



Universidad de Concepción

LAS FIBRAS VEGETALES Y SUS APLICACIONES

INNOVACIÓN EN SU GENERACIÓN A
PARTIR DE LA DEPURACIÓN DE AGUA

Gladys Vidal y Sujey Hormazábal

Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA-UDEC)
Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción
Diciembre 2016





"LAS FIBRAS VEGETALES Y SUS APLICACIONES.
Innovación en su generación a partir de la
depuración de agua"

Gladys Vidal - Sujey Hormazábal

Sello Editorial Universidad de Concepción

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra.
© Universidad de Concepción.
Registro de Propiedad Intelectual N° 272.242 año 2016.
ISBN 978-956-227-405-0
Primera edición: Diciembre 2016
Concepción, Chile.

Diseño Editorial:
Okey Diseño y Publicidad

Impresión:
200 ejemplares
Trama Impresores S.A.



CONTENIDOS

■ Presentación	4
■ Prefacio de las autoras	8
■ Agradecimientos	10
■ CAPÍTULO 1.	
Introducción a las fibras vegetales	11
■ CAPÍTULO 2.	
Aplicaciones de la fibra vegetal	20
■ CAPÍTULO 3.	
Plantas que crecen en humedales	36
■ CAPÍTULO 4.	
Plantas utilizadas en humedales subsuperficiales: proyección para la generación de fibra	61

PRESENTACIÓN



Carlos Ramírez

Un aciago día para la Universidad Austral de Chile fue el 4 de Diciembre de 2007, cuando un voraz incendio consumió el edificio de la Facultad de Ciencias, destruyendo muebles, equipos, colecciones, literatura, datos y recuerdos de innumerables vivencias acumuladas en más de 50 años de quehacer científico en Valdivia, la región, Chile y el mundo. El azar inherente a la vida me llevó a ser una de las tantas personas que quedaron “con lo puesto” y con años de sueños destruidos. Había que reinventarse, pero el dolor por la pérdida era inmenso.

En las circunstancias que acabo de describir recibí una amable carta de mi colega, Gladys Vidal, investigadora de la Universidad de Concepción y primera autora del libro que estoy prologando, invitándome a dar un pequeño curso sobre macrófitos, tema apasionante del cual veníamos investigando (y publicando) hacia cerca de 40 años. Era un desafío enorme, casi irrealizable, porque como acabo de narrar, había perdido todo el material que podía utilizar para ello.

Cómo catarsis acepté el desafío y el resultado fue una magnífica experiencia que me devolvió las ganas de continuar

con mi vida y mis estudios botánicos. Por esa razón, y con mucho agrado, acepté la nueva invitación hecha por la colega Vidal, de prologar esta valiosa obra, sobre sus importantes investigaciones y experiencias ingenieriles con macrófitos, como depuradores de aguas servidas, realizadas por el grupo de investigadores y colaboradores que conforman el GIBA-UDEC (Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental) de la Universidad de Concepción.

Los macrófitos son plantas vasculares acuáticas cuya importancia parte del hecho de ser un grupo anómalo con respecto de la mayoría de las plantas vasculares, que son vegetales terrestres. Los macrófitos volvieron al medio acuático primitivo (humedales) donde se inició la evolución de todas las plantas vasculares. Aunque corresponden sólo a un 1% de éstas, los macrófitos son muy importantes como productores primarios en ambientes acuáticos y palustres, principalmente dulciacuícolas. Además, entregan lugar de vida, de nidificación y refugio a una variada fauna avícola. Ellos son grandes purificadores del agua en que habitan, manteniendo con sus poblaciones las aguas en un estado transparente y saludable. Últimamente

este estado ha sido perturbado tanto por la eutrofización de las aguas, como también por el cambio climático que altera las condiciones de vida de este grupo de plantas que muestran escasa protección contras las injurias del ambiente, debido a que se han adaptado a un hábitat ideal que les regula la temperatura y asegura una permanente disponibilidad de agua, condiciones indispensables para el desarrollo de los vegetales. Algunos de nuestros cuerpos dulciacuícolas someros están sufriendo dicho cambio, transformándose en lagunas de aguas verdosas a veces, mal olientes y tóxicas, con un desarrollo explosivo del fitoplancton (floreCIMIENTO) y una desaparición de los macrófitos, especialmente aquellos acuáticos que viven sumergidos, con hojas natantes o que flotan libremente en el agua sin estar arraigados al sustrato.

Los macrófitos están en peligro y cualquier actividad que se realice para valorizarlos permitirá mantenerlos con vida, preservando sus hábitats. Por esta razón, con mucha satisfacción y entusiasmo estoy prologando este libro que al promover su cultivo, su utilización como depuradores y como proveedores de materia prima de

construcción y artesanía, está facilitando su sobrevivencia, llamando la atención sobre ellos y su importancia.

Los seres humanos sólo amamos, protegemos y respetamos aquello que conocemos y que de alguna manera, ayuda a mejorar nuestras vidas satisfaciendo nuestras necesidades. Al presentar una gran cantidad de macrófitos que podrían utilizarse con los fines mencionados, este libro está dándolos a conocer y con ello, ayudando a su conservación en términos ecológicos. En la tierra cada ser vivo, por grande o por insignificante que sea, cumple un rol muy importante en la conservación del equilibrio ecológico y especialmente en la estabilidad de nuestra atmósfera. Al desestabilizar dicho equilibrio, favoreciendo a aquellos que consumiendo alimento entregan dióxido de carbono al aire en detrimento de aquellos que producen alimentos utilizando el mismo compuesto, que retiran de la atmósfera, alteramos la composición del aire, lo que puede ser muy negativo y peligroso para los seres vivos. Algo tan simple puede ser consecuencia de un drástico cambio climático que podría provocar la muerte de muchos de los favorecidos, como les sucedió a los dinosaurios por ejemplo.

Este libro está contribuyendo a mejorar la condición anterior al incentivar el cultivo de macrófitos productores primarios, que además, al actuar como purificadores de agua, están evitando la eutrofización de ellas, condición preocupante que como se dijo actualmente afecta a muchos cuerpos acuáticos. Pero además están proponiendo soluciones innovadoras, al preocuparse del destino de la fibra producida por los macrófitos que de alguna manera debe ser desechada. Si la necromasa de las plantas cultivadas como depuradoras, queda en el mismo lugar o se deposita en vertederos cercanos, los nutrientes retirados de las aguas volverán al mismo cuerpo acuático revirtiendo nuevamente la eutrofización que se había reducido con su cultivo. Por ello es importante encontrar una utilización práctica a dichas fibras para que sean retiradas de los cultivos depuradores (artificial wetlands).

Como lo plantean mis colegas Gladys Vidal y Sujey Hormazábal, lo mejor sería fomentar su utilidad como materia prima artesanal, lo que también favorecería el desarrollo de la industria sin chimeneas, como se ha llamado al turismo. En otra fuente industrial es difícil utilizarlas, porque como muy bien dice el libro, es

imposible competir con fibras artificiales, cuyas propiedades son muy variables y su fabricación bastante más fácil, aunque a veces afecten el ambiente dada su larga permanencia como basura por su difícil descomposición en la naturaleza.

Felicito a las autoras y colaboradores del GIBA-UDEC por preparar este libro tan novedoso que a la vez resulta interesante y útil para que el ser humano aprenda a hacer sustentable su vida en este planeta, hasta ahora la única casa que tenemos.

Prof. Dr. Carlos Ramírez García
Investigador Adjunto
Departamento de Ecología
Facultad de Ciencias Biológicas
Pontificia Universidad Católica de Chile

Valdivia, enero de 2017

PREFACIO DE LAS AUTORAS



Gladys Vidal



Sujey Hormazábal

Los humedales construidos son una tecnología no convencional para el tratamiento de aguas servidas en condiciones de baja densidad poblacional. Sin embargo, la aplicación de esta tecnología no convencional o tecnología verde es posible debido a descargas que se realizan de la agricultura, autopistas, entre otras, en forma difusa a ecosistemas acuáticos. El mecanismo de depuración de estos sistemas es a través del metabolismo de las plantas y el consorcio bacteriano de sus raíces

(rizomas). La buena operación y control de estos sistemas tiene que ver con el manejo hidráulico, pero también con un manejo adecuado de dichas plantas.

Los humedales construidos utilizan la capacidad depurativa de plantas macrófitas, tales como *Phragmites sp.*, *Schoenoplectus sp.* y *Thypha sp.*, entre otras. Sin embargo, existen otras plantas, denominadas plantas ornamentales, tales como *Zantedeschia sp.* e *Iris sp.*, que bajo estas condiciones pueden florecer a partir de los nutrientes capturados de las aguas servidas y otros vertidos. Por esto mismo, una consecuencia de la depuración de las aguas es la generación de fibra, que puede tener diferentes usos.

Las fibras han tenido un gran protagonismo en el desarrollo de las civilizaciones. Dependiendo de la estructura y rigidez las fibras han sido utilizadas para construir islas, viviendas, tejidos e indumentaria y artesanía, entre otros. En este contexto, “Las fibras vegetales y sus aplicaciones: Innovación en su generación a partir de la depuración de agua” es la segunda entrega, como consecuencia de la ejecución del Proyecto INNOVA BIOBIO N° 13.3327-IN.IIP “Recuperación de agua mediante jardines

depuradores a partir de aguas servidas rurales: Aplicaciones innovadoras con impacto para la comunidad rural”. La información entregada ha sido ordenada en los cuatro siguientes capítulos:

- 1) Introducción a las fibras vegetales.
- 2) Aplicaciones de la fibra vegetal.
- 3) Plantas que crecen en humedales.
- 4) Plantas utilizadas en humedales subsuperficiales: proyección para la generación de fibra.

La publicación fue diseñada pensando en dar una nueva mirada a las fibras vegetales y entregar una revisión a las aplicaciones históricas. Este texto es de rápida lectura y muy fácil entendimiento, pues pretende ser de un amplio espectro de consulta.

Gladys Vidal y Sujey Hormazábal



AGRADECIMIENTOS

Las autoras y editoras agradecen al Fondo de Innovación Tecnológica de la Región del BíoBío, INNOVA BíoBío por el financiamiento del Proyecto INNOVA BIOBIO N° 13.3327-IN.IIP “Recuperación de agua mediante jardines depuradores a partir de aguas servidas rurales: Aplicaciones innovadoras con impacto para la comunidad rural” que ha hecho posible la realización del libro que se presenta.

La edición de este texto “Las fibras vegetales y sus aplicaciones: Innovación en su generación a partir de la depuración de agua” es el resultado de un proceso de aprendizaje del Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA-UDEC) de la Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-Chile, durante el cual nos hemos beneficiado de los aportes de instituciones y actividades de formación, investigación, seminarios y cursos de postgrados que se han realizado en esta Institución. Muy especialmente, las autoras y editoras desean agradecer a los estudiantes de pre y postgrado que están y han realizado sus trabajos de tesis de pregrado, doctorado y trabajos de postdoctorado relativos a la depuración de aguas servidas, que han favorecido a

la generación de conocimiento y avance en nuevas visiones que se han integrado en este manual.

Muy particularmente, las autoras agradecen a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT) y al Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería –CRHIAM– Proyecto CONICYT/FONDAP/15130015 de la Comisión de Ciencias y Tecnología de Chile (CONICYT) por el apoyo a la realización de tesis doctorales y postdoctorales en el tema específico de humedales construidos para la generación de conocimiento destinados a su implementación en áreas de baja densidad poblacional y cuya operación tiene como consecuencia ser una fuente de generación de fibra.

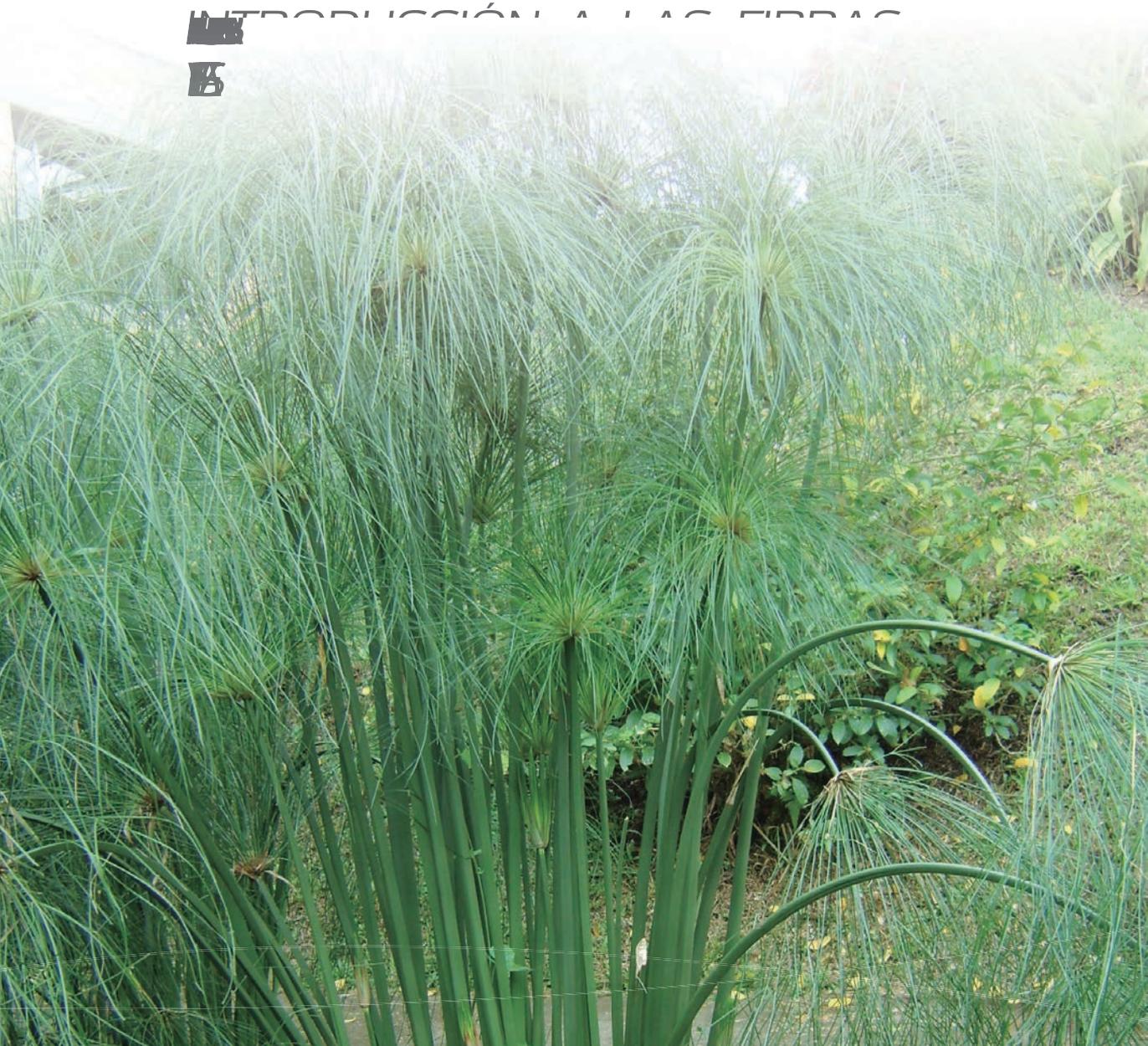


FIBRAS vegetales

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN A LAS FIBRAS

15



Las fibras vegetales están presentes en nuestra vida cotidiana, particularmente en los textiles y el papel o el cartón, en sus diversas modalidades (Chabbert *et al.*, 2010).

Históricamente, las plantas fibrosas han sido investigadas y aprovechadas para estos dos usos: el lino y cáñamo en Europa, la paja de arroz y el ramio en Asia, el agave, el yute y el algodón en la India, África o en América. Durante casi dos milenios, algunas de estas plantas han representado la única fuente de aprovisionamiento para los materiales fibrosos textiles y papeleros (Chabbert *et al.*, 2010).

Las revoluciones agrícolas e industriales de mediados del siglo XIX han perturbado este esquema. En efecto, la demanda creciente de fibras textiles ha sido colmatada por el desarrollo intensivo del cultivo de algodón; por otro lado, la mecanización y luego los progresos de la química de las macromoléculas han permitido utilizar los recursos forestales para usos papeleros y la síntesis de nuevas fibras textiles con celulosa regeneradas, como la viscosa (Chabbert *et al.*, 2010).

El conocimiento y explotación de las fibras vegetales ha sido de gran importancia para el avance de la civilización humana,

para algunos el más importante tras la utilización, manejo y domesticación de las plantas alimenticias. Las necesidades humanas básicas de vestimenta y cobijo para protegerse del medio en el que habitamos se han cubierto tradicionalmente, y en gran medida, con plantas de fibra en todas las culturas humanas. Además, las fibras vegetales han ocupado un lugar privilegiado en la cultura material de múltiples sociedades en el mundo, ya que han sido la materia prima básica para construir diversos utensilios de uso doméstico, herramientas de caza y pesca, fabricación de papel, materiales para cordelería, trenzado y tejido artesanal. En la actualidad el uso de las plantas de fibra continúa teniendo una gran importancia económica para todos los países, cobrando especial peso en sociedades rurales y campesinas repartidas por numerosos rincones del planeta. Pueblos enteros subsisten en lugares remotos alejados de grandes ciudades, donde los útiles elaborados con fibras vegetales se comercializan en pequeños mercados locales o se utilizan como intercambio o trueque por otros productos, aunque cada vez son más los objetos artesanales que se destinan a la venta como souvenirs a los turistas (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).



FIBRAS DE LA PLANTA

Las células fibrosas agrupan elementos pertenecientes a diferentes especies botánicas, órganos, tejidos o conjunto de células. Contribuyen a funciones esenciales en la vida de la planta, sostén (porte erguido) y conducción. Su diferenciación corresponde a propiedades adaptadas a los papeles concedidos a estas células. Las características morfológicas, de composición y fisicoquímicas de las fibras, presentan grandes variaciones según el origen de las células y su función en el seno de un tejido dado (Chabbert *et al.*, 2010).

Las fibras pertenecen a las Cormofitas que se diferencian de la Talofitas

(hongos, algas) por la existencia de un aparato vegetativo que comporta un tallo con hojas (Robert & Ronald, 1998). Más precisamente, la presencia de células fibrosas es una característica general de los vegetales vasculares (Traqueofitas) que han adquirido sistemas de conducción y de sostén (Chabbert *et al.*, 2010).

La Tabla 1 muestra una clasificación de plantas vasculares. Los vegetales con semillas predominan entre las plantas vasculares con dos grandes clases: Gimnospermas en las que la semilla está desnuda (coníferas) y las Angiospermas donde las semillas están confinadas en un fruto (árboles frondosos, plantas herbáceas) (Chabbert *et al.*, 2010).

Tabla 1. Plantas vasculares en el reino vegetal.

Plantas vasculares: Traqueofitas

Gimnospermas		Coníferas (pino, picea, alerce, etc.)
Angiospermas	Dicotiledóneas	Arboles frondosos (álamo, eucalipto, abedul, etc.,) Especies herbáceas (lino, cáñamo, yute, alfalfa, algodón, kenaf, etc.)
	Monocotiledóneas	Commelinoides (maíz, trigo, sorgo, bambú, palmera, arroz, estipa, etc.) No commelinoides (espárrago, jacinto, ajo, tulipán, orquídeas, etc.)

Fuente: Adaptado de Chabbert *et al.*, 2010.

PRINCIPALES TEJIDOS VEGETALES

La elaboración y el funcionamiento de una planta ponen en juego diferentes órganos (raíz, tronco, hoja, semilla) resultantes de la asociación de sistemas celulares en las funciones especializadas (Bowes, 1998): Los tejidos dérmicos constituyen la capa protectora de los vegetales y la zona de intercambio con el entorno (epidermis). Mientras que los tejidos parenquimatosos participan en el metabolismo del vegetal y representan la fracción mayoritaria de las hojas. Los tejidos de sostén confieren ligereza y rigidez a los órganos (esclerénquima, colénquima). Los tejidos conductores responsables de la circulación de la savia, constan de dos tipos de tejido: el floema (transporta la savia elaborada) y el xilema (transporta la savia bruta). El xilema diseña la madera de los árboles o la parte central lignificada de los tallos. Las fibras industriales están esencialmente asociadas a los tejidos de sostén y conducción.

Organización de los tejidos vegetales

La aparición de los tejidos vegetales se inicia por la generación (división y

diferenciación) de células vegetales a partir de meristemas (Robert & Catesson, 2000). Estos tejidos asegurarán la producción de nuevas células que adquirirán una función particular (protección, metabolismo, sostén, conducción de la savia) y a la cual se le denomina metabolismo primario (Chabbert *et al.*, 2010).

El crecimiento en espesor o crecimiento secundario de los tallos, está asegurado en las Dicotiledóneas y las Gimnospermas por el funcionamiento de un meristemo lateral secundario, el cámbium. Este crecimiento celular genera tejidos secundarios. El crecimiento anual del espesor de un tronco se ilustra por la presencia de los anillos concéntricos en la madera. En la primavera se forma una capa de madera porosa conteniendo elementos vasculares de gran tamaño; en verano donde el crecimiento es más débil, se crea una madera más densa con células más pequeñas. Esta distinción es más o menos marcada según la especie. En las dicotiledóneas herbáceas, la parte interna del tallo corresponde a la madera generada durante una estación (Chabbert *et al.*, 2010). Las Figuras 1 y 2 muestran el origen y organización de los tejidos vasculares de los tallos y organización de las células en el seno de los tejidos fibrosos, respectivamente.

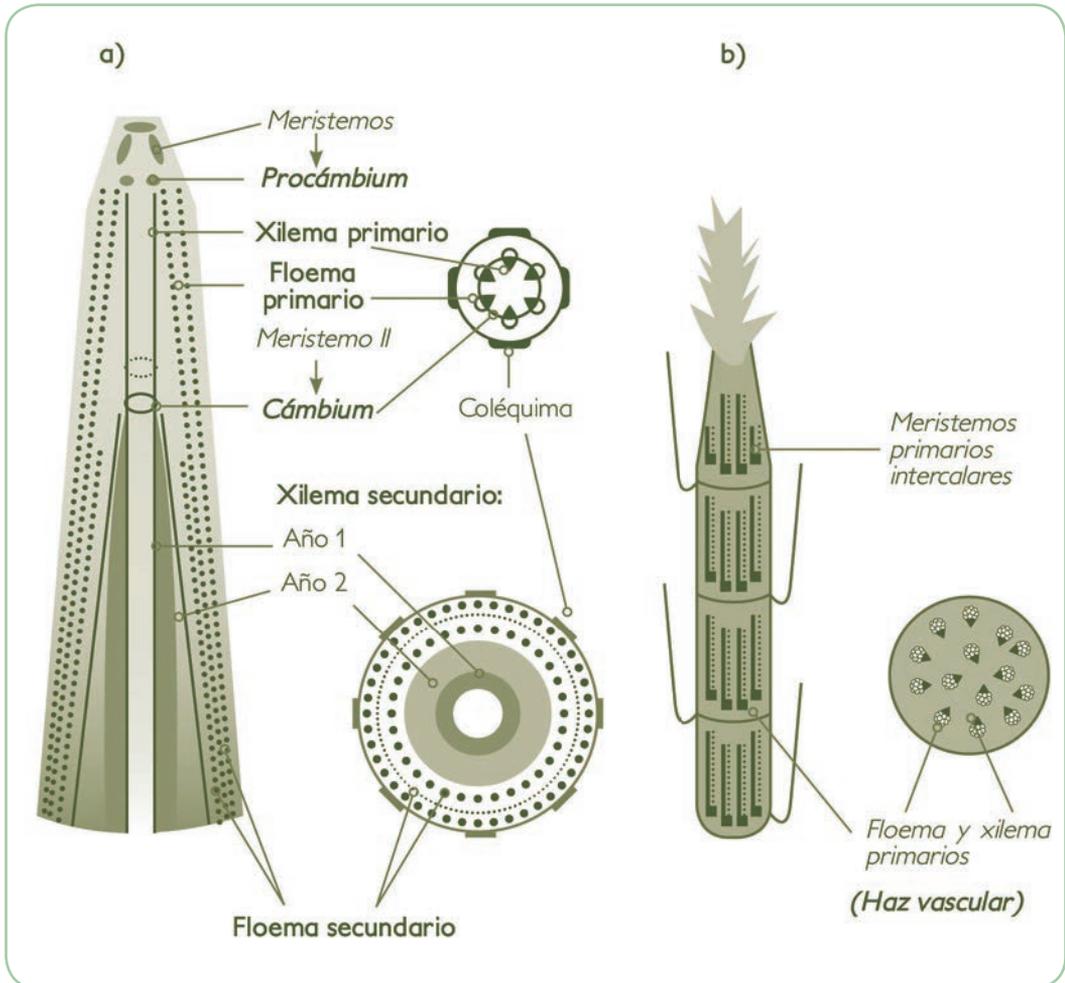


Figura 1.

Origen y organización de los tejidos vasculares de los tallos. A) Gimnospermas y angiospermas dicotiledóneas, B) Angiospermas monocotiledóneas. Fuente: Chabbert *et al.*, 2010.

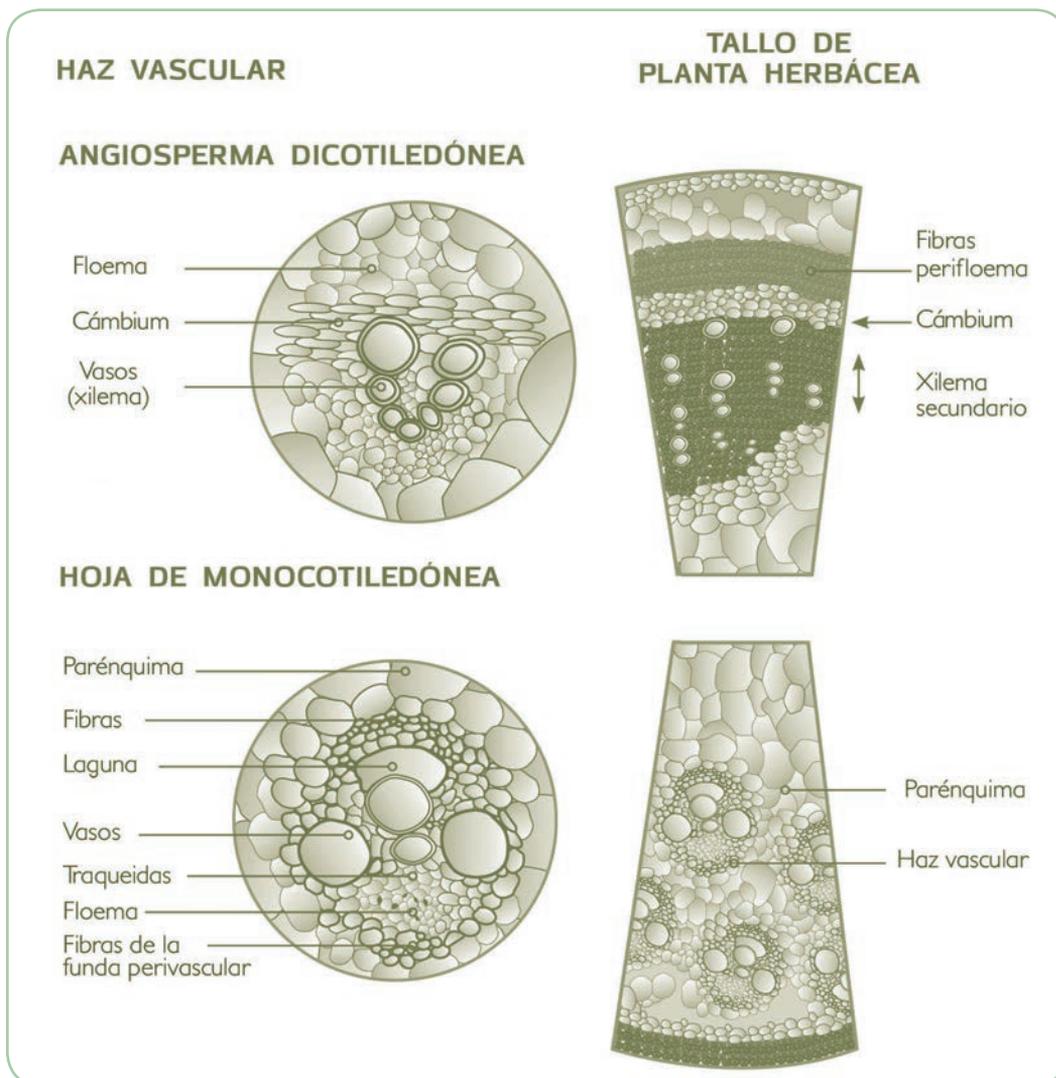


Figura 2.

Organización de las células en el seno de los tejidos fibrosos. Fuente: Adaptada de Catling & Grayson, 1982.

EXTRACCIÓN DE LAS FIBRAS VEGETALES

En primer lugar, es importante diferenciar las fibras naturales de las fibras sintéticas. Como su nombre lo indica, las primeras se obtienen a partir de elementos que se encuentran de forma espontánea en el medio natural, mientras que las fibras sintéticas se obtienen mediante procesos químicos y físicos más o menos complejos, dirigidos por el hombre, como es el caso del nylon, el rayón, el polietileno o el polipropileno (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).

Las fibras vegetales son parte de las fibras naturales y se pueden extraer de diferentes partes de las plantas, como hojas, tallos, semillas o frutos. En función de la localización de la fibra en la planta, habitualmente se las clasifica en dos grandes grupos: fibras blandas y fibras duras. Las fibras blandas son aquellas que se encuentran en los tallos de las dicotiledóneas (plantas con dos cotiledones en la semilla); en este grupo se incluyen el lino, el yute o el cáñamo. Por su parte, las fibras duras se obtienen principalmente a partir de las hojas de las monocotiledóneas (plantas con un único cotiledón en la semilla), donde se disponen en forma de haces que se

sobreponen unos con otros, lo que las hace más fuertes debido a su mayor grado de lignificación, esto es, que adquieren una mayor consistencia al acumularse más celulosa. Ejemplos de este tipo de fibras son las del esparto, la yuca o el sisal, entre otras. Aunque su localización más frecuente radica en los tejidos vasculares, hay quien establece una tercera categoría, denominada fibras de superficie, donde se incluyen aquellas fibras que corresponden a los pelos de la epidermis de la semilla, como ocurre por ejemplo en el caso del algodón (Macía, 2006).



Figura 3.

Extracción de las fibras vegetales desde las plantas. Fuente: Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009.

Con independencia de la parte de la que procedan y de las características particulares de cada fibra vegetal, la mayoría de ellas necesitan de una serie de labores comunes y más o menos complejas para su preparación y posterior uso. Secado, enriado, machacado y vareado son procesos habituales para la purificación de las fibras; durante la fase de peinado, rastrillaje o escardado, se separan las fibras de distintos tamaños y se

obtienen haces homogéneos. Finalmente, las fibras resultantes se convierten en un hilo continuo cohesionado y manejable, listo para ser tejido (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).

De manera más específica, se tiene que en los casos en que solamente se desea obtener la fibra de la planta, ésta se extrae principalmente a partir de dos métodos. El primero de ellos se



emplea para extraer las fibras blandas y se denomina enriado. Consiste en poner la materia prima a remojo en unas balsas con agua estancada, o bien directamente en el curso de los ríos con poca corriente. El proceso suele durar entre 1-3 semanas, dependiendo de la cantidad de materia prima y de la dureza de la fibra a extraer. Con ello se consigue que los tejidos blandos se descompongan por efecto de la degradación microbiana, dejando las hebras o hilos de fibra libres. Posteriormente se sacan del agua, se limpian, se lavan las fibras obtenidas y se dejan secar al sol. El segundo método se emplea normalmente para extraer las fibras duras y se denomina descortezación. Para ello se separa mecánicamente la corteza de los tejidos vegetales que contienen las fibras a mano o bien industrialmente con el uso de maquinaria. Posteriormente se secan al sol y finalmente la fibra se suele extraer mediante un proceso químico. Para ello se meten las fibras en agua con soda cáustica, fosfatos u otros químicos para eliminar las gomas y pectinas que contienen los tejidos de la propia fibra. Después se sacan del agua, se lavan y se dejan secar al sol (Macía, 2006).

CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS DE ACUERDO A LA CATEGORÍA DE USO

Los usos de las plantas de fibra registradas en la bibliografía se han agrupado en ocho categorías según Macía (2006):

I) Cestería: es la confección de productos tejidos con fibras vegetales, por ejemplo canastas, esteras, sombreros, ramos para Semana Santa o trampas para pesca; II) Cordelería: es el trenzado de fibras vegetales para elaborar cuerdas, sogas y otros materiales para ataduras y amarres; III) Techado de casas; IV) Fabricación de escobas; V) Material para el relleno de colchones, almohadas y utensilios para montar caballerías; VI) Textil: es la confección de productos a partir de la extracción de la fibra, mediante un proceso de hilado, entrelazado y/o tejido, por ejemplo para elaborar bolsos o shigras, ropa, calzado, telas o alfombras; VII) Construcción de embarcaciones; y VIII) Comercial: cualquier producto de fibra que se vende en los mercados locales.

CAPÍTULO 2

APLICACIONES DE LA FIBRA VEGETAL



Desde siempre el hombre ha explotado los recursos naturales de los que ha dispuesto en su entorno, sirviéndose de ellos para cubrir sus necesidades básicas y para la fabricación de útiles de todo tipo. Los vegetales constituyen una parte muy importante de estos recursos, siendo utilizados como materia prima a partir de la cual, mediante una manipulación, se obtienen las fibras vegetales. Un recorrido por las distintas y variadas utilidades que la sociedad en su evolución le ha dado a las fibras vegetales, nos permite vislumbrar la importancia que las plantas de fibra han tenido tanto en el Viejo como en el Nuevo Mundo, muchas de las cuales han trascendido fronteras y son hoy pieza clave en la industria manufacturera mundial (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).

CONSTRUCCIÓN DE ISLAS, CASAS Y EMBARCACIONES

Las fibras vegetales son ligeras, flexibles y resistentes, son renovables, biodegradables y sin riesgos de manipulación. Generalmente son más baratas que las fibras sintéticas y además su cultivo favorece el desarrollo de algunas regiones más empobrecidas del planeta. Uno de los sectores de mayor influencia económica, el de la construcción, está

dando pasos importantes encaminados a la sustitución de elementos contaminantes y difícilmente reciclables por otros cuya producción supone un menor impacto ambiental, son reutilizables y con un bajo coste energético (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).

La Totora

La forma de vida de los Uros, un pueblo antiguo nativo del lago Titicaca, gira en torno a la totora o *Schoenoplectus californicus*. Esta tribu sudamericana construye con esta planta: I) Pequeñas embarcaciones para pescar y también para recolectarla ya que crece en las zonas más profundas de los lagos; II) Arriendan embarcaciones de mayor tamaño para el transporte de turistas, donde pueden viajar unas veinte personas; III) Emplean la totora para construir pequeñas islas flotantes sobre las que viven, y con la misma fibra se hacen sus propias viviendas; IV) Los tallos se emplean para tejer esteras, que comercializan en los mercados locales y también las usan como paredes, techos y para dividir las habitaciones de sus pequeñas chozas; V) Confeccionan además toda una serie de objetos de totora para su venta como artesanías (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).



Figura 4.
Isla flotante hecha con totora por los uros. Fuente: Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009.



Figura 5.
Vivienda fabricada con totora, por los uros. Fuente: Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009.

Fique y otras fibras

La fibra de fique (*Furcraea macrophylla* Baker) es uno de los ejemplos más ilustrativos de este cambio de enfoque. Apartada y reemplazada por fibras sintéticas, vuelve hoy a revalorizarse, ya que se trata de una fibra biodegradable cuyo proceso de obtención es mucho menos contaminante que el del amianto.

Su utilización en bioconstrucción conlleva una importante disminución en los costos de las viviendas mejorando además su calidad, todo lo cual abre un futuro de mucha proyección para su empleo, posibilitando el impulso y recuperación de economías maltrechas que pueden encontrar en su producción y exportación un factor de desarrollo muy importante (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).



Figura 6.

Estructura construida utilizando fibras vegetales. Fuente: GIBA-UDEC.

Como fibra biodegradable, el uso del fique se ha intensificado y extendido a muchos campos de actividad, desde la industria geotextil hasta la decoración, donde se utiliza como musgo ecológico en sustitución del natural en pesebres y stands de tiendas y almacenes. La fibra de fique se emplea de manera habitual como agrotexil y su característica de biodegradabilidad la convierte en elemento esencial en la construcción y en los procesos de revegetación



Figura 7.

Rollo de geotextil elaborado con fibra de fique, utilizado para revegetar taludes difíciles en obras de infraestructura. Fuente: Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009.

compensatorios de las grandes obras de infraestructura, a la par que ayuda a reducir los daños por erosión en carreteras, vías, oleoductos y gasoductos (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).

No todos los esfuerzos de innovación con fibras vegetales en el campo concreto de la bioconstrucción se centran en el fique. Para los tableros de la construcción se utiliza fibra de madera y bagazo (la fibra de la caña de azúcar) mediante un proceso similar al de la fabricación del papel. Es más, muchos desarrollos tecnológicos están utilizando otras fibras como el cáñamo (*Cannabis sativa* L.) o el kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) con excelentes resultados y perspectivas muy positivas. Los avances en técnicas y productos en materiales de aislamientos constructivos o incluso en la decoración resultan más que notables, aislantes acústicos y térmicos realizados en cáñamo y pavimentos compuestos de yute, bambú y en algunos casos combinaciones de estos con lana y algas, empiezan a ser reconocidos por sus elevadas calidades. De la misma forma, el sector de la construcción no es exclusivo como ámbito de aplicación de las fibras vegetales en la industria; por el contrario, la variedad y calidad de sus funcionalidades va extendiendo su empleo a otros sectores, algunos de

tecnología punta, como el textil o el de los automóviles, que están realizando grandes esfuerzos económicos y tecnológicos para incorporar desarrollos innovadores a sus materiales y productos a partir del uso de las fibras de origen vegetal, potenciando así su empleo y aplicación industrial (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).

Todo hace pensar que el futuro de las fibras vegetales, tras su olvido en las últimas décadas, es de nuevo prometedor, y cada vez serán más los objetos cotidianos que nos rodean que se volverán reciclables y biodegradables y detrás de los cuales volverá a haber plantas en su origen.



Figura 8. Panel aislante elaborado con cáñamo y utilizado para la construcción. Fuente: Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009.

El Bambú

Las casas de bambú no sólo son viviendas sostenibles sino que además pueden contribuir a la lucha contra el cambio climático, ya que las plantaciones necesarias para su construcción son auténticos sumideros capaces de fijar el dióxido de carbono (CO₂).

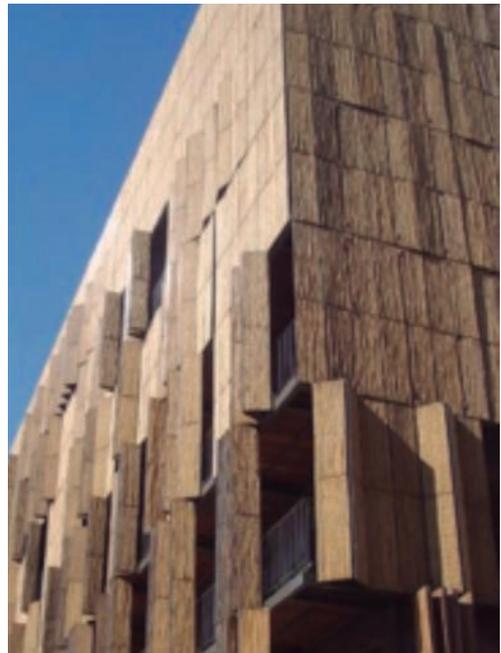


Figura 9. Edificio de viviendas en Carabanchel, Madrid, construido con bambú. Fuente: Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009.

La Paja

En la figura 10 se aprecia una Ruca Mapuche. Esta construcción es sobre la base de materiales que ofrece la naturaleza en el lugar que se emplaza, por ejemplo: están formadas por paredes de tablas o de varas de coligüe, reforzadas

por dentro con postes de madera y se tapizan con totora. El techo es de junquillo o de algún pasto semejante a paja brava. Estas rucas tradicionales de paja funcionan muy bien térmicamente, y los mapuches las prefieren hasta la actualidad (Franco, 2014).



Figura 10.
Fotografía de una Ruca Mapuche. Fuente: Franco, 2014.

Pino Radiata

Este tipo de madera presenta una albura blanco-amarillenta y un duramen rojizo. Tiene anillos de crecimiento muy notorios y anchos, con paso gradual entre madera de primavera y verano. Posee textura gruesa y abundancia de nudos, además de un olor resinoso. Es permeable y, por lo tanto, fácil de secar y de impregnar. Esta madera

es especial para fabricar elementos estructurales laminados encolados, se utiliza en revestimientos tanto interiores como exteriores, en construcción de viviendas (cerchas, paneles, pisos, cielos, etc.), en postes para cerco, fabricación de embalajes y muebles, en moldajes para concreto. También se utiliza como materia prima para pastas de celulosa y papel (Centro de Transferencia Tecnológica Pino Radiata, 2003).

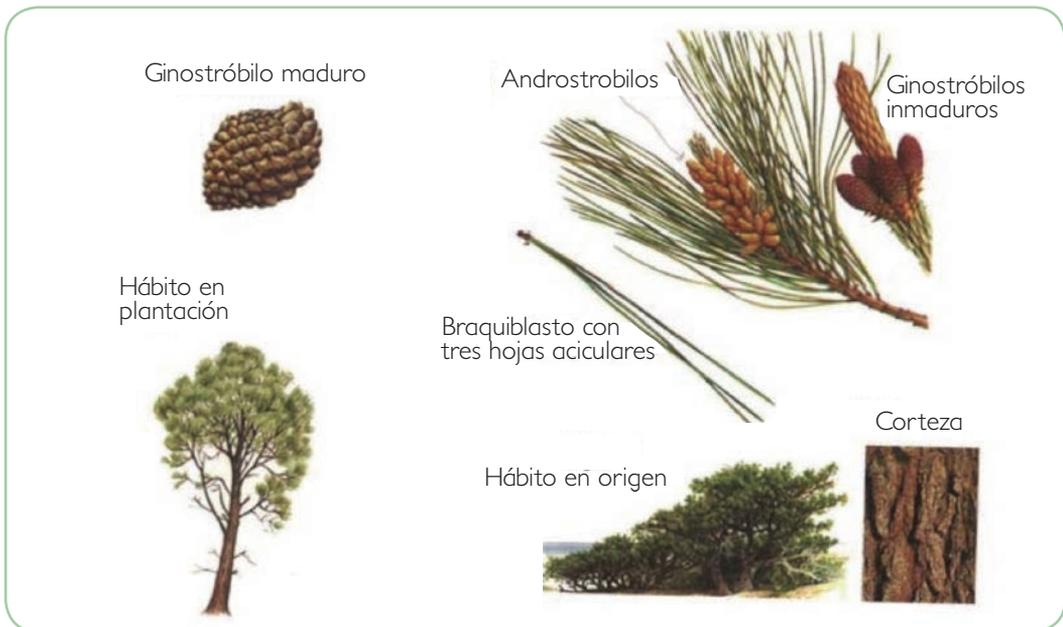


Figura 11.

Pinaceae: *Pinus radiata*. Principal especie exótica plantada en Chile. Fuente: Teillier, 2016. .

TEJIDOS e INDUMENTARIA

Hace cientos de años, numerosas culturas descubrieron las fibras, separadas y procesadas de distinta forma, como la parte más útil de las plantas para hacer ropa, mostrando un sofisticado conocimiento de los materiales que utilizaban para ello. Las características físicas de las fibras vegetales (largas, flexibles y resistentes) las hacen especialmente idóneas para elaborar tejidos. Las fibras textiles de mayor repercusión económica son el lino y el algodón (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).

El Algodón

El comienzo del uso de la fibra de algodón como materia prima para la industria textil se localiza en la India, donde se hilaba, tejía y teñía para obtener unas prendas de alta calidad. Las diferentes especies de algodón se distribuyen desde tiempos remotos por América tropical, Asia y África, siendo su cultivo de los más antiguos que se conocen. Su uso se fue extendiendo lentamente por Europa y ya en el siglo IX d.C. los árabes lo cultivaban en España. En el mundo se producen unos 25 millones de toneladas de algodón al año, un volumen cinco veces mayor que

el de todas las demás fibras naturales juntas (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).



Figura 12. Planta de algodón. Fuente: Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009.

El Lino

Se trata probablemente de la primera fibra vegetal utilizada por el hombre, muy apreciada a lo largo de la historia ya que debido a su complicada obtención y manipulación, su empleo ha sido siempre considerado sinónimo de poder y prestigio. El mayor productor de fibra de lino es Rusia, que acapara el 80% de la producción mundial. La fibra de lino se caracteriza por su altísima resistencia, tenacidad, dureza y versatilidad, lo que hace que sean múltiples las utilidades que se pueden dar a los tejidos fabricados con ella, empleándose para elaborar:

- I) Prendas de vestir
- II) Tapicerías
- III) Cortinas
- IV) Mantelería
- V) Todo tipo de paños de cocina
- VI) Toallas
- VII) Lienzos para pintores
- VIII) Sacos especiales para correos
- IX) Recubrimientos industriales para ciertos alimentos (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).



Figura 13.
Flor de lino. Fuente: Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009.

ARTESANÍA

Casi todos los objetos que se utilizan en la actualidad pueden realizarse fácilmente con plástico derivado del petróleo, en grandes fábricas donde el producto pasa a través de interminables cadenas de producción hasta alcanzar su estado final de comercialización. Los artefactos producidos de esta manera casi siempre realizan perfectamente su función, pero, por el contrario, no pueden compararse con aquellos otros con la misma utilidad, pero elaborados a mano, en los que la textura de algún material natural se combina con la destreza y el cuidado de un artesano. Por otro lado, la duración de los productos plásticos industriales suele ser corta, por lo que el planeta se llena con objetos de plástico degradados y destrozados, cuya producción lo contamina a una escala que nunca antes se había conocido. Son muchas las fibras vegetales que se han utilizado con fines artesanales a lo largo y ancho del mundo, como por ejemplo: I) El esparto (*Stipa tenacissima* L.); II) El fique (*Fucrea macrophylla* Baker); III) La damagua (*Poulsenia armata* (Miq.) Standl.) utilizada en la artesanía para fabricar hamacas, cestos, velas y canoas; IV) El chiqui-chiqui (*Leopoldinia piassaba* Wallace) que los indígenas amazónicos

utilizaban para fabricar esteras, escobas y cestas, generando el arte cestero del “arawak”, aún hoy vigente; V) La iraca (*Carludovica palmata* Ruiz & Pav) para tejer canastas; VI) La pita (*Aechmea magdalenae* André) de gran uso por los indígenas mayas para atar puntas de flecha y fabricar objetos ceremoniales; VII) La yuca (género *Yucca* L.); y VIII) El mimbre (género *Salix* L.); entre otros (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).



Figura 14.

Cestos artesanales de esparto. Fuente: Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009.

El Mimbre

Es la fibra vegetal obtenida de varias especies del género *Salix*, entre las que se encuentra *S. fragilis* o mimbrera, un arbusto originario del este de Europa y oeste de Asia. Ha sido muy utilizada desde hace más de 5000 años por chinos,

sirios, egipcios y romanos para producir muebles, cestos o escudos, perviviendo su empleo hasta la actualidad en la producción de muebles o cestería, aunque su cultivo y uso se ha reducido por la aparición de otros materiales sintéticos más baratos (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).



Figura 15.
Mimbre (*Salix fragilis* L). Fuente: Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009.



Figura 16.
Artesanías de mimbre. Fuente: Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009.

La Ñocha

Eryngium paniculatum es una planta común en Chile que antes se encontraba en abundancia en el sotobosque del sur. Aunque su distribución es americana, el pueblo Mapuche elabora muchos elementos utilitarios con la hoja de la ñocha que después de un tratamiento se

aplica en canastos, recipientes y figuras. Hoy la Ñocha en algunos lugares ha desaparecido por la invasión del bosque de pino insigne que se ha transformado casi en un monocultivo, reemplazando al bosque nativo. Esta fibra es empleada en diferentes utensilios de uso del pueblo mapuche y comercializado como artesanía (Tierra Adentro, 2016).



Figura 17.
Servilletero en ñocha. Fuente: Manos del Alma, 2016.



Figura 18.
Cubre alimentos en ñocha. Fuente: Manos del Alma, 2016.

Las plantas de fibra de América del Sur

El uso y manejo de las plantas de fibra ha sido de capital importancia para el avance de la civilización humana. De acuerdo a una revisión realizada por Macía (2006) sobre los usos de las plantas de fibra en Ecuador, Perú y Bolivia, las categorías de uso que tuvieron un mayor número de especies fueron cestería (35), cordelería (19), techado de casas (19) y fabricación de escobas (18). En la actualidad, el uso de las plantas de fibra tiene gran importancia en las sociedades rurales y campesinas andinas porque ofrecen multitud de recursos domésticos para gente con escasos recursos económicos. Los productos de cestería, cordelería y textiles conforman una parte importante de la cultura material de la región andina. Los productos elaborados con *Agave americana*, *Arundo donax*, *Aulonemia queko*, *Furcraea andina*, *Heteropsis ecuadorensis*, *Juncus arcticus* y *Schoenoplectus californicus* se comercializan en los mercados locales o nacionales y su explotación representa una buena fuente de ingresos económicos para las familias que trabajan intensivamente con las plantas. Las monocotiledóneas o plantas de fibra dura tuvieron mayor importancia

comercial que las dicotiledóneas o plantas de fibra blanda. En Ecuador se registró el mayor número de especies de plantas de fibra y el mayor número de especies comercializadas (Macía, 2006).

TRANSMISIÓN DE LA CULTURA

La escritura es desde la antigüedad el sistema que permite al hombre transmitir y hacer perdurables conocimientos, información y cultura, utilizando para ello diferentes soportes que han ido evolucionando a lo largo de los siglos, tratando de economizar medios y esfuerzos en su obtención, al tiempo que se innovaba en sus características técnicas y se mejoraba progresivamente su eficacia y utilidad (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).

Fibras destinadas a la escritura

A través de la escritura, las distintas sociedades distribuidas por todo el mundo han podido, durante el transcurso de los años, dejar su legado a las generaciones posteriores. La escritura ha ido evolucionando con el paso de los tiempos. Con anterioridad al papiro, fueron las tablillas de madera los primeros soportes de escritura de origen vegetal utilizados por el hombre. El papiro es

considerado por muchos historiadores como el antecesor del que actualmente es el tipo de soporte más utilizado, el papel, un producto básico caracterizado por su versatilidad, moldeabilidad, ligereza y fácil almacenamiento. Para la elaboración del papel se puede emplear prácticamente cualquier tipo de residuo vegetal, lo que hace que se obtenga papel de calidad muy diversa en función de la materia prima utilizada. Son múltiples las fibras vegetales utilizadas para la obtención del papel, por ejemplo, I) La crotalaria (*Crotalaria juncea* L.); II)

La sansevieria (género *Sansevieria* Thunb sp. pl.); III) El kenaf (*Hibiscus cannabicus* L.); IV) El yute (género *Corchorus* L. sp. pl.); V) El algodón y el lino son la base de algunos papeles rugosos de calidad; VI) Las gramíneas, el cáñamo, el yute y el cáñamo de Manila, se utilizan para fabricar papel de embalaje y otros de menor calidad; y VII) El papel de los periódicos y el tipo kraft se fabrican con fibra de eucalipto y pino tratada químicamente (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).



Figura 19.
Papiro (*Cyperus papyrus* L.) Fuente: Jardín Botánico de Gijón, 2009

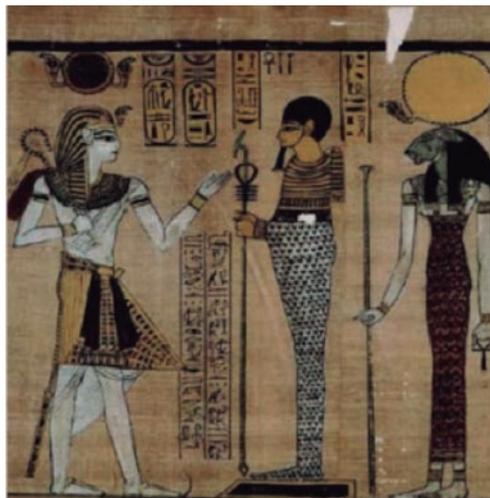


Figura 20.
Representación en papiro del rey Ramsés III. Fuente: Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009.

Eucalipto

El eucalipto ha sido muy utilizado para realizar plantaciones forestales debido a su rápido crecimiento (10-14 años), su fácil adaptación a terrenos difíciles y la alta rentabilidad derivada de su cultivo, constituyendo en la actualidad la especie forestal de mayor interés para la producción de pasta de papel. La fibra del eucalipto tiene poca longitud, por lo que la pasta de eucalipto es una materia prima ideal para la fabricación

de papeles de impresión y escritura, además de que su mayor porosidad favorece la absorción de tinta en el proceso de impresión y mejora la capacidad de secado, favoreciendo la penetración del vapor a través de la misma, lo que incrementa la velocidad de producción. Las características superficiales del papel obtenido también mejoran, disminuyendo la rugosidad y aumentando la lisura (Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009).

capÍTULO 3

PLANTAS QUE CRECEN EN HUMEDALES



En los cuerpos de agua dulce continentales se encuentran principalmente dos tipos de vegetales que pertenecen a dos distintos grupos taxonómicos. Al primer grupo pertenecen las algas que aquí se manifiestan como pequeños organismos, generalmente unicelulares y microscópicos, que forman parte del plancton dulceacuático. Al segundo grupo pertenecen las plantas vasculares acuáticas, también llamadas macrófitas (Rodríguez & Dellarossa, 1998).

PLANTAS VASCULARES ACUÁTICAS

Una planta vascular acuática se define como todo aquel vegetal cormófito (con raíz, tallo y hojas), que habita permanentemente en ambientes inundados, ya sea sumergido o emergente en lagos, lagunas, ríos, arroyos y estuarios. La mayoría de las especies mencionadas habitan en aguas dulces y sólo algunas soportan la salinidad que se encuentra en la cercanía del mar. Biológicamente se las ha clasificado en tres grandes grupos (Rodríguez & Dellarossa, 1998).

Plantas libres flotantes

Son aquellas cuyo cuerpo vegetativo flota total o parcialmente, pudiendo estar también bajo la superficie del agua.

Plantas sumergidas

Son aquellas especies cuyo cuerpo vegetativo está inmerso en el agua, y están arraigadas al sustrato. Las flores y hojas pueden flotar en la superficie del agua.

Plantas emergentes

Son aquellas que poseen gran parte del cuerpo vegetativo fuera del agua, pero las raíces y parte de tallos y hojas de encuentran sumergidas.

Estas plantas vasculares acuáticas han conquistado el ambiente hídrico después de muchos años de adaptación, las cuales originalmente se restringen en áreas especiales del planeta. Por su capacidad de colonización, muchas de ellas aparecen en todos los medios acuáticos similares disponibles en todos los continentes, presentando una distribución cosmopolita (Rodríguez & Dellarossa, 1998).



Figura 21.
Macrófitas. Fuente: Ji, 2008.

Las plantas acuáticas juegan un importante rol en el ciclo de vida de los peces. Algunas plantas, por ejemplo *Lemna gibba*, son ingeridas directamente, en cambio otras especies de peces se alimentan de las algas epífitas que crecen en la superficie de las plantas vasculares acuáticas. La vegetación acuática también contribuye en dar sustrato a un gran número de insectos y otros invertebrados que participan en las

cadena trófica de animales superiores. Las plantas vasculares acuáticas acumulan gran cantidad de nitrógeno y fósforo en sus tejidos y por esto se pueden utilizar para mejorar los suelos. Además del uso de las plantas en la agricultura, éstas pueden ser útiles como reguladores del ambiente acuático por la capacidad de captar metales pesados purificando de esta manera el medio que la rodea (Rodríguez & Dellarossa, 1998).

A continuación se presentan ejemplos de plantas vasculares acuáticas y algunas de sus características:

Alisma lanceolatum (Llantén de agua, Hualtata)

Es una planta emergente de hasta 70 cm de altura que se caracteriza por tener hojas largamente pecioladas, lanceoladas y que juntas forman una roseta basal. Además, presenta una lámina de 5-15 cm de largo con ápice agudo y flores de color rosado. Se encuentra sobre sustrato fangoso, en cuerpos de agua de poca profundidad y escasa corriente, soportando cierto grado de eutrofización (Rodríguez & Dellarossa, 1998).



Figura 22.

Esquema de *Alisma lanceolatum*. Fuente: Rodríguez & Dellarossa, 1998.

Asclepias incarnata (Swamp milkweed)

Planta con una altura de hasta 2 metros y distribución geográfica a través de América del Norte Oriental junto con la existencia de ecotipos locales. Características generales: I) Se utiliza como una fuente de alimento por las orugas de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*); II) Evitado por el venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*); III) Capullos de color rosa brillante durante la época de floración; y IV) Buena alternativa ornamental en casos donde el pastoreo de los ciervos es un problema (Wallace & Knight, 2006).

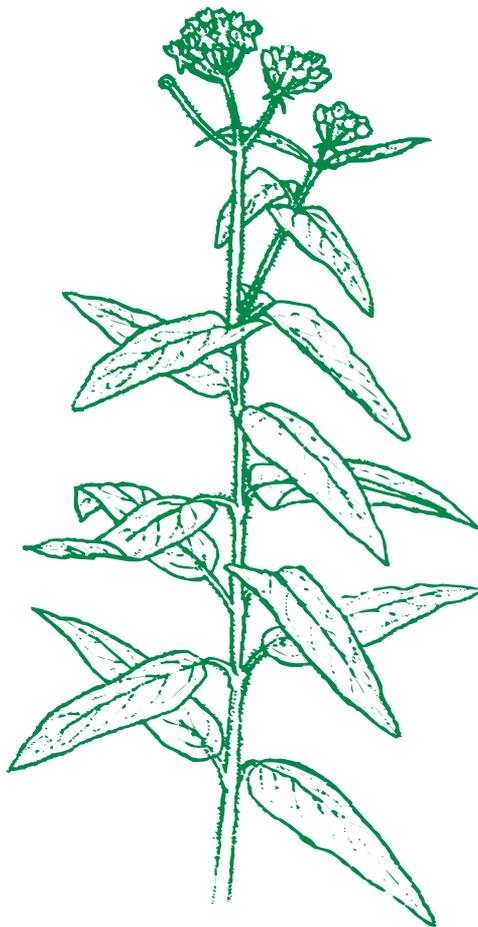


Figura 23.

Esquema de *Asclepias incarnata*. Fuente: Wallace & Knight, 2006.

Azolla filiculoides (Flor del pato)

Helecho heterospóreo, libre flotante. Plantas pequeñas con tallo corto, delgado y cilíndrico. Hojas de 1 mm de largo, sésiles, profundamente bilobuladas,

fuertemente imbricadas y comprimidas. Es de crecimiento rápido durante la primavera-verano, proliferando hasta cubrir grandes extensiones en la superficie del agua, lo que provoca molestias y daños en el lugar donde vive (Rodríguez & Dellarossa, 1998).

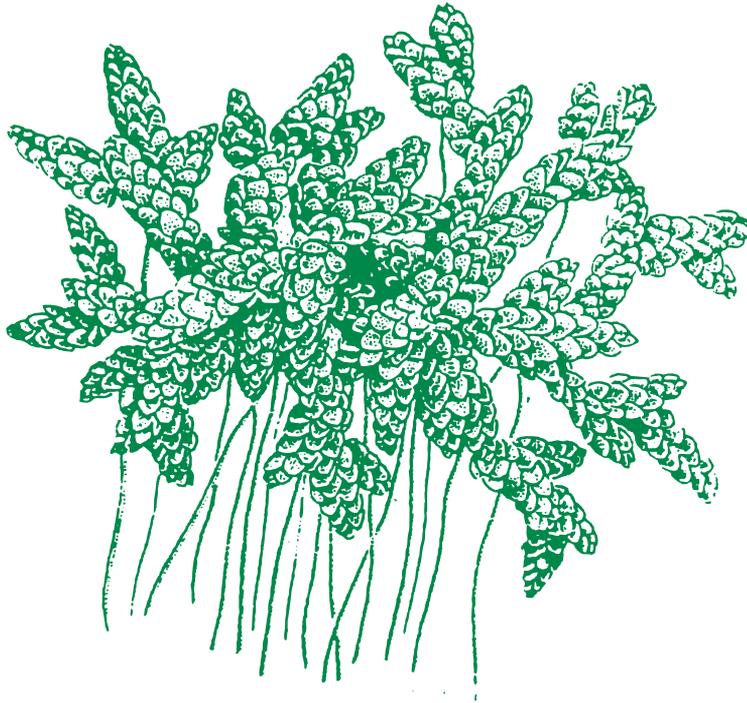


Figura 24.
Esquema de *Azolla filiculoides*. Fuente: Rodríguez & Dellarossa, 1998.

Canna spp. (Canna lily)

Planta con una altura de hasta 3 metros y distribución geográfica mundial a través de viveros comerciales. Características generales: I) Es perenne en zonas subtropicales sin morir durante las heladas; II) Tallos y hojas suculentas susceptibles a daños por insectos; y III) Planta de alto mantenimiento pero con alto valor estético (Wallace & Knight, 2006).



Figura 25.

Esquema de *Canna spp.* Fuente: Wallace & Knight, 2006.

Ceratophyllum demersum (Hilo de agua)

Planta sumergida con tallos ramificados. Hojas verticiladas, divididas en segmentos lineares, como hilos, finamente dentadas en los márgenes. Flores unisexuales, solitarias en los verticilos. Es frecuente en los arroyos de aguas tranquilas y lagunas (Rodríguez & Dellarossa, 1998).

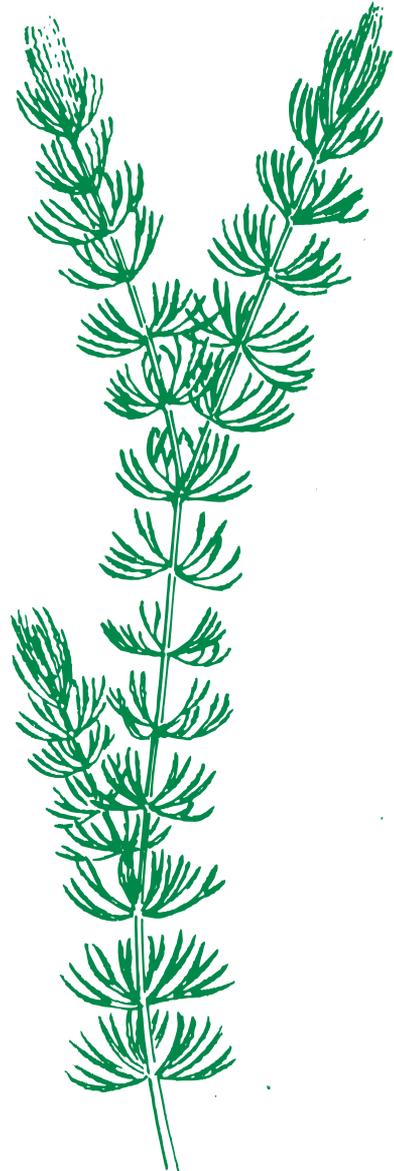


Figura 26.
Esquema de *Ceratophyllum demersum*. Fuente:
Rodríguez & Dellarossa, 1998.

Colocasia esculenta (Taro, Elephant ear)

Planta con una altura de hasta 2 metros y distribución geográfica mundial (subtropical). Características generales: I) Fuente de alimento básico en la Polinesia y el Sudeste Asiático,

creciendo durante siglos como parte de los sistemas tradicionales de acuicultura; II) Puede extenderse y dominar los humedales; III) Los tubérculos contienen ácido oxálico, que es irritante para la piel expuesta; y IV) Con las primeras heladas muere, cayendo completamente al suelo (Wallace & Knight, 2006).



Figura 27.
Esquema de *Colocasia esculenta*. Fuente: Wallace & Knight, 2006.

Cyperus alternifolius (Umbrella Palm)

Planta con una altura de hasta 1.2 metros y distribución geográfica alrededor de todo el mundo, en áreas subtropicales. Características generales: I) Bajos requerimientos de mantenimiento; y II) Tolera condiciones de sombra mejor que la mayoría de las plantas de humedales (Wallace & Knight, 2006).



Figura 28.
Esquema de *Cyperus alternifolius*. Fuente: Wallace
& Knight, 2006.

Egeria densa (Luchecillo)

Planta sumergida. Hojas sésiles, dispuestas en verticilos en los nudos, en grupos de 4-5, las superiores de 12-40 mm de largo. Flores unisexuales, blancas, llamativas, que sobresalen de la superficie. La planta fue introducida en Chile en la década del 70, convirtiéndose en una maleza muy seria que se encuentra a orillas de lagos y ríos (Rodríguez & Dellarossa, 1998).

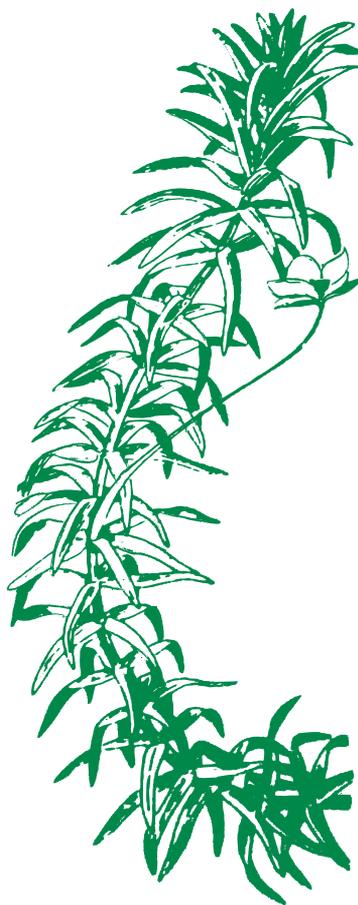


Figura 29.

Esquema de *Egeria densa*. Fuente: Rodríguez & Dellarossa, 1998.

Eichhornia crassipes (Jacinto de agua)

Planta flotante. Hojas en roseta con la lámina circular, flores azules o liliáceas,

dispuestas en una inflorescencia en forma de espiga. Se le ha utilizado con éxito en lagunas de tratamiento de residuos líquidos de la industria forestal (Rodríguez & Dellarossa, 1998).



Figura 30.
Esquema de *Eichhornia crassipes*. Fuente: Rodríguez & Dellarossa, 1998.

Iris versicolor (Iris, Blueflag Iris)

Planta con una altura de hasta 1.2 metros y distribución geográfica al este de América del Norte. Características

generales: I) Fácil de establecer cuando las plantaciones se realizan a partir del rizoma; II) Crece en grupos a partir del rizoma originario; y III) Los rizomas pueden ser irritantes para la piel descubierta (Wallace & Knight, 2006).

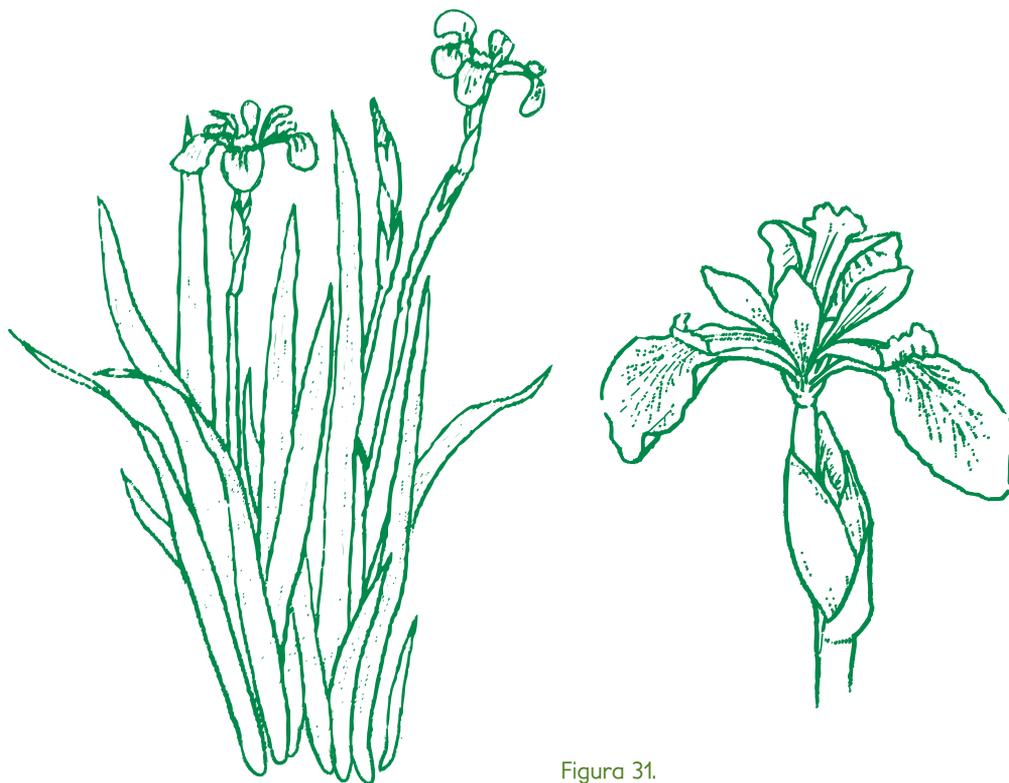


Figura 31.

Esquema de *Iris versicolor*. Fuente: Wallace & Knight, 2006.

Phalaris arundinacea (Reed Canarygrass)

Planta con una altura de hasta 1.5 metros y distribución geográfica desde Alaska meridional hasta Terranova, del sur a Carolina del Norte, Kansas y sur de California. Características generales: I) Muy fácil de establecer, se difunde rápidamente y crea condiciones de monocultivo; II) No se recomienda su uso por parte de algunos organismos de recursos naturales en los Estados Unidos; y III) Tiende a acumular grandes alfombrillas de detritos vegetales (Wallace & Knight, 2006).



Figura 32.
Esquema de *Phalaris arundinacea*. Fuente: Wallace & Knight, 2006.

Phragmites australis (Common Reed)

Planta con una altura de hasta 5 metros y distribución geográfica alrededor de todo el mundo (existen sobre 100 ecotipos genéticamente distintos). Características generales: I) Se utiliza casi exclusivamente en Europa, donde *Phragmites* (caña común) tiene una larga historia de uso cultural; II) Debido a la naturaleza

agresiva de algunos ecotipos en cuanto a propagación, no se aconseja su uso por parte de algunos organismos de recursos naturales de los Estados Unidos; III) La viabilidad de la semilla es generalmente muy baja, por lo que el principal método de propagación es a través de fragmentos de rizomas; y IV) Densidades de plantación entre 2 a 6 por m² (20.000 a 60.000 por hectárea) son normalmente recomendadas para *Phragmites* (Wallace & Knight, 2006).

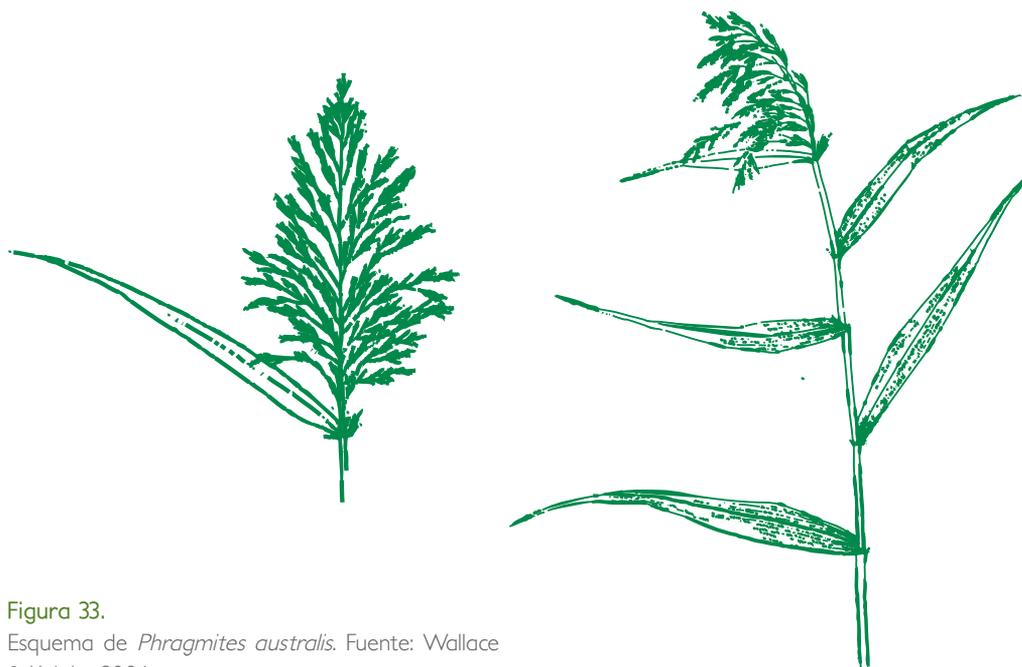


Figura 33.
Esquema de *Phragmites australis*. Fuente: Wallace & Knight, 2006.

Potamogeton linguatus (Huiro, Ahuiranque)

Planta sumergida, de más de 50 cm de largo. Hojas dimorfas, las sumergidas espatulado-lanceoladas de 6-11 cm de largo, las hojas flotantes de 5.5-8.3 cm de largo. Flores en espigas densas que emergen del agua. Nativa del cono sur de Sudamérica, en Chile se encuentra en lagunas y ríos del Sur (Rodríguez & Dellarossa, 1998).



Figura 34.
Esquema de *Potamogeton linguatus*. Fuente:
Rodríguez & Dellarossa, 1998.

Rorippa nasturtium- aquaticum (Berro)

Planta emergente o palustre, con tallos de 30-60 cm de largo, rastreros o flotantes, huecos. Hojas pinnatisectas, de 4-10 cm de largo. Flores de color blanco, dispuestas en racimo. Crece en zanjas, charcos y en la ribera de pequeños arroyos, donde tolera muy bien altos grados de contaminación acuática (Rodríguez & Dellarossa, 1998).

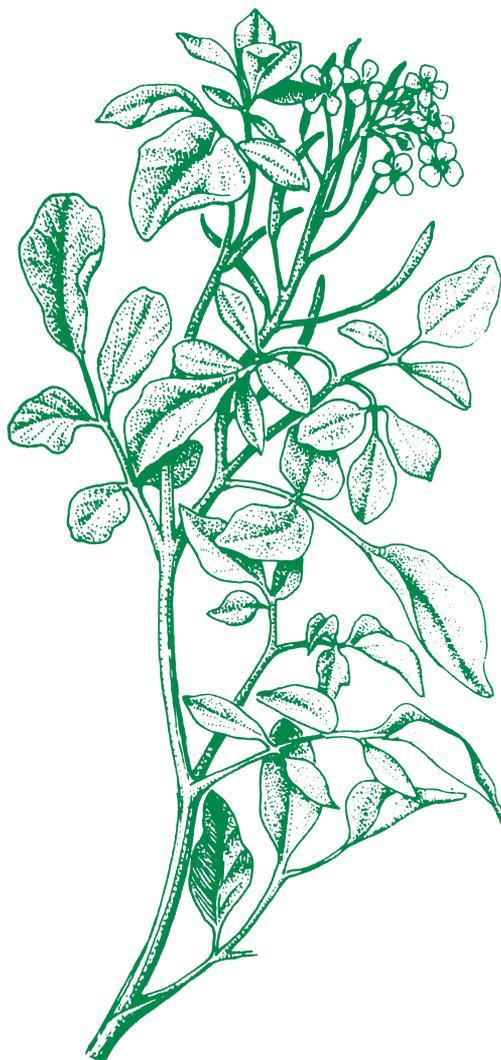


Figura 35.
Esquema de *Rorippa nasturtium-aquaticum*.
Fuente: Rodríguez & Dellarossa, 1998.

Sagittaria latifolia (Duck Potato, Wapato, Arrowhead)

Planta con una altura de hasta 1 metro y distribución geográfica de Columbia británica a Quebec, Sur de Florida, California y México. Existen ecotipos locales. Características generales: 1) Tubérculos del tamaño de una pelota de golf son muy fáciles de plantar. El

crecimiento del primer año es fuerte debido a la energía almacenada en los tubérculos. Flores blancas en verano. Muere con la primera helada, cayendo a nivel de agua o suelo; y 2) Los tubérculos son comestibles y utilizados por una amplia variedad de aves acuáticas, rata almizclera y nutria. El pastoreo de la vida silvestre puede ser un problema durante el establecimiento inicial de la planta (Wallace & Knight, 2006).



Figura 36.
Esquema de *Sagittaria latifolia*. Fuente: Wallace & Knight, 2006.

Schoenoplectus (Scirpus) *acutus* (Hardstem bulrush)

Planta con una altura de hasta 1.7 metros y distribución geográfica a través de América del Norte. Características generales: I) Tolera aguas más profundas que la mayoría de las especies emergentes; II) Se utiliza como una fuente de alimento y cobertura por las aves acuáticas; y III) Proporciona un hábitat de desove de peces (Wallace & Knight, 2006).

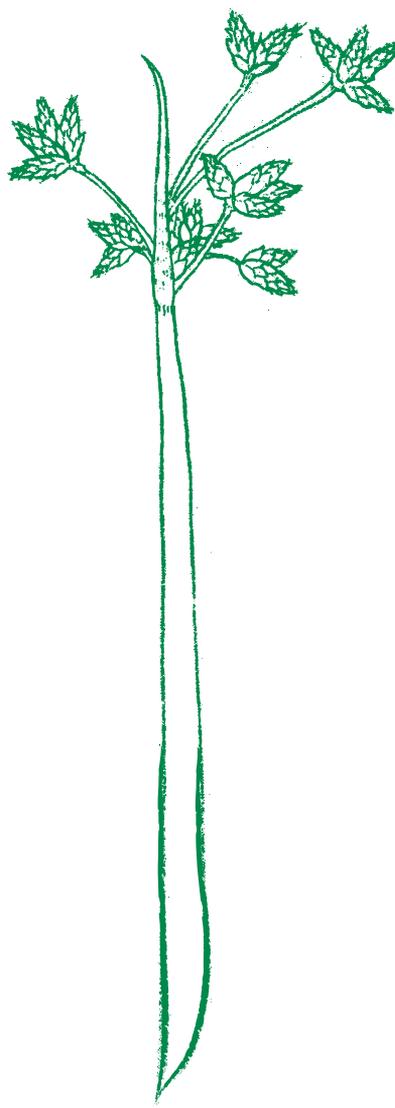


Figura 37.

Esquema de *Schoenoplectus acutus*. Fuente: Wallace & Knight, 2006.

Schoenoplectus (*Scirpus*) *atrovirens* (Green bulrush)

Planta con una altura de hasta 1.5 metros y distribución geográfica en el centro-norte de Norteamérica. Características generales: I) Bajo mantenimiento de la planta; y II) Tallos triangulares (Wallace & Knight, 2006).



Figura 38.
Esquema de *Schoenoplectus atrovirens*. Fuente:
Wallace & Knight, 2006.

Schoenoplectus (*Scirpus*) *fluviatilis* (River bulrush)

Planta con una altura de hasta 2 metros y distribución geográfica en el centro-norte de Norteamérica; Nuevo México y California. Características generales: I) Bajos requerimientos de mantenimiento de la planta; y II) Tallos triangulares (Wallace & Knight, 2006).



Figura 39.
Esquema de *Schoenoplectus fluviatilis*. Fuente:
Wallace & Knight, 2006.

Schoenoplectus (Scirpus) validus (Softstem bulrush)

Planta con una altura de hasta 3 metros y distribución geográfica a través de América del Norte. Características generales: I) Tolera aguas más profundas que la mayoría de las especies emergentes; II) Se utiliza como una fuente de alimento y cobertura por muchas especies de aves acuáticas; y III) Proporciona el hábitat de desove de peces (Wallace & Knight, 2006).

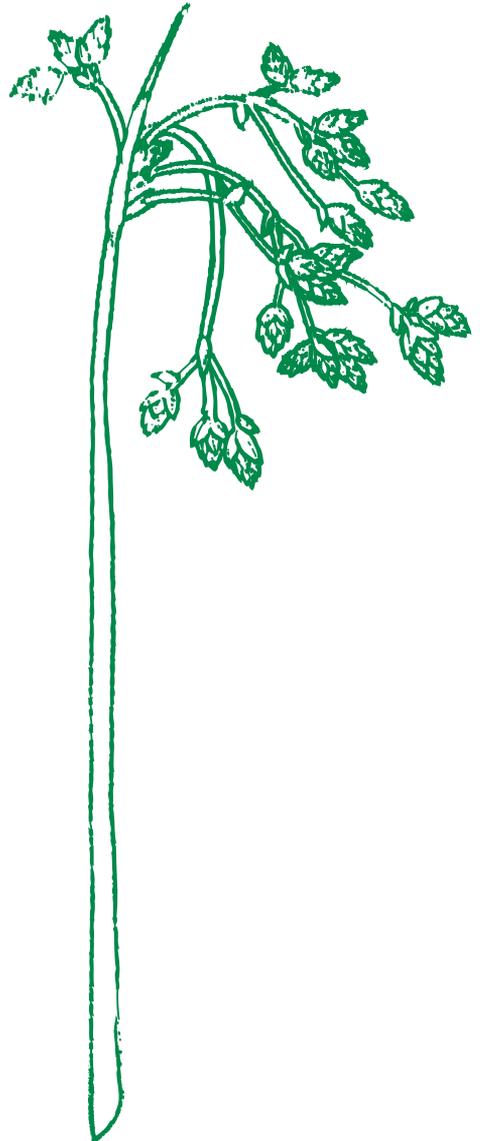


Figura 40.
Esquema de *Schoenoplectus validus*. Fuente:
Wallace & Knight, 2006.

Typha angustifolia (Cattail (narrowleaf))

Planta con una altura de hasta 3 metros y distribución geográfica a través de América del Norte. Características generales: I) Se utiliza como fuente de alimento por los mamíferos acuáticos; II) Tiene una mayor tolerancia a la salinidad que *Typha latifolia*. Tolerancia a pH bajos; y III) Es susceptible al pastoreo de venados de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) (Wallace & Knight, 2006).



Figura 41.

Esquema de *Typha angustifolia*. Fuente: Wallace & Knight, 2006.

Typha domingensis (Vatro, Paja de estera)

Planta emergente, de 2 m de alto, con rizomas hundidos en el fango. Hojas envainadoras en la base, de 30-120 cm de largo. Inflorescencia vistosa, cilíndrica, de color pardo. De origen americano y en Chile no es rara en bordes de lagunas y suelos con alto grado de humedad donde forma pajonales. Las espigas florales se utilizan como arreglos florales secos (Rodríguez & Dellarossa, 1998).

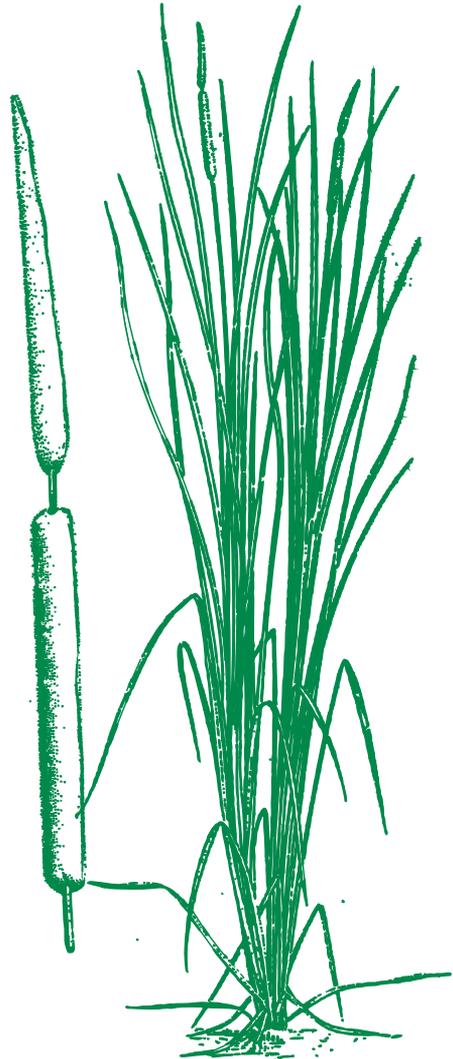


Figura 42.
Esquema de *Typha domingensis*. Fuente: Rodríguez & Dellarossa, 1998.

Typha latifolia (Cattail (broadleaf))

Planta con una altura de hasta 3 metros y distribución geográfica a través de América del Norte. Características generales: I) Se utiliza como fuente de alimento por los mamíferos acuáticos; y II) Es susceptible al pastoreo de venados de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) (Wallace & Knight, 2006).



Figura 43.

Esquema de *Typha latifolia*. Fuente: Wallace & Knight, 2006.

capÍTULO 4

PLANTAS UTILIZADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES: PROYECCIÓN PARA LA GENERACIÓN DE FIBRA



Los humedales construidos son sistemas de ingeniería diseñados y construidos para embalsar el agua bajo diferentes condiciones operativas, aprovechando así los procesos naturales que involucran vegetación, suelos y bacterias, para tratar los residuos líquidos como las aguas servidas (Vera *et al.*, 2016). Los niveles de eficiencia en la eliminación de materia orgánica (95%) y nutrientes (60%) de estos sistemas, además de su bajo costo y facilidad de operación, entre otras características, han permitido que sean considerados como sistemas de tratamiento para zonas rurales. Las principales investigaciones se han centrado en la funcionalidad de macrófitas comunes tales como *Phragmites spp.*, *Typha spp.*, *Schoenoplectus spp.*, entre otras. Se ha recomendado la utilización de especies ornamentales tales como *Zantedeschia aethiopica*, *Canna spp.*, e *Iris spp.* sin que cambie la eficiencia de depuración del sistema; por lo tanto, los humedales construidos con plantas ornamentales pueden realizar un tratamiento eficiente de las aguas servidas, entregar un valor estético al entorno y proporcionar beneficios económicos a la población rural a través de la producción de flores comercializables (Morales *et al.*, 2013).

LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS

Se ha comprobado que los humedales construidos son sistemas de tratamiento efectivos para la depuración de las aguas servidas (López *et al.*, 2015). Estos son sistemas de tratamiento de aguas servidas que han sido diseñados y construidos para utilizar los procesos naturales relacionados con la vegetación, los suelos y sus ensamblajes microbianos asociados a los humedales permitiendo el tratamiento de aguas servidas. Están diseñados para tomar una ventaja de muchos de los mismos procesos que se dan en los humedales naturales, pero lo hacen en un entorno más controlado (Vymazal & Kröpfelová, 2008). Estos sistemas de depuración están constituidos por lagunas o canales poco profundos (de menos de 1 m), plantados con vegetales propios de las zonas húmedas y en los que los procesos de descontaminación se basan en procesos físicos, biológicos y químicos entre todos los componentes del humedal para el tratamiento de aguas servidas. Existen varios tipos de clasificaciones en la identificación de los humedales. Los humedales construidos pueden clasificarse de acuerdo al régimen hídrico, bajo esta clasificación se distinguen 2 tipos de humedales: Humedal de flujo superficial (FS) y Humedal de flujo subsuperficial (FSS),

dentro del cual se pueden encontrar de flujo horizontal (HFSS) y vertical (VFSS). Además, pueden existir combinaciones entre éstos para formar sistemas híbridos. Otra clasificación basada en el tipo de material vegetal empleado y adaptado al tipo de residuo líquido a tratar, los divide en: a) sistema de macrófitas flotantes, con especies de plantas que no presentan enraizamiento en el fondo, tales como: lenteja de agua (*Lemna spp.*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*); b) sistema de macrófitas sumergidas, con especies

de plantas que tienen su sistema foliar sumergido en la columna de agua (*Soetes lacustris*, *Lobelia dortmanna*, *Egeria densa* y *Elodea canadensis*); y c) sistema de macrófitas emergentes, compuesto por especies de plantas enraizadas en el fondo con sus hojas y tallos sobre la superficie del agua, siendo comúnmente empleadas *Phragmites spp.*, *Typha spp.*, *Schoenoplectus spp.* y *Carex spp.* (López, 2016). Estas clasificaciones pueden ser combinadas según se muestra en la siguiente figura.

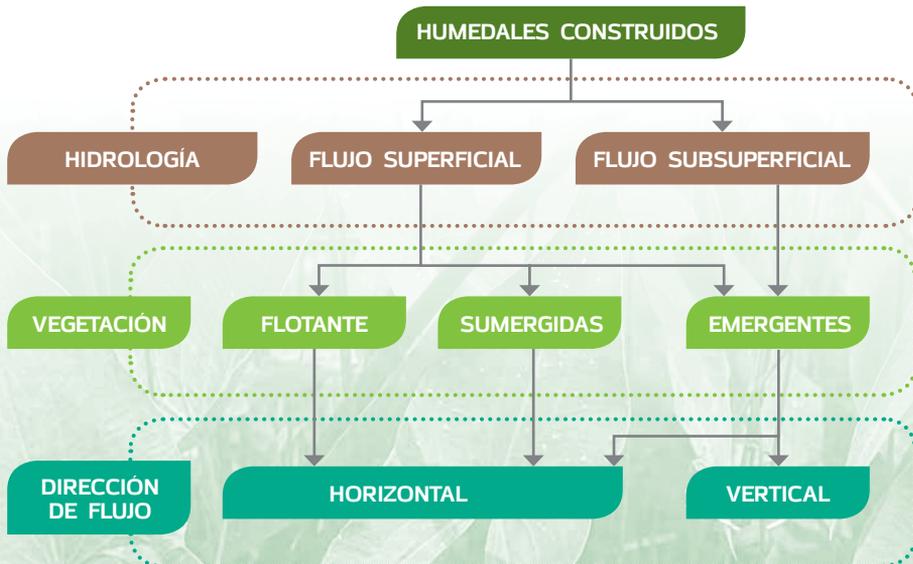


Figura 44.

Esquema de clasificación de los tipos de humedales construidos. Fuente: Sepúlveda, 2016.

Humedales construidos de flujo superficial (FS)

Como se expone en la Figura 45-a, en estos sistemas el agua se encuentra expuesta directamente a la atmósfera, circulando entre los tallos y hojas de la vegetación, que puede ser flotante, sumergida o emergente. Un inconveniente de los humedales FS es el directo contacto de la lámina de agua con la atmósfera, por lo que existe exposición a patógenos (Sepúlveda, 2016). Además, debido a que los FS imitan estrechamente los humedales naturales, atraen una amplia variedad de vida silvestre, proporcionando beneficios secundarios significativos, principalmente en forma de usos humanos y hábitat de vida silvestre (López, 2016).

Humedales construidos de flujo subsuperficial (FSS)

En este caso, el agua circula de manera subterránea a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas (Morales *et al.*, 2013). Los procesos bioquímicos de depuración son llevados a cabo por la biopelícula que coloniza el medio granular y las raíces y rizomas del sistema. Este tipo de humedales requiere menor superficie específica

que los humedales FS (Sepúlveda, 2016). De acuerdo a la dirección del flujo del influente, los humedales FSS se pueden clasificar en las siguientes configuraciones:

a) Humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial (HFSS)

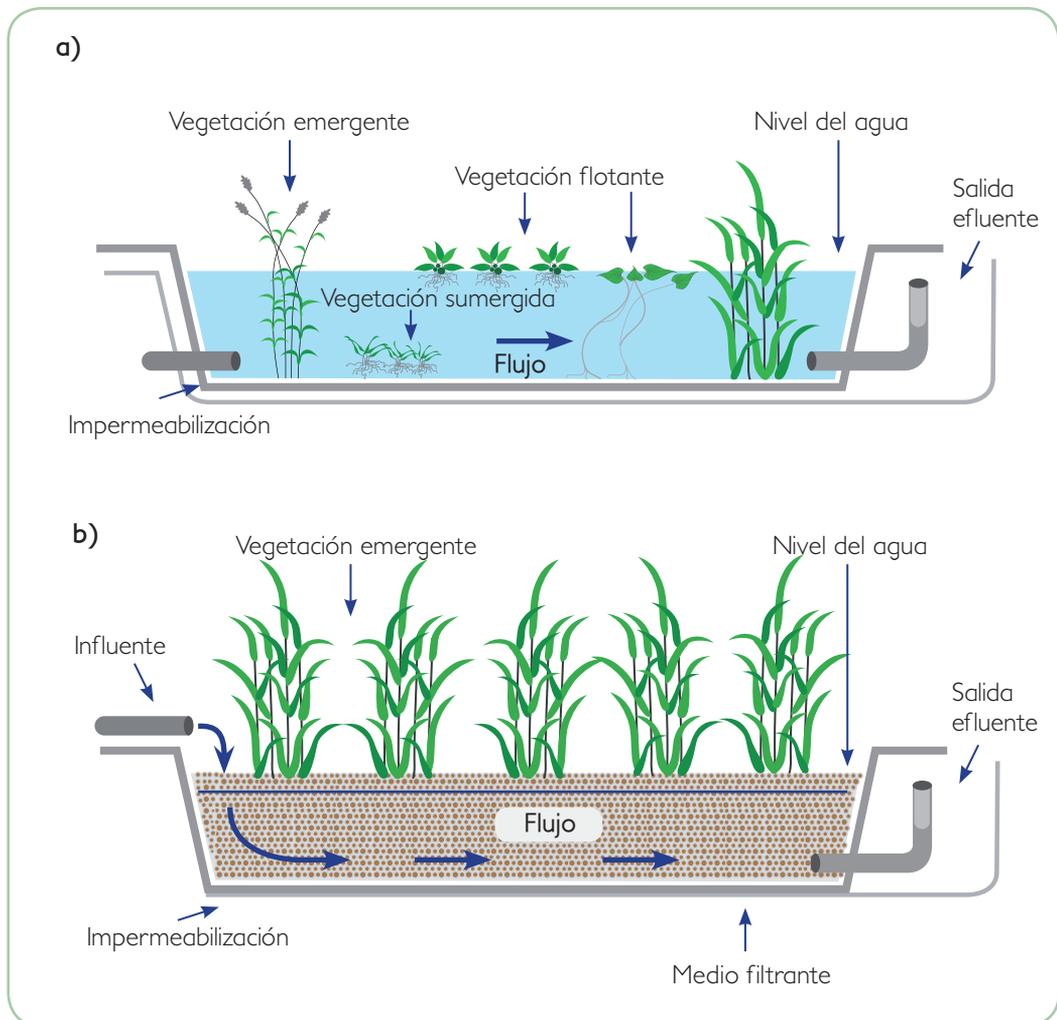
En estos sistemas (Figura 45-b) el agua servida es distribuida por un sistema de entrada en un extremo del lecho, se infiltra por un medio granular de relleno y entre las raíces de la vegetación, fluyendo en sentido horizontal, y siendo evacuada en el extremo opuesto del lecho, por medio de tuberías o vertederos (Rojas *et al.*, 2013). Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados, con una lámina de agua que se encuentra entre 0.05 y 0.1 m por debajo de la superficie (Morales *et al.*, 2013).

b) Humedales construidos de flujo vertical subsuperficial (VFSS)

En estos sistemas la circulación del agua es de tipo vertical (Figura 45-c) y su aplicación se realiza en pulsos, de manera que no estén permanentemente inundados (Morales *et al.*, 2013). Estos sistemas han sido utilizados para producir efluentes nitrificados. Más aún, éstos son combinados

generalmente con sistemas de humedales HFSS para generar en forma sucesiva los

procesos de nitrificación y desnitrificación (Sepúlveda, 2016).



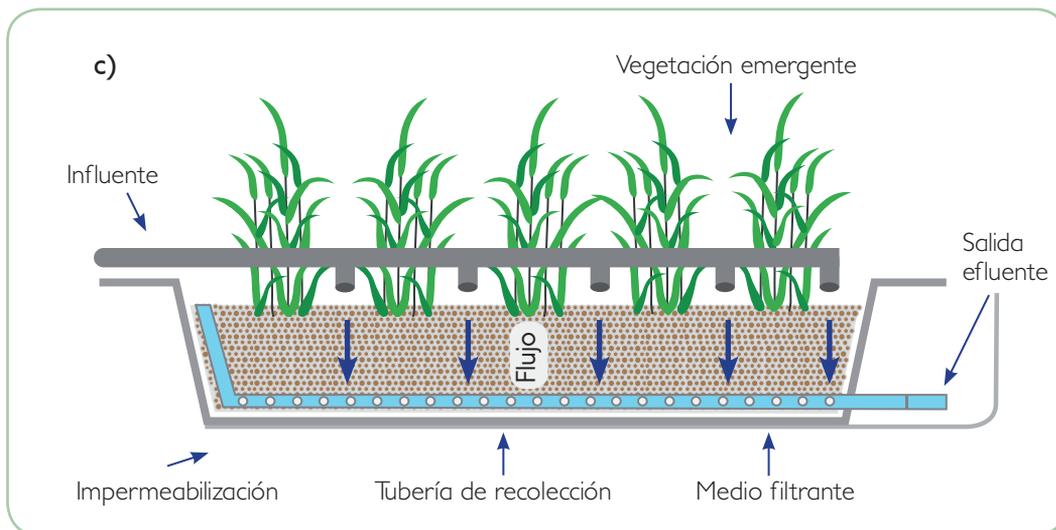


Figura 45.

Tipos de humedales construidos. (a) Humedal construido de flujo horizontal superficial (FS); (b) Humedal construido de flujo horizontal subsuperficial (HFSS); (c) Humedal construido de flujo vertical subsuperficial (VFSS). Fuente: López, 2016.

La figura 45 presenta los tres tipos de humedales construidos descritos y sus componentes principales. Esta tecnología de tratamiento ha mostrado un crecimiento importante en el mundo a partir de la década de 1990. Por lo tanto, los humedales construidos representan una variante interesante de explorar para países en vías de desarrollo (Vera *et al.*, 2016). Además, los sistemas de tratamiento de agua naturales, y especialmente los humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial (HFSS), son considerados como una solución atractiva para el abatimiento de la

contaminación para las pequeñas comunidades (Vera *et al.*, 2011).

Los humedales no serían humedales sin plantas. A pesar de que los humedales de flujo superficial (FS) dependen de las plantas en un grado mucho mayor que los humedales de flujo subsuperficial (FSS), todos los sistemas de humedales deben mucho su aceptación pública a las comunidades vegetales que soportan (Wallace & Knight, 2006). Por lo tanto, las plantas son un componente esencial en el diseño y operación de un humedal construido, entre la diversidad de funciones



que proveen, se cuentan: I) Promover el asentamiento y la retención de sólidos en suspensión, II) Proporcionar superficie para el desarrollo de biopelículas microbianas, y III) Transportar oxígeno a

su zona radicular (Morales *et al.*, 2013). De manera más específica, en la Tabla 2 se presenta un resumen de las principales funciones de la vegetación presente en los humedales construidos.

Tabla 2. Principales funciones de las plantas en los humedales construidos.

Propiedad de las Macrófitas	Rol en el Tratamiento de Procesos
Tejido Vegetal Aéreo	<ul style="list-style-type: none"> • Atenuación de la luz, reduce crecimiento de fitoplancton. • Influye en el microclima, aislamiento durante el invierno. • Reduce la velocidad del viento, riesgos de resuspensión. • Almacenamiento de nutrientes. • Mejora el entorno.
Tejido Vegetal Sumergido	<ul style="list-style-type: none"> • Efecto de filtración. • Reduce la velocidad de la corriente, favorece la sedimentación. • Proporciona área superficial para el crecimiento de la biopelícula. • Excreción de oxígeno fotosintético, incrementa la degradación aeróbica. • Asimilación de nutrientes.
Raíces y Rizomas en el Sedimento	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilización de la superficie del suelo, menos erosión. • Previene la colmatación del medio granular. • Incorpora oxígeno incrementando la degradación y la nitrificación. • Asimilación de nutrientes. • Exudado de antibióticos.

Fuente: Adaptada de Brix, 1997.

Los humedales construidos pueden funcionar sin plantas, sin embargo, la presencia de vegetación mejora significativamente el rendimiento de eliminación de nitrógeno, atraen la vida silvestre y mejoran estéticamente los lugares donde se implementan (Tanner, 2001).

Por un lado, miles de especies de plantas están adaptadas a crecer en zonas húmedas. Sin embargo, sólo unas pocas especies de plantas han sido ampliamente utilizadas en humedales construidos (Wallace & Knight, 2006). Según Vymazal (2011), las plantas utilizadas en humedales construidos deben poseer ciertas características: I) Ser tolerantes a altas cargas orgánicas y nutrientes; II) Tener abundantes raíces y rizomas a fin de proporcionar sustrato para bacterias adheridas y oxigenación de áreas adyacentes; y III) Tener la biomasa aérea alta para eliminación de nutrientes, a través de la recolección.

También deben ser tolerantes a las condiciones de suelos saturados y ser capaces de operar en un ambiente anaeróbico; además, las plantas de humedales deben conseguirse fácilmente en los viveros de plantas locales. Al seleccionar las especies de plantas de humedales de tratamiento,

los diseñadores deben considerar: I) La hidrología; II) El clima y la latitud; III) Costo y disponibilidad de material de plantación; IV) Tamaño de la planta; V) Tasa de colonización de las especies de plantas seleccionadas; VI) La calidad del agua (incluyendo la salinidad, pH, alcalinidad y la demanda de oxígeno); VII) Los objetivos del proyecto; y VIII) Mantenimiento (Wallace & Knight, 2006).

Por otro lado, el uso de plantas ornamentales en humedales construidos puede mejorar la infraestructura del sistema de tratamiento y proporcionar beneficios económicos a la comunidad a través de la producción de flores, sin que el cambio de uso de plantas afecte la eficiencia del sistema (Zurita et al., 2009). Así, la gran ventaja de operar humedales construidos con plantas ornamentales es que éstas representan una alternativa económica para los países en desarrollo, donde el tratamiento de aguas servidas representa un gasto de operación importante (Belmont & Metcalfe, 2003).

Humedal construido escala piloto para tratar aguas servidas, localizado en Hualqui

Actualmente, se tiene en ejecución un Proyecto INNOVA BIOBÍO en el marco de su línea de innovación de interés público 13.3327-IN.IIP “Recuperación de agua mediante jardines depuradores a partir de aguas servidas rurales: Aplicaciones innovadoras con impacto para la comunidad rural”, cuyo periodo de ejecución es entre los años 2014–2017. Este proyecto está a cargo de la dirección de la Dra. Gladys Vidal y tiene como co-investigadores a Sujey Hormazábal, Dr. Jorge Jara, Dra. Carolina Baeza, Dra. Patricia González, Dra. Katherine Sossa, Dra. Soledad Chamorro, Dra. Daniela López y Dra. Carolina Reyes.

Resumen del proyecto

El sector rural en Chile presenta necesidades de tratamiento de las aguas. Las tecnologías de tratamiento deben dar respuestas muy distintas a las ya instaladas en ciudades, debido a la baja densidad de la población rural, baja tecnificación, necesidades energéticas y consideraciones de operación (Vidal & Araya, 2014).

Dentro de las alternativas tecnológicas que han sido implementadas como sistemas no convencionales o tecnología verde se encuentra el uso de jardines depuradores o humedales construidos. Esta tecnología pasiva de tratamiento para las aguas servidas rurales, utiliza la capacidad depurativa de plantas macrófitas tales como *Schoenoplectus californicus* y *Phragmites australis*, para ser empleadas en estos sistemas. Una vez que el agua ha sido tratada a través de estos jardines depuradores, es posible evaluar la potencialidad de reusar el agua en la agricultura (Vidal & Araya, 2014).

Esta propuesta tiene dos ejes principales: a) Utilización de diferentes tipos de plantas macrófitas y ornamentales con la finalidad de poder utilizar los nutrientes de las aguas servidas en la producción de flores y fibra que puedan proyectar un negocio e impacto social, contribuyendo al beneficio social de las comunidades rurales y resolviendo un problema con contaminación rural, y b) Reutilización de las aguas tratadas de las comunidades rurales, para beneficio de la agricultura rural. Por lo anteriormente descrito, este proyecto tiene como objetivo central: Desarrollar e implementar jardines depuradores para recuperación de agua a partir de aguas servidas rurales y generar

fibra de uso comercial. Los objetivos específicos asociados a la ejecución de este proyecto son: I) Diseñar y operar jardines depuradores de aguas servidas rurales para la recuperación de agua; II) Caracterizar y evaluar diferentes tipos de macrófitas respecto a su capacidad para depurar agua y producción de fibra de uso comercial; III) Identificar y evaluar usos del agua tratada en la agricultura rural, considerando calidad del agua y tipo de riego; y IV) Realizar actividades de difusión y masificación de la operación y monitoreo de jardines depuradores, a la comunidad interesada (Vidal & Araya, 2014).

Este proyecto contempla a la Universidad de Concepción como entidad ejecutora, la Ilustre Municipalidad de Hualqui y la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) como entidades públicas interesadas, y a ESSBIO como entidad asociada. También cuenta con el apoyo de la Cooperativa de Agua Potable Quiriquina y la Cooperativa de Agua Potable Puente Ñuble Limitada. Las implicancias finales de este proyecto es poder dar una alternativa viable al Programa de Agua Potable Rural (APR), los Comités y Cooperativas de APR.



Figura 46.
Planta piloto de humedales construidos ubicada en Hualqui.



Figura 47.

Vista de las 6 celdas que conforman la planta piloto de humedales construidos.



Figura 48.
Celda 4 plantada con *Schoenoplectus californicus*.



Figura 49.
Vista hacia las celdas 5 y 6 con plantas ornamentales *Cyperus papyrus* y *Zantedeschia aethiopica*.



Figura 50.

Celda 5 plantada en régimen de policultivo con *Cyperus papyrus* y *Zantedeschia aethiopica*.

PLANTAS UTILIZADAS EN EL HUMEDAL CONSTRUIDO DE HUALQUI

A continuación se abordará de manera más detallada la descripción de las plantas utilizadas para cubrir las 6 celdas de humedales construidos en la Planta Piloto del Proyecto INNOVA BIOBÍO

13.3327-IN.IIP “Recuperación de agua mediante jardines depuradores a partir de aguas servidas rurales: Aplicaciones innovadoras con impacto para la comunidad rural”, la que se encuentra ubicada en la comuna de Hualqui, región del Biobío. La distribución de plantas por celda se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3.

Distribución de plantas macrófitas por celda de HFSS en Planta Piloto de Hualqui.

Número de Celda	Régimen	Macrófita
Celdas 1 y 3	Monocultivo	<i>Phragmites australis</i>
Celdas 2 y 4	Monocultivo	<i>Schoenoplectus californicus</i>
Celda 5	Policultivo	<i>Cyperus papyrus</i> con <i>Zantedeschia aethiopica</i>
Celda 6	Monocultivo	<i>Cyperus papyrus</i>

Schoenoplectus (Scirpus) californicus

Pertenece a la familia Cyperaceae. El junco es una planta herbácea perenne, distinguida por su tallo triangular entre 1 y 3 m de altura. Las hojas son delgadas, en forma de V y están enfundadas en torno al largo tallo. Las flores se disponen en una espiguilla y se asemejan a tonos naranja-marrón. La inflorescencia de *Schoenoplectus californicus* es una espiga de flores (panícula) más grande y más abierto que *Schoenoplectus acutus* y es consistentemente un color marrón rojizo. Los Juncos tienen un crecimiento clonal, con rizomas marrones, robustos, largos y gruesos (Stevens & Hoag, 2003).

Habita en humedales, orillas de ríos y desembocaduras de arroyos. Es especie

nativa en Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay, Argentina y Uruguay. Es una planta rizomatosa, lo que significa que también presenta tallos subterráneos. Está muy adaptada al medio acuático y puede desarrollarse en suelos de inundación permanente y en aguas de hasta 1 m de profundidad. Sus poderosos rizomas se fijan al sustrato y ejercen una función de soporte, de retención de nutrientes y del suelo, impidiendo la erosión y facilitando el crecimiento de nuevas especies en las orillas. Se utiliza tradicionalmente como materia prima en la fabricación de esteras. Para eso, se cosechan los tallos a principios del verano y el secado se realiza en grandes extensiones al aire libre y a pleno sol (Reino vegetal, 2016).



El fruto se llama aquenio, es oscuro, tiene forma plana convexa con bordes redondeados y por dentro tiene 3 filamentos (setas) (Reino vegetal, 2016).



Las flores se agrupan en la antela, que es de color castaño rojizo y se encuentra en los extremos de los tallos (Reino vegetal, 2016).



Tiene tallos erguidos, trígono (es decir, que presentan tres caras) y con bordes redondeados (Reino vegetal, 2016).

Los tallos tejidos se emplean en Bolivia para hacer pisos y también se elaboran esteras de distintos tamaños, para techar viviendas y confeccionar artesanías que se comercializan en las ciudades. Asimismo,

se construyen pequeñas embarcaciones en el lago Titicaca para la pesca local y también para el transporte de turistas (Macía, 2006).

Por un lado, en Ecuador, *Schoenoplectus californicus* es una macrófita acuática del Nuevo Mundo que se encuentra a lo largo de los Andes en este país, donde es de gran importancia económica y cultural para las comunidades indígenas. Los tallos se usan para confeccionar esteras que se comercializan por todo el país y cantidades pequeñas se exportan a Colombia, Perú, Estados Unidos e Italia. Una estera se puede elaborar con 0.75 m² de superficie de la planta. Es destacable su elevado grado nutricional como planta forrajera y es un excelente recurso para el ganado durante períodos de sequía (Macía & Baslev, 2000). Por

otro lado, en Perú, específicamente en el lago Tititaca, los urus (uros) construyen pequeñas embarcaciones para pescar y también para cosechar la propia totora. También construyen embarcaciones de mayor tamaño para el transporte de turistas (20-22 personas). Además, se construyen pequeñas islas de totora en el lago, sobre las que viven, y con la misma fibra construyen sus propias viviendas. Los tallos se emplean para tejer esteras que se comercializan en los mercados locales y también se usan como paredes, techos y para dividir las habitaciones en las viviendas, se tejen productos para su venta como artesanías (Macía, 2006).

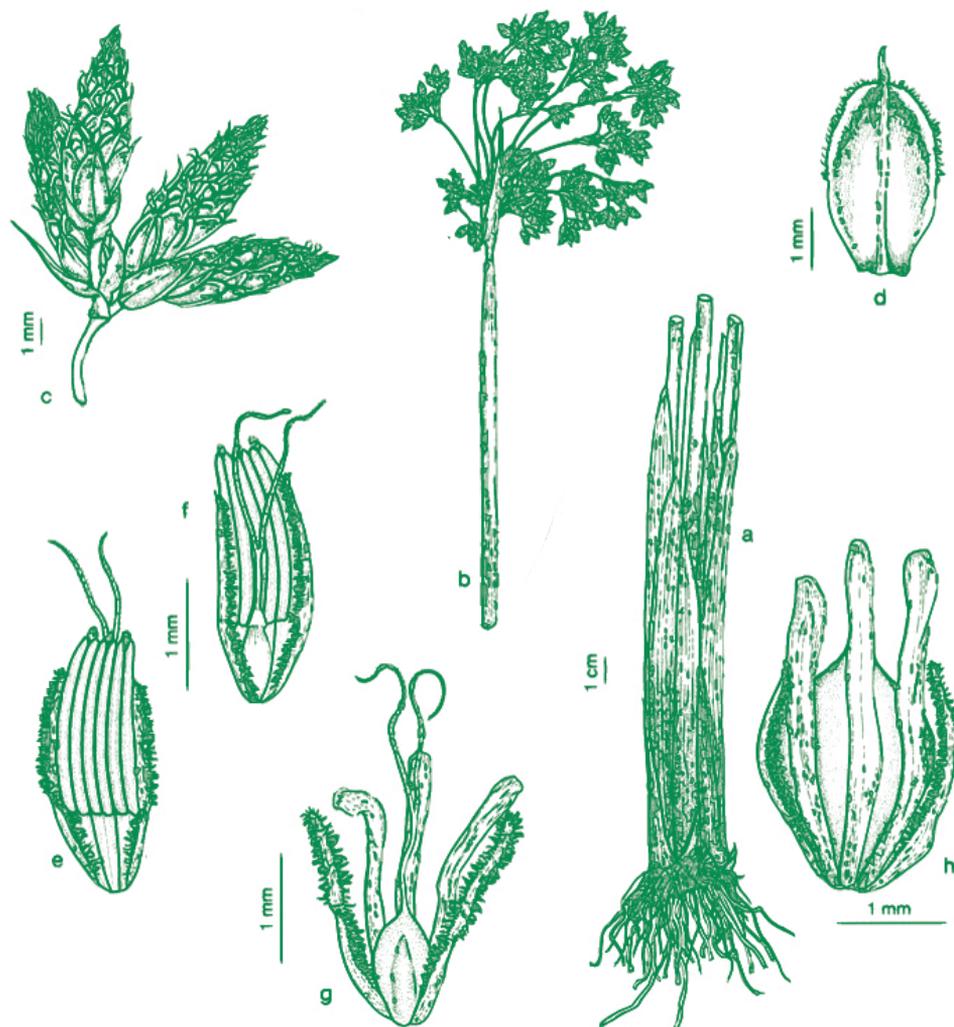


Figura 51.

Schoenoplectus californicus (junco, totora). **a**: Parte basal mostrando rizomas, hojas y tallos; **b,c**: Inflorescencia y detalles; **d**: Gluma; **e**: Flores inmaduras en vista abaxial; **f**: Flores inmaduras en vista adaxial; **g**: Flores maduras en vista adaxial; **h**: Aquenio en vista abaxial. Fuente: Macía & Balslev, 2000.



Figura 52.

A la izquierda planta de *Schoenoplectus californicus*. A la derecha Flor de *Schoenoplectus californicus*.

Schoenoplectus (Scirpus) californicus
(Rodríguez & Dellarossa, 1998)

Nombre común: Estoquilla, totora.

Planta emergente, herbácea, de 2 m de alto, con rizomas hundidos en el fango. Tallos trígono de bordes lisos. Hojas reducidas, de 20 cm de largo.

Inflorescencia laxa, con una bráctea basal, de 5.7 cm de largo. Desde el sur de Estados Unidos hasta Chile y Argentina. En la VIII región es un habitante común en pajonales, zonas anegadas y bordes de lagunas.

Phragmites australis

De manera general, *Phragmites australis* es una gramínea de gran tamaño que se desarrolla en humedales de zonas templadas y tropicales de todo el mundo. Suele utilizarse como herramienta natural para la depuración de aguas, y es especialmente relevante su uso potencial como depurador de humedales contaminados por las prácticas agrícolas. Debido a la necesidad de extraerlo periódicamente, las investigaciones que se realicen para su posible uso como material de construcción ofrecerían un valor añadido (Troya *et al.*, 2009).

De manera un poco más específica, *Phragmites australis* pertenece a la familia Poaceae y también es conocida como *Phragmites communis*, carrizo o caña común. Esta se identifica fácilmente por ser una planta muy robusta, perenne, provista de tallos rígidos, gruesos y muy duros, los que pueden llegar a alcanzar una altura de hasta 3 m y que crecen sin formar nudos (Serrano, 2016). Posee hojas verde grisáceas, aplanadas, que se adelgazan progresivamente hacia un largo ápice, vainas lisas, glabras, cubriendo los nudos y la lígula formada por una línea de pelos. La inflorescencia es una panícula laxa, oblonga ovoide

(Menéndez, 2005), que al principio es de color rojizo y más tarde color beige/amarillo (pajizo) (Serrano, 2016). Tiene espiguillas comprimidas lateralmente, con 1-20 flores, la mayoría hermafroditas, pero las inferiores masculinas o estériles. Dentro de sus requerimientos ecológicos se tiene que ésta crece a plena luz aunque soporta la sombra, en suelos encharcados débilmente ácidos con pH 4.5-7.5, y es indicadora de riqueza de nutrientes en el suelo. Además tiene una distribución cosmopolita presente en todo el mundo, donde en muchos lugares presenta comportamientos invasivos (Menéndez, 2005).

La caña común suele ser la especie dominante en las zonas que ocupa. Vive en marismas, lagunas y bordes de ríos formando densas poblaciones, desde el nivel del mar hasta los 1000 m de altitud (Menéndez, 2005). El carrizo crece en aguas poco profundas, a las orillas de los ríos en donde a lo largo del verano se le puede encontrar en grupos tan apretados que son prácticamente impenetrables (Serrano, 2016). Se propaga a través de rizomas, con una velocidad muy rápida de hasta 10 m/año, es muy invasiva y creará condiciones de monocultivo, además de tener una alta tolerancia anaeróbica (Wallace & Knight, 2006). El

carrizal posee una importancia ecológica excepcional, ya que a su amparo se cría multitud de especies de aves, entre las que cabe mencionar el carricero común (*Acrocephalus scirpaceus*), pájaro que teje su nido empleando como base las cañas. Tampoco es raro observar entre estas formaciones vegetales a algún mamífero, como la rata de agua o reptiles del tipo de la culebra viperina (Serrano, 2016). Los usos del carrizo son muy diversos: con los tallos secos se fabrican

techumbres, cortavientos y esteras; las hojas se emplean como forraje para el ganado y con las inflorescencias, una vez secas, se hacen escobas y adornos florales (visitaalborea.com). Los brotes jóvenes se emplean antes de que aparezcan las hojas y se utilizan de la misma forma que el bambú. Las semillas molidas se emplean como aromatizante y son bastante nutritivas (Menéndez, 2005).



Figura 53.
Phragmites australis. **a:** Caña florífera; **b:** Espiguilla;
c: Antecio basal; **d:** Antecios apicales. Fuente:
adaptado de Rapoport *et al.*, 2009.



Figura 54.
Phragmites australis.

Phragmites australis
(Rodríguez & Dellarossa, 1998)

Nombre común: Carrizo.

Planta emergente. Rizomas enterrados en el fango. Cañas de 1–4 m de alto. Hojas de 20–40 cm de largo por 1–3 cm de ancho, planas, adelgazadas en punta. Las flores van dispuestas en panojas de 20–40 cm de largo. Cosmopolita. En Chile

se encuentra desde la II región hasta Puerto Montt, crece frecuentemente en pajonales y a orilla de esteros y lagunas. Por sus largas cañas es utilizada para cubrir techos de construcciones livianas.

Cyperus papyrus

Cyperus papyrus, comúnmente conocida como papiro, pertenece a la familia Cyperaceae y es una extraordinaria macrófita emergente (Terer *et al.*, 2012). También se define como una gran juncia herbácea que se encuentra comúnmente en ambientes saturados de agua en las regiones tropicales de África (Opio *et al.*, 2014). Esta planta nativa africana domina lagos de agua dulce poco profundos, desembocaduras de ríos, valles y pantanos (Terer *et al.*, 2012). El papiro crece hasta una altura de 2-3 metros y sus hojas son vistas desde lejos, pues parecen pompones que crecen hacia arriba y luego caen ligeramente. Toda la planta es de un color verde claro, su crecimiento es muy rápido si tiene las condiciones adecuadas, y algo más lento si le falta agua o el clima es demasiado frío para él (Sánchez, 2014); además, se reproduce asexualmente por alargamiento de rizomas y sexualmente a través de sus semillas (Terer *et al.*, 2012).

Creciendo a los márgenes del río Nilo, el papiro fue utilizado por los egipcios para fabricar el primer papel del mundo y, como consecuencia, también el primer libro (Sánchez, 2014). El papiro, por lo

tanto, es un soporte de escritura; la creación de éste obligaba a dejar el tallo de la planta en remojo durante una o dos semanas, después se lo cortaba en tiras finas que se prensaban con un rodillo para eliminar sustancias líquidas. Finalmente, se volvían a prensar las láminas para que la savia funcionase como adhesivo y se frotaban con un trozo de marfil durante varios días (Pérez & Gardey, 2011). Además, esta planta se utilizó para fabricar barcos, los cuales podían recorrer cortas distancias y eran muy útiles para hacer transportes cortos (Sánchez, 2014). Los egipcios también utilizaron el papiro para la fabricación de esteras, cuerdas, zapatos, velas de barcos, vestidos de corteza, entre otros; la parte inferior del tallo era comestible y con su raíz se preparaban medicinas y perfumes, las que servían como combustible una vez que estaban secas (Artesanías egipcias, 2016).

Debido a su alta productividad, la reserva de biomasa del papiro es importante tanto para fines socioeconómicos y ecológicos. Los usos humanos contemporáneos del papiro incluyen la recolección de productos de artesanía, materiales para la construcción de casas y embarcaciones, combustible, medicina y forraje para el ganado. Desde una

perspectiva ecológica, los pantanos de papiro actúan como sumideros netos de carbono y también atrapan sedimentos y contaminantes que entran en los cuerpos de agua. Ellos ofrecen importantes

servicios de la biodiversidad, tales como criaderos de peces, la navegación para los herbívoros silvestres durante las estaciones secas, y también sirven como hábitat de aves (Terer *et al.*, 2012).

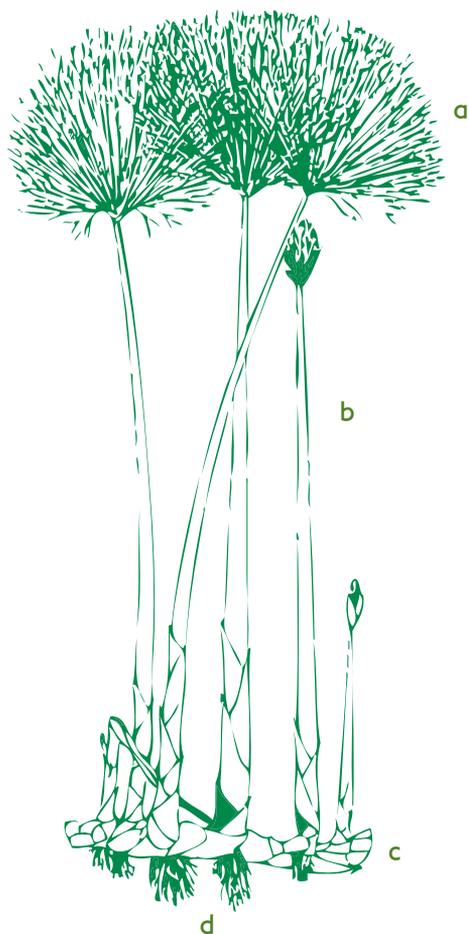


Figura 55.

Cyperus papyrus. **a:** Umbela; **b:** Tallo; **c:** Rizomas; **d:** Raíces. Fuente: Adaptado de Opio *et al.*, 2014.



Figura 56.
Cyperus papyrus.

Cyperus papyrus
(Álvarez, 2007)

Nombre común: Papiro del Nilo o papiro de Egipto.

Perenne de 2 m de altura. Hojas muy finas, plumosas, verde claro, de 12 a 30 cm de largo, péndulas. Tallos triangulares.

Inflorescencia en espiga. Profundidad del agua: 30 cm. Requiere sol y media sombra. Crece en clima templado-cálido, a una temperatura mínima de 5°C. Es originaria de Egipto.

Zantedeschia aethiopica

Zantedeschia aethiopica, comúnmente conocida como el lirio de arum o cala, es una especie muy atractiva (Royal Botanic Gardens Kew, 2016). *Zantedeschia* (Araceae) es un género que constituye 28 especies de plantas perennes herbáceas que están distribuidas principalmente en zonas tropicales y templadas, es nativa del Sur de África (Ghimire *et al.*, 2012), pero introducida en el Neotrópico y bien adaptada a los nuevos ambientes. En su hábitat natural sus principales visitantes florales y polinizadores son escarabajos (Díaz-Ayala *et al.*, 2014). Esta especie produce grandes y vistosas espatas de flores con un inmenso valor decorativo, y a menudo se cultivan como plantas ornamentales y como flores cortadas, debido a sus inflorescencias llamativas.

Zantedeschia aethiopica o lirio Arum crece de forma natural en zonas pantanosas (Ghimire *et al.*, 2012). Es una especie que da flores de color blanco, tiene un órgano rizomatoso de almacenamiento (Zhang *et al.*, 2011) y las hojas son perennes, sin pelo y forman un rosetón. La inflorescencia (parte de la floración) es un tallo de hasta 60 cm de largo. La espata (brácteas florales) es de unos 15 cm de largo y 12 cm de

ancho (Royal Botanic Gardens Kew, 2016). Es de color blanco marfil en el interior y el exterior es de color verde brillante en la base y poco a poco se convierte en blanco en la parte superior. El espádice tiene una zona superior de unos 7 cm de largo que está cubierta con diminutas anteras de color amarillo brillante (partes masculinas). Éstos producen hilos delgados de polen blanco cuando están maduros. El espádice también tiene una zona inferior, que está cubierta de pistilos verde-amarillos a blanquecinos (partes femeninas) intercaladas con estructuras estériles en forma de hongo (Royal Botanic Gardens Kew, 2016). Los frutos son bayas verdes que se vuelven suaves y de color naranja en la base cuando están maduros. Todas las partes de la planta son venenosas, causando irritación e inflamación de la boca y diarrea gástrica aguda. La savia puede causar eczema y dermatitis de la piel y es también un irritante para las membranas mucosas y los ojos (Royal Botanic Gardens Kew, 2016).

Los científicos han demostrado que *Zantedeschia aethiopica* puede ser útil en sistemas de humedales artificiales para limpiar aguas residuales y evitar el crecimiento de algas (Royal Botanic Gardens Kew, 2016). Las calas blancas,

que se encuentran de manera natural en los humedales, se utilizan para el tratamiento de aguas residuales, lo cual, si es efectivo, tendría un doble

beneficio de la recuperación de agua y la producción de flores con retornos financieros (Casierra-Posada *et al.*, 2014).

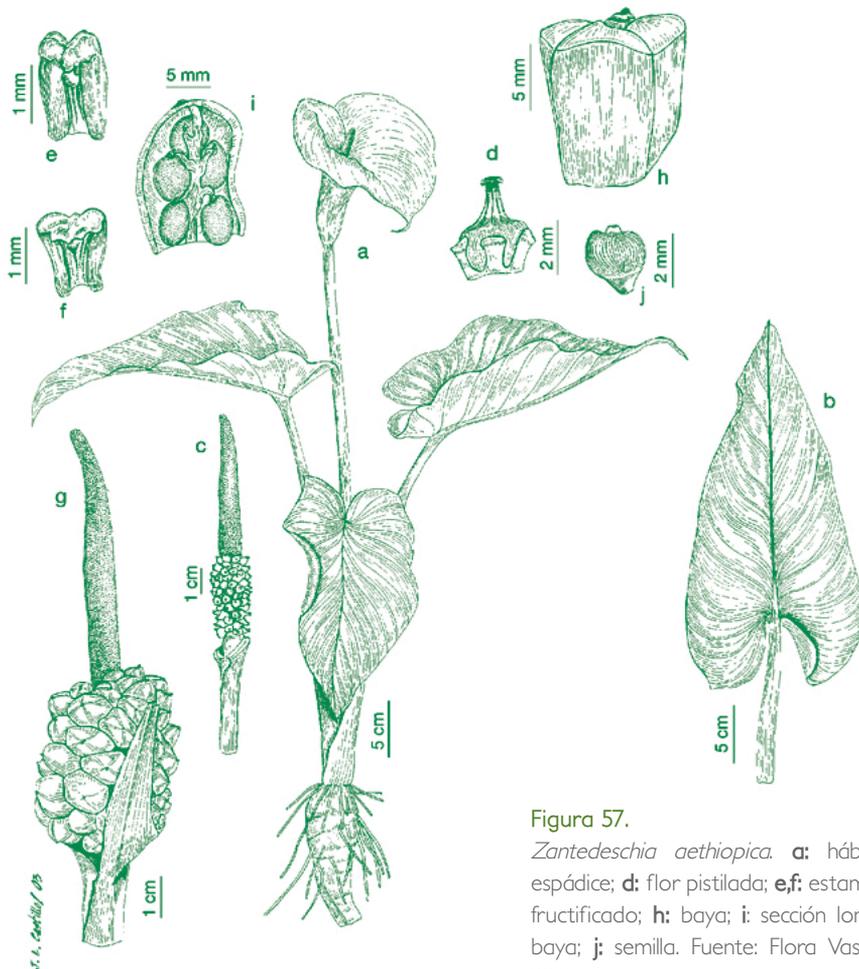


Figura 57.
Zantedeschia aethiopica. **a:** hábito; **b:** hoja; **c:** espádice; **d:** flor pistilada; **e,f:** estambres; **g:** espádice fructificado; **h:** baya; **i:** sección longitudinal de una baya; **j:** semilla. Fuente: Flora Vasculare de España, 2016.



Figura 58.
Zantedeschia aethiopica.

Zantedeschia aethiopica
(Álvarez, 2007)

Nombre común: Cala blanca, Flor de cartucho.

Planta perenne de 80 a 90 cm de altura. Rizomatosa. Hojas sagitadas. Flores en espata blancas a blanco-verdosas, de

10 a 15 cm de largo. Se multiplica por división de matas e hijuelos. Se origina en África.

REFERENCIAS



Álvarez, M. 2007. Capítulo 2: características de las plantas acuáticas. Estanques y Jardines acuáticos - Una guía esencial para construir estanques, jardines acuáticos, fuentes y cascadas en el jardín. Editorial Albatros SACI. Buenos Aires, Argentina.

Artesanías egipcias, 2016. Revisado en Agosto 2016. Disponible en: http://web.archive.org/web/20140818030814/http://www.artesanias-egipcias.com.ar/Descripcion_usos_papiro_en_Egipto.htm.

Banack, S., Rondón, X. & Díaz-Huamanchumo, W. 2004. Indigenous cultivation and conservation of totora (*Schoenoplectus californicus*, *Cyperaceae*) in Peru. *Economic Botany* 58(1): 11-20.

Belmont, M. & Metcalfe, C. 2003. Feasibility of using ornamental plants (*Zantedeschia aethiopica*) in subsurface flow treatment wetlands to remove nitrogen, chemical oxygen demand and nonylphenol ethoxylate surfactants—a laboratory-scale study. *Ecological Engineering* 21(4): 233-247.

Bowes, B. 1998. Atlas en couleur: Structures des plantes. Inra, Paris.

Brix, H. 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology* 35(5):11-17.

Catling, D. & Grayson, J. 1982. Identification of vegetable fibres. Chapman and Hall. London, New York.

Casierra-Posada, F., Blanke, M. & Guerrero-Guío, J. 2014. Iron Tolerance in Calla Lilies (*Zantedeschia aethiopica*). *Gesunde Pflanzen* 66: 63-68.

Chabbet, B., Joly, C. & Kurek, B. 2010. “La química verde”. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.

Centro de Transferencia Tecnológica Pino Radiata, 2003. “Compendio de directrices para enseñanza en ingeniería”, Presentación CTT–Unidad de Educación, Corporación

chilena de la madera “CORMA”, Proyecto CORFO–FONTEC. Revisado en Septiembre 2016. Disponible en: <http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2007/04/comp-ing.pdf>.

Díaz-Ayala, R., Hurtado, L. & Sierra-Giraldo, J. 2014. First record of Anura (*Dendropsophus columbianus* – Anura: Hylidae-) as floral visitors of Araceae (*Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng). *Aroideana* 37(1): 4-10.

Flora Vascular de España, 2016. Revisado en Agosto 2016. Disponible en: <http://www.floravascular.com/index.php?familia=Araceae&geo=ESP>

Franco, J. 2014. Arquitectura Vernácula: La Ruca Araucana en el Sur de Chile. Plataforma Arquitectura. Revisado en Agosto 2016. Disponible en: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-333115/arquitectura-vernacula-la-ruca-araucana-en-el-sur-de-chile>

Ghimire, B., Yu, C., Kim, H. & Chung, I. 2012. Karyotype and nucleic acid content in *Zantedeschia aethiopica* Spr. And *Zantedeschia elliottiana* Engl. *African Journal of Biotechnology* 11(53): 11604-11609.

Jardín Botánico Atlántico de Gijón, 2009. “La fibra sensible”, catálogo de la exposición permanente “Fibras vegetales. Tejiendo plantas”. Revisado en Julio 2016. Disponible en: <https://www.gijon.es/publicacions/show/2221-la-fibra-sensible-catalogo-de-la-exposicion-fibras-vegetales-tejiendo-plantas>.

Ji, Z. 2008. Hydrodynamics and water quality modeling rivers, lakes and estuaries. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, Estados Unidos.

López, D., Fuenzalida, D., Vera, I., Rojas, K. & Vidal, G. 2015. Relationship between organic matter methane production in horizontal sub-surface flow constructed wetlands systems planted with *Phragmites australis* and *Schoenoplectus californicus* for wastewater treatment. *Ecological Engineering* 83: 296-304

López, D. 2016. Evaluación estacional de humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial para la depuración de aguas servidas en zonas rurales: implicancias en la generación de metano. Tesis de doctorado en Ciencias ambientales - Centro EULA – Chile. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 240 pp.

Macía, M. 2006. Las plantas de fibra. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.

Macía, M. & Balslev, H. 2000. Use and management of totora (*Schoenoplectus californicus*, Cyperaceae) in Ecuador. *Economic Botany* 54(1): 82-89.

Manos del Alma, 2016. Revisado en Septiembre 2016(Servilletero). Disponible en: http://www.manosdelalma.cl/products/servilletero-en-nocha-chiloe#.V9v_D_nhCUk.

Manos del Alma, 2016. Revisado en Septiembre 2016 (Cubre alimentos). Disponible en: http://www.manosdelalma.cl/products/cubre-alimentos-en-nocha#.V9wGB_nhCUk.

Menéndez, J. 2005 “*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel”. *Astumatura.com* (en línea) 72. Revisado en Agosto 2016. Disponible en:<http://www.astumatura.com/especie/phragmites-australis.html>.

Morales, G., López, D., Vera, I. & Vidal, G. 2013. Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas. *Theoria* 22(1): 33-46.

Opio, A., Jones, M., Kansime, F. & Oti, T. 2014. Growth and Development of *Cyperus papyrus* in a Tropical *Wetland*. *Open Journal of Ecology* 4: 113-123.

Pérez, J. & Gardey A. 2011. Definición.de: Definición de papiro. Revisado en Agosto 2016. Disponible en: <http://definicion.de/papiro/>.

Ramírez, C. & San Martín, C. 2008. Diversidad de Especies-Flora Acuática. Biodiversidad de Chile Patrimonio y Desafíos. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Revisado en Septiembre 2016. Disponible en: http://www.mma.gob.cl/librobiodiversidad/1308/biodiversid_parte_1a.pdf.

Rapoport, E., Marzocca, A., Drausal, B. 2009. Malezas comestibles del cono sur y otras partes del planeta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina. Reino vegetal, 2016. Revisado en Agosto 2016. Disponible en: http://contenidos.ceibal.edu.uy/fichas_educativas/public/ciencias-naturales/reino-vegetal/027-junco.html.

Robert D. & Ronald J C. 1998. Biologie végétale: caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. Organisation cellulaire. Doin, Paris.

Rodríguez, R. & Dellarossa V. 1998. Plantas vasculares acuáticas en la región del Biobío. Ediciones Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

Rojas, K., Vera, I. & Vidal, G. 2013. Influence of season and species *Phragmites australis* and *Schoenoplectus californicus* on the removal of organic matter and nutrients contained in sewage wastewater during the start-up operation of the horizontal subsurface flow constructed wetland. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía* 69(12): 230-240.

Royal Botanic Gardens Kew, 2016. Revisado en Agosto 2016. Disponible en: <http://www.kew.org/science-conservation/plants-fungi/zantedeschia-aethiopica-arum-lily>.

Sánchez, M. 2014. Todo sobre el papiro. Jardinería on. Revisado en Agosto 2016. Disponible en: <http://www.jardineriaon.com/todo-sobre-el-papiro.html>.

Sepúlveda, M. 2016. Producción de metano en el tratamiento de aguas servidas por humedales de flujo horizontal subsuperficial utilizando *Phragmites australis* y *Schoenoplectus californicus*: composición de las comunidades microbianas. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

Serrano, P. 2016. Revisado en Agosto 2016. Disponible en: <http://www.visitaalborea.com/joomla/index.php/naturaleza-y-medio-ambiente/flora/carrizo>.

Stevens, M. & Hoag, C. 2003. Plant Guide – CALIFORNIA BULRUSH *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey) Palla. United States Department of Agriculture (USDA). Natural Resources Conservation Service (NRCS). Revisado en Agosto 2016. Disponible en: http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/cs_scca11.pdf.

Tanner, C. 2001. Plants as ecosystem engineers in subsurface flow treatment wetlands. *Water Science and Technology* 44(11-12): 9-17.

Teillier, S. 2016. Curso de Botánica. Universidad Central de Santiago de Chile. Facultad de Arquitectura. Escuela de Arquitectura del Paisaje. Revisado en Septiembre 2016. Disponible en: <http://www.chlorischile.cl/cursoonline/guia2/guia2.htm#radiata>.

Terer, T., Triest, L. & Muthama, A. 2012. Effects of harvesting *Cyperus papyrus* in undisturbed wetland, Lake Navasha, Kenya. *Hydrobiologia* 680(1): 135-148.

Tierra Adentro, 2016. Revisado en Septiembre 2016. Disponible en: <http://www.tierra-adentro.cl/video/43/>.

Troya, M., Rubio, F., Prieto, M., Lorenzo, D., Fernández-Cabo, J. & Schöftner, R. 2009. Short communication, Natural durability of reed (*Phragmites australis*) against wood decay organism: relation to other forest species. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 18(3): 289-295.

Vera, I., García, J., Sáez, K., Moragas, L. & Vidal, G. 2011. Performance evaluation of eight years experience from constructed wetlands systems in Catalonia as alternative treatment for small communities. *Ecological Engineering* 37: 364-371.

Vera, I., Jorquera, C., López, D. & Vidal, G. 2016. Constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in Chile: reflections. *Tecnología y Ciencias del Agua* 7(3): 19-35.

Vidal, G. & Araya, F. 2014. Las aguas servidas y su depuración en zonas rurales: situación actual y desafíos. Editorial Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 118 pp. ISBN: 978-956-227-378-7

Vymazal, J. & Kröpfelová, L. 2008. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. *Environmental Pollution* 14. Springer. República Checa.

Vymazal, J. 2011. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. *Hydrobiologia* 674: 133-156.

Wallace, S. & Knight, R. 2006. Small-Scale Constructed Wetland Treatment Systems Feasibility, Design Criteria and O&M Requirements. Wastewater Treatment and reuse. Final Report. Water Environment Research Foundation (WERF). IWA Publishing. Estados Unidos.

Zhang, X., Wu, Q., Li, X., Zheng, S., Wang, S., Guo, L., Zhang, L. & Custers, J. 2011. Haploid plant production in *Zantedeschia aethiopica* 'Hong Gan' using anther culture. *Scientia Horticulturae* 129(2): 335-342.

Zurita, F., De Anda, J. & Belmont, M. 2009. Treatment of domestic wastewater and production of comercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering* 35: 861-869.







Universidad de Concepción



EULA-CHILE
Centro de Ciencias Ambientales

GIBA Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental UDEC



FONDO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE LA REGIÓN DEL BÍO-BÍO
CORFO INNOVA BIO BIO

INNOVACIÓN EN SU GENERACIÓN A PARTIR DE LA DEPURACIÓN DE AGUA

Gladys Vidal y Sujey Hormazábal

Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA-UDEC)
Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción
Diciembre 2016

ISBN: 978-956-227-405-0



9 789562 274050