla). Además, el hábitat natural de las *Cyperaceae* corresponde esencialmente a zonas húmedas, o encharcadas, siendo muy frecuentes en turberas y suelos pantanosos.

El género *Scirpus* comprende especies herbáceas, perennes o anuales, en donde las perennes son rizomatosas. Los tallos pueden ser de sección circular o triangular. Las hojas pueden ser basales o caulinares (a lo largo del tallo), y están envainadas. En algunas especies las hojas están muy reducidas, e incluso llegan a carecer de limbo. Las flores son hermafroditas y están muy reducidas; se componen de 0-6 pequeñas piezas escamosas estériles (corresponderían a las piezas del cáliz y la corola), 1-3 estambres, y gineceo con 2-3 estigmas. Se organizan en 'espiguillas' muy pequeñas (<4 mm diámetro) dispuestas en espiral, en donde cada flor lleva una

única escama (gluma). A su vez, las espiguillas se agrupan en complejas inflorescencias terminales o axilares sobre 1-3 hojas situadas en el extremo del tallo, en donde cada inflorescencia puede llevar de 50-500 espiguillas. El fruto es un aquenio, generalmente trígono, que contiene una única semilla.

### 3.2. Especies de interés

El género *Scirpus* tiene una distribución prácticamente cosmopolita. Comprende unas 35 especies, de las que unas 15 se distribuyen naturalmente en España. El género incluye especies terrestres, semiacuáticas, y acuáticas flotantes o sumergidas, algunas de las cuales son de aplicación para el tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales. Entre éstas destacan las especies *S. lacustris* y *S. holoschoenus*, de distribución natural en España. Otras especies con potencial para humedales artificiales son *S. validus*, cuya distribución natural es americana y *S. maritimus*, que en España se encuentra naturalmente en marismas salinas.

- *Scirpus lacustris* L. (junco de laguna)

Se trata de una especie perenne, rizomatosa, que en su hábitat natural se comporta principalmente como acuática helófito. Los tallos son simples, erectos, pueden alcanzar 3 m de altura, y son del tipo terete, es decir, con morfología similar a la de los verdaderos juncos. Las hojas o no tienen lámina o si la tienen, ésta es muy pequeña. La inflorescencia es aparentemente lateral, ya que está sobre una bráctea que parece la prolongación del tallo, y que supera al conjunto de las inflorescencias. Estas, a su vez, se sitúan sobre radios de longitud desigual, y no tienen el aspecto de glomérulos apretados, a diferencia del *S. holoschoenus*.

- *S. holoschoenus* L. (junco de bolas o junco del churrero)

Es una especie perenne, rizomatosa, terrestre, pero cuyo hábitat natural corresponde a zonas encharcadas más o menos permanentemente. Se trata de una planta robusta, que puede alcanzar 2 m de altura, con tallos semejantes a los de los verdaderos juncos, es decir del tipo terete.

Como el junco de laguna, la mayoría de las hojas no tienen limbo, sino que únicamente están representadas por las vainas; algunas hojas situadas en posición superior desarrollan una lámina pequeña. Las espiguillas están organizadas en cabezuelas compactas, globosas, de hasta unos 12 mm de ancho; al menos una de dichas cabezuelas está sentada, mientras que las otras están sobre radios de longitud desigual.



Detalle de las cabezuelas de *Scirpus holoschoenus*  
© M.D. Curt

- *Scirpus validus* Vah. (= *Schoenoplectus tabernaemontani* (C.C. Gmelin) Palla) (junco gigante o junco de tallos suaves)

Botánicamente, la especie *S. validus* fue originalmente descrita como nativa de norteamérica, pero en estudios más avanzados se determinó que era homóloga a la europea *Schoenoplectus tabernaemontani* (sinónimo). Si se considera que ambas conforman una única especie puede asumirse que su distribución es prácticamente cosmopolita. *S. validus* en su área natural crece en suelos saturados, zonas pantanosas, y cursos de aguas tanto frescas como contaminadas; puede alcanzar 3 m de altura, y es de interés para humedales artificiales. Es herbácea perenne, rizomatosa, que, a diferencia de las anteriores especies, tiene tallos trígono y espiguillas dispuestas principalmente de forma aislada.

### 3.3. Ciclo de desarrollo

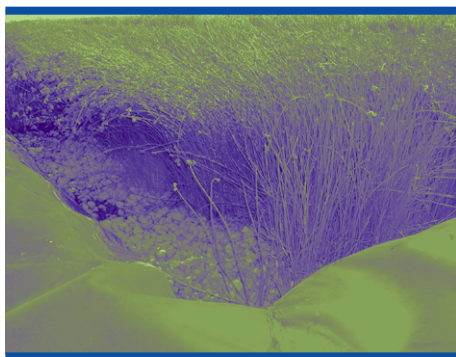
Los juncos mencionados son especies herbáceas perennes, en las que la parte aérea (tallos) permanece verde durante varios ciclos vegetativos y la parte subterránea forma rizomas de desarrollo horizontal, que sirven para la propa-

gación vegetativa de la especie. En primavera la planta emite renuevos que desarrollan tallos aéreos semejantes a juncos; la floración tiene lugar a mediados del verano (Julio-Agosto), y la maduración de las semillas entre los meses de Agosto y Septiembre.

### 3.4. Aplicación

Los *Scirpus* son plantas de climas templados, que prosperan en posiciones soleadas, tolerando un amplio rango de pHs (4-9). La temperatura media óptima para su desarrollo está dentro del intervalo 16-27°C. En cuanto a su tolerancia a la contaminación, se puede indicar que en general soportan bien los niveles normales de contaminación orgánica de las aguas residuales domésticas. En la literatura al respecto, se pueden encontrar estudios comparativos de *Scirpus validus* frente a otras especies de humedales artificiales, como *Typha latifolia*, que indican en un determinado contexto experimental que es más eficiente que la enea en la remoción de N y P.

Humedal de flujo sub-superficial con *Scirpus lacustris*. En primer término, lámina impermeable que sella el humedal y lecho de grava en su interior  
© M.D. Curt



Las especies de *Scirpus indicadas* se utilizan principalmente en humedales artificiales de flujo sub-superficial (lecho de grava/arena), ya que su tolerancia a la inundación permanente cuando la capa de agua es profunda, es limitada, aunque otras especies pueden tolerar profundidades mayores. Su productividad es baja en relación con las eneas o los carrizos; aproximadamente es de 5-12 t ms/ha/año, repartida prácticamente a partes iguales entre la biomasa aérea y la subterránea. Los contenidos en N y P de parte aérea y parte subterránea son, respectivamente del orden de 1.6% N y 0.12% P, y 1.2% N y

0.18% P. Más que la remoción de nutrientes, el papel principal de los *Scirpus* en los humedales es el de actuar de filtro, potenciando los mecanismos de sedimentación-separación.

### 3.5. Técnicas de manejo en los humedales artificiales

#### ● Implantación

La implantación de los juncos en los humedales artificiales se efectúa usualmente por división de mata. Siguiendo las pautas generales sobre la elección del material vegetal para humedales artificiales, es recomendable que las plantas madres procedan de poblaciones naturales de la zona, a fin de asegurar su adaptación al lugar. Las plantas se desarraigan del sustrato, se fraccionan de modo que cada porción lleve en su parte subterránea rizomas, y se implantan individualmente en el sustrato o fango del humedal en primavera.

La propagación por semilla es también una opción viable si se dispone del suministro de semilla. En general se puede indicar que las semillas de los juncos germinan bien. Hay que tener en cuenta que si se pretende sembrar directamente un humedal de flujo superficial, el flujo del agua debe controlarse debidamente, para que no arrastre la semilla, ya que ésta es muy pequeña. En todo caso la implantación será más rápida, y la cobertura vegetal mejor, cuando se parta de plantas obtenidas por división de mata.

#### ● Accidentes, plagas y enfermedades

Los juncos son plantas muy rústicas de las que no se tienen referencia de plagas y enfermedades en su aplicación en humedales artificiales.

#### ● Cosecha

Del mismo modo que se indicó para las especies helófitas, es conveniente cortar la parte aérea de la planta, y eliminarla del humedal, a fin de reducir el reciclado de nutrientes en el sistema.

## 4. PLANTAS FLOTANTES

### 4.1. *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms (jacinto de agua)

#### 4.4.1. Descripción

El jacinto de agua es una planta acuática flotante no enraizada, herbácea perenne muy común en ambientes acuáticos de climas tropicales, en donde llega a considerarse como planta invasiva; está catalogada como una de las malas hierbas más dañinas a nivel mundial. Se la considera originaria de la amazonia, y actualmente está extendida en prácticamente todas las zonas tropicales acuáticas del planeta. Se distingue muy fácilmente de otras plantas flotantes por poseer hojas relucientes con peciolo hinchados y vistosas flores azuladas-lilas.

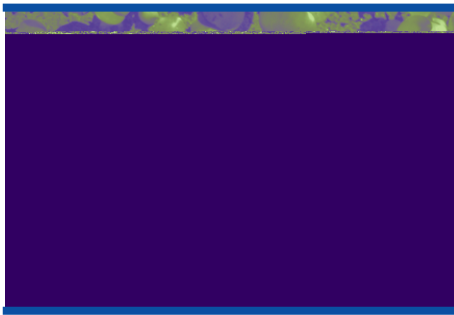
un día; se abre individualmente al poco de la salida del sol, y senesce por la noche. Consta de 6 tépalos de color azul claro a azul amarillento, 6 estambres de dos longitudes diferentes, gineceo de 3 lóculos y estilo con estigma trilobulado o trifido; el estilo puede ser más corto, más largo o similar en longitud que los estambres (heterostilia). El fruto es una cápsula alargada, que contiene un número variable de semillas (una cápsula puede llegar a contener 450 semillas) de pequeño tamaño. En la parte sumergida de la planta se sitúan las raíces, que son de aspecto plumoso, muy densas, y de color negro-púrpura por los pigmentos que contienen, y que sirven de protección frente a herbívoros. Las raíces son adventicias, fibrosas, y pueden alcanzar hasta 3 m de longitud. Además, en la parte sumergida de la planta se desarrollan estolones, de hasta 30 cm de longitud, que sirven para la propagación vegetativa de la especie.

#### 4.1.2. Ciclo de desarrollo

En su hábitat natural el jacinto de agua es una planta herbácea perenne de rápido desarrollo, que se extiende lateralmente mediante el desarrollo de estolones y formación de renuevos, hasta cubrir toda la superficie del agua formando una densa cubierta vegetal muy vistosa por su coloración verde brillante salpicado del azul de las flores. Las características de rápido crecimiento y alta productividad hacen que en cursos de agua naturales y en determinadas circunstancias, pueda llegar a ser un grave problema. Sin embargo, estas características son muy ventajosas cuando se utiliza en ambientes controlados para el tratamiento de aguas residuales.

La planta se reproduce principalmente por propagación vegetativa, esto es, mediante estolones que radian desde base de la planta y desarrollan renuevos. También puede reproducirse mediante semilla, y de hecho la semilla constituye una fuente de re-infestación cuando se erradica la población. En climas tropicales la producción de estolones y renuevos es constante. Los estolones son de coloración púrpura violeta, y consisten en una sucesión de nudos y entrenudos; cada nudo puede desarrollar una hoja y raíces; y a partir de yemas axilares de las hojas se desarrollan tallos vegetativos aéreos. Normalmente, en una población densa (tapiz) de plan-

Estanque con  
*Eichhornia*  
*crassipes*  
en flor  
© M.D. Curt



La parte aérea vegetativa de *Eichhornia crassipes* forma una especie de roseta que sobresale parcialmente sobre la lámina de agua; generalmente alcanza unos 50 cm de altura, aunque en algunas zonas muy adecuadas para la especie (sureste de Asia) puede llegar a 1 m de alto. La hoja es muy característica: el peciolo tiene apariencia de estar hinchado, es de consistencia esponjosa a razón de que contiene gran espacio aéreo, a fin de contribuir a la flotabilidad de la planta; el limbo es coriáceo, oval-redondeado, erecto, de dimensiones aproximadas 8 x 10 cm, glabro, y de color verde brillante. La planta desarrolla un tallo floral erecto, que lleva en su extremo una inflorescencia semejante a una espiga vistosa, con unas 15 flores efímeras de coloración azulada. Cada flor dura abierta sólo

tas de jacinto de agua sólo desarrollan estolones las plantas que están en los límites externos de la agrupación, con lo que el tapiz va extendiéndose progresivamente a modo de mancha de aceite.

Detalle de los peciolo**s** binchados de *Eichhornia crassipes*, que actúan a modo de flotador de la planta  
© M.D. Curt



#### 4.1.3. Aplicación

En los climas tropicales, la especie muestra una gran adaptabilidad ecológica, desarrollándose bien en estanques temporales, zonas húmedas, marismas, aguas contaminadas, lagos, pantanos y ríos. Puede tolerar fluctuaciones grandes con respecto a altura de la capa de agua, velocidad del flujo, disponibilidad de nutrientes, pH, contaminación y salinidad. El principal limitante para el desarrollo del jacinto de agua es la temperatura, que debe mantenerse dentro de los límites usuales del régimen tropical o subtropical. El crecimiento es rápido en el entorno de 20-30°C de temperaturas medias, pero se estanca en el intervalo de 8-15°C. También la formación del fruto está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales; es muy reducida cuando las temperaturas son muy altas y la humedad relativa es baja. Las condiciones óptimas para su desarrollo son 90% de humedad relativa y 22.5-35°C.

El jacinto de agua se utiliza en sistemas acuáticos de tratamiento de aguas residuales domésticas de climas cálidos, siendo el principal parámetro de diseño la carga orgánica. En estos sistemas, la profundidad recomendada para los estanques de tratamiento es del orden de 1 metro, a fin de que todo el agua bañe el sistema radicular de las plantas. En tratamientos secundarios no aireados la carga típica de  $\text{DBO}_5$  está en el intervalo de 40-80 kg/ha/día. También puede aplicarse como tratamiento terciario

para la remoción de nitrógeno y fósforo. Su eficacia dependerá del grado de cobertura alcanzado, es decir, de su rendimiento en biomasa. Es una planta muy productiva, que en condiciones apropiadas alcanza rendimientos medios cercanos a 100 t de materia seca por hectárea y año, pero hay citas de incluso a 154 t/ha/año. El contenido medio en nitrógeno y fósforo de la planta se puede estimar en 4% y 0.4%, respectivamente, por lo que potencialmente se podrían eliminar del influente del orden de 2000-6000 y 300-600 kg de nitrógeno y fósforo, respectivamente, por ha y año. También es eficaz para la remoción de sólidos en suspensión, y es utilizado para corregir los problemas derivados del desarrollo incontrolado de algas de las lagunas de oxidación.

#### 4.1.4. Técnicas de manejo en los humedales artificiales

- **Implantación**

La implantación del jacinto de agua en los sistemas acuáticos de tratamiento de aguas se realiza a partir de plantas individuales o renuevos, que se dejan dispersos por la superficie del agua. Estas plantas se obtienen por división de una población madre, individualizándose las agrupaciones de 'rosetas' con raíces.

- **Accidentes, plagas y enfermedades**

El hecho de que el jacinto de agua esté catalogada a nivel mundial como una de las principales malas hierbas se debe no sólo a sus características de desarrollo (éxito de la progagación vegetativa y alta tasa de crecimiento relativo) sino también a su rusticidad en cuanto a accidentes, plagas y enfermedades. No tiene plagas ni enfermedades importantes, aunque en las zonas en las que el jacinto de agua no es deseable, se ha intentado su control biológico mediante enemigos naturales importados de su área de distribución natural, (coleópteros, lepidópteros y hongos) y peces predadores.

Cuando se implanta fuera de su área de distribución natural, el principal accidente que puede suceder es el de daños por bajas tem-

peraturas. La planta puede sobrevivir cuando se la expone 24 h a temperaturas del orden de 0.5 a  $-5^{\circ}\text{C}$ , pero muere si desciende por debajo de  $-6^{\circ}\text{C}$ .

- Cosecha

La remoción parcial de la población del jacinto de agua, con una cierta periodicidad, es necesaria no sólo para eliminar del sistema los nutrientes captados por las plantas sino también porque cuando sucede la cobertura total de la lámina de agua desciende mucho el oxígeno disuelto en el agua, se interrumpe el paso de la luz y el input de materia orgánica en el agua aumenta rápidamente por la pudrición de la biomasa vegetal. A modo de indicación se señala que en climas cálidos debe realizarse la cosecha parcial de las plantas cada 3 o 4 semanas.

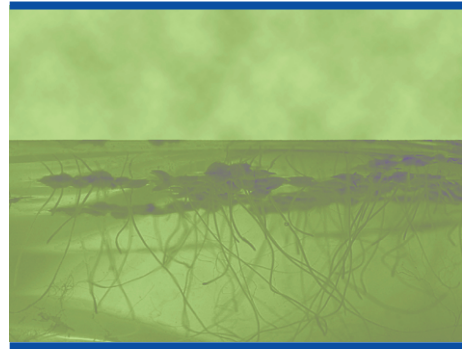
## 4.2. *Lemna* spp. (lentejas de agua)

### 4.2.1. Descripción

El nombre común de lenteja de agua se aplica a especies del género *Lemna* y otros géneros (*Spirodela*, *Wolffia*, *Wolffiella*) de la familia de las *Lemnaceae*, debido a que todas ellas son plantas acuáticas herbáceas flotantes no enraizadas de muy pequeño tamaño: son las plantas más pequeñas –hay especies de 1 mm de longitud– y de estructura más reducida de todas las angiospermas (= plantas con flor). Su distribución es prácticamente cosmopolita en ambientes acuáticos, y se consideran ‘eutróficas’ por cuanto que crecen en aguas eutrofizadas.

El aspecto externo de las *Lemnaceae* es el pequeños cuerpos verdes (de 1 a 15 mm de longitud), que salvo excepción, son más o menos redondeados; reciben una denominación específica: ‘frondes’, porque no hay distintivamente hoja y tallo; en la parte inferior del fronde pueden existir 1 raíz (*Lemna*), varias raíces (*Spirodela*), o ninguna (*Wolffia* y *Wolffiella*), dependiendo de la especie que se trae. Las raíces, en los géneros que las tienen, son también muy pequeñas, usualmente de longitud menor a 10 mm. El tamaño y la morfología del fronde, junto con la presencia o no de raíces, y otros

caracteres, sirven para identificar el género botánico del espécimen que se trate, ya que la floración muy rara vez se produce. Para su propagación, la planta se reproduce vegetativamente desarrollando nuevos frondes (frondes ‘hijo’) en la base del fronde madre. En la naturaleza es usual que en una misma localización crezcan al tiempo varias especies de *Lemnaceae*; este hecho, unido a las similitudes morfológicas entre ellas y al pequeño tamaño de los especímenes dificulta mucho la identificación a nivel de especie de la población.



Plantas individualizadas de *Lemna* minor, flotando en agua  
© M. D. Curt

### 4.2.2. Ciclo de desarrollo

En la naturaleza, la llegada de *Lemnaceae* a un determinado medio acuático se produce a través de un agente dispersador accidental, como pueden ser las aves, el hombre o la introducción de un flujo de agua que contenga algún fronde. La colonización del nuevo medio se produce rápidamente, siempre que las condiciones ambientales sean favorables para la especie. Como ya se ha indicado, el mecanismo de propagación de las *Lemnaceae* es vegetativo, mediante la formación de ‘frondes hijo’ a partir de un ‘fronde madre’. Este mecanismo es muy eficaz llegando algunas especies incluso a duplicarse en número en tan sólo 24 h. Además, un mismo fronde puede producir al menos 10-20 frondes más durante su vida. Por esta razón las *Lemnaceae* tienen una alta productividad potencial en biomasa.

