

La colección **Manuales Técnicos de Biodiversidad** pretende mostrar el esfuerzo del Servicio de Espacios Naturales y Biodiversidad (Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente) en la búsqueda de respuestas prácticas para la conservación y gestión de especies y hábitats, más aun cuando estén amenazados.

El objetivo final es extender buenas prácticas de conservación fuera del ámbito de la administración pública, entendiendo que el protagonismo y la responsabilidad de la conservación del entorno debe recaer en los diferentes colectivos, entidades y personas que conforman nuestra sociedad.

Bases para el manejo y control de *Arundo donax* sintetiza los resultados obtenidos durante los años 2009 a 2011 en las experiencias realizadas tanto por la Dirección General del Agua del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, como por la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana, en el marco de actuaciones de control de *Arundo donax*, una de las plantas exóticas que mayores impactos negativos genera en un gran número de ríos españoles. En estas experiencias se han empleado diferentes métodos -químicos, físicos, mecánicos, bioingeniería o combinaciones entre ellos- para el control de la caña y se ha evaluado su eficacia, los costes de aplicación y la idoneidad de cada método en función de las características del medio fluvial donde se pretenda intervenir, con objeto de ofrecer una solución integral para el control de la especie invasora.



Unión Europea
Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural
Europa invierte en las zonas rurales

BASES PARA EL MANEJO Y CONTROL DE *Arundo donax* L. (Caña común)



Unión Europea
Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural
Europa invierte en las zonas rurales

BASES PARA EL MANEJO Y CONTROL DE *Arundo donax* L. (Caña común)

Vicente Deltoro Torró
Jesús Jiménez Ruiz
Xosé Manuel Vilán Fragueiro

2012 Valencia



Unión Europea
Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural
Europa invierte en las zonas rurales



Unión Europea

**Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural**

Europa invierte en las zonas rurales

Los resultados presentados en este manual corresponden, en parte, a los obtenidos durante la realización de la actuación: "Restauración ambiental de las riberas del Riu Verd" expediente administrativo CNCA08/101. La citada actuación ha sido financiada por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) en el marco de la medida 227 "Conservación de la Red Natura 2000 en el medio forestal" gestionada por la dirección general de Medio Natural.

BASES PARA EL MANEJO Y CONTROL DE *Arundo donax* L. (Caña común)

2012

AUTORES

Vicente Deltoro Torró¹

Jesús Jiménez Ruiz²

Xosé Manuel Vilán Fragueiro²

HAN PARTICIPADO EN LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTE MANUAL:

Araucana Sebastián de la Cruz¹, Carlos Peña Bretón¹, José Manuel García-Guijas Redondo², Alfonso Saiz de la Hoya Zamacola², Francisco Javier Sánchez Martínez³, José García Díaz³, Miguel Hernanz Sánchez², Ángel Enguix Egea⁴ y Juan Jiménez Pérez⁴.

AGRADECIMIENTOS: Los autores agradecen a los Drs. Elías D. Dana Sánchez y Simón Fos Martín sus correcciones e indicaciones durante la elaboración de este manual.

DISEÑO Y MAQUETACIÓN

Javier Blasco Giménez¹

Carles Gago Alabau¹

¹ VAERSA.

² Dirección Técnica de TRAGSA.

³ Dirección General del Agua. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

⁴ Servicio de Espacios Naturales y Biodiversidad. Dirección General Medio Natural. Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient. Generalitat Valenciana.

CÓMO CITAR ESTE LIBRO

Se **autoriza** la difusión de este documento técnico que, a efectos bibliográficos, debe citarse como:

Deltoro Torró, V., Jiménez Ruiz, J. & Vilán Fragueiro X.M. 2012. *Bases para el manejo y control de Arundo donax L. (Caña común)*. Colección Manuales Técnicos de Biodiversidad, 4. Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient. Generalitat Valenciana. Valencia.