### 4.2.3. Aplicación

En términos generales, aunque hay diferencias

entre las distintas especies, puede indicarse que las *Lemnaceae* crecen bien en medios acuáticos con contaminación orgánica o medios eutrofizados. La reproducción se ve muy activada por la temperatura. Por ejemplo, a 27°C el área colonizada por *Lemna* sp. se duplica cada 4 días.

Las *Lemnaceae* se pueden utilizar en sistemas acuáticos de tratamiento de aguas residuales, de modo semejante a la aplicación de los jacintos de agua. Estos sistemas suelen desarrollarse para el tratamiento de efluentes de lagunas facultativas, ya que permiten reducir eficazmente la concentración de algas del efluente, a consecuencia del efecto de sombreo creado por la cobertura de la lámina de agua. En Estados Unidos se han llevado a cabo eficazmente instalaciones de tratamiento de influentes de alta carga contaminante (420 mg/L de DBO<sub>5</sub> y 364 mg/L de sólidos en suspensión) con *Lemnaceae*. En relación con la remoción de nutrientes hay que indicar que el cuerpo vegetativo de las *Lemnaceae* tiene un alto contenido en nitrógeno total (4.6% de media y 7% máximo, sobre peso seco), por lo que si se obtiene una alta productividad en biomasa y se retira del medio acuático periódicamente, pueden removerse del agua cantidades significativas de nitrógeno. Con respecto al fósforo, hay que indicar que el contenido medio en la biomasa de *Lemnaceae* es del orden del 0.8%; la remoción de este contaminante dependerá igualmente de la productividad del sistema. Aproximadamente, un metro cuadrado de superficie de lámina de agua cubierta con *Lemna* equivale a 25 g de peso seco de biomasa. Suponiendo que se mantenga un ritmo de colonización de que cada 4 días se duplique la superficie, se podría remover del sistema mediante la cosecha periódica de la biomasa producida en la mitad de la superficie 1.16 g de N y 0.2 g de P cada cuatro días.

#### 4.2.4. Técnicas de manejo en los humedales artificiales

##### ● Implantación

La implantación de las lentejas de agua en los sistemas acuáticos de tratamiento de aguas residuales se realiza mediante la dispersión de una muestra de agua que contenga plantas de

*Lemnaceae*. En condiciones favorables, las plantas colonizarán el nuevo medio rápidamente por propagación vegetativa. Por ejemplo, un único ejemplar de *L. minor*, que ocupa un área superficial aproximada de 0.12 cm<sup>2</sup>, en menos de un año puede formar una colonia que cubra una superficie de más de 1 m<sup>2</sup> de la lámina de agua.

##### ● Accidentes, plagas y enfermedades

Las heladas pronunciadas afectan negativamente la población de lentejas de agua. Uno de los primeros efectos de las bajas temperaturas es la pigmentación rojiza de la población. Para *Lemna minor* se indica que tolera bien temperaturas medias invernales de 1 a 3°C, pero las plantas únicamente vegetan; es decir, el crecimiento de la población está interrumpido y la eficacia del sistema de tratamiento de las aguas puede verse comprometida, excepto en lo que se refiere al efecto del sombreo. Por otra parte, también cabe reseñar el efecto del viento sobre estos sistemas acuáticos de tratamiento. Las lentejas de agua son sensibles al viento por el pequeño tamaño de las plantas, con lo que puede ocurrir el desplazamiento de la población hacia una posición de la balsa, dejando parte de la lámina de agua al descubierto, y por tanto, reduciendo la eficacia del sistema.



*Estanque de agua de riego afectado por Lemna minor. Obsérvese la posición lateral de la masa de Lemna, como consecuencia del viento dominante.*  
© M.D. Curt

##### ● Cosecha

Como ya se ha indicado, es necesaria la remoción parcial de la población de las lentejas de agua con una cierta periodicidad, para eliminar del sistema los nutrientes extraídos por las plantas.