EDITA

Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient. Generalitat Valenciana

ISBN: 978-84-482-5777-4

Depósito legal: V-2740-2012

© DEL TEXTO

Vicente Deltoro Torró, Jesús Jiménez Ruiz, Xosé Manuel Vilán Fragueiro

© DE LA EDICIÓN

Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient. Generalitat Valenciana

ÍNDICE

9	1. INTRODUCCIÓN
11	2. OBJETIVOS
13	3. CARACTERIZACIÓN DE <i>Arundo donax</i> L.
13	3.1. Descripción, origen y distribución
13	3.1.1. Descripción
14	3.1.2. Origen
15	3.1.3. Distribución
16	3.2. Biología, ecología e impactos que provoca en los medios que invade
16	3.2.1. Biología
20	3.2.2. Ecología
22	3.2.3. Impactos que genera en los medios que invade
27	4. GESTIÓN DE CAÑAVERALES
28	4.1. Análisis de los factores que condicionan las actuaciones de gestión de cañaverales
28	4.1.1. Ámbito de actuación
29	4.1.2. Características de cañaveral
29	4.1.3. Contexto social
30	4.1.4. Variables relativas a la actuación
32	4.2. Definición de objetivos y planificación de los trabajos
39	5. MÉTODOS DE CONTROL
39	5.1. Descripción de los métodos
40	a) Métodos químicos
41	Cuadro 1. Ensayos de diferentes principios activos para el control de <i>A. donax</i>
46	Cuadro 2. Marco legal para el empleo de herbicidas
47	Cuadro 3. Buenas prácticas para el empleo de herbicidas
50	b) Métodos físicos
55	c) Métodos de control mecánico
56	d) Métodos de fomento de la competencia
58	Cuadro 4. Ensayos de eficacia de los métodos para el control de cañaverales
60	Tabla resumen de los métodos de control para cañaverales
62	5.2. Métodos ineficaces para el control de cañaverales
63	5.3. Gestión de los residuos generados durante la eliminación de cañaverales
64	Cuadro 5. Ensayos de inertización de rizomas
66	5.4. Análisis de costes
69	6. CONCLUSIONES
71	7. REFERENCIAS

PRÓLOGO

Sr. D. Federico Ramos de Armas

Secretario de Estado de Medio Ambiente
Ministerio de Agricultura, Alimentación
y Medio Ambiente

La gestión sostenible del agua trata de compaginar el derecho de acceso universal al recurso “agua” con el mantenimiento del buen estado de nuestros cauces y sus riberas. La Secretaría de Estado de Medio Ambiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente tiene entre sus objetivos fundamentales el mantenimiento de dicho “buen estado” y su mejora, en caso necesario, en consonancia con la Directiva Marco de Agua, y con los criterios modernos de prevención y gestión del riesgo de inundación.

Nuestros ríos presentan una serie de presiones e impactos que alteran tanto sus características químicas y biológicas, como sus características morfológicas e hidráulicas. Una de las presiones más importantes es la alteración producida por la presencia de especies invasoras, algunas de ellas con grandes impactos, como el jacinto de agua o el mejillón cebra.

También, la gestión de la caña común (*Arundo donax*), especie invasora de alto grado de ocupación en nuestros cauces, ha llevado tradicionalmente a que las distintas administraciones empleasen grandes recursos económicos en su control y erradicación, con rentabilidades ambientales y económicas en algunos casos dudosas.

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, a través de la Dirección General del Agua y en el marco de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, trabaja en la aplicación de la investigación a la mejora del medio fluvial. Así, ha impulsado el “*Proyecto de I+D+i Optimización de los Sistemas de Eliminación y Control de Cañaverales para Mejora del Estado Ecológico y Recuperación de la Capacidad de Desagüe de los Ríos*”, cuyas conclusiones intentan rentabilizar y optimizar la labor que las distintas administraciones están realizando.

Esta publicación editada a iniciativa de la Generalitat Valenciana y que presenta conjuntamente los trabajos de erradicación propios de la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, así como las experiencias del proyecto I+D+i citado anteriormente, constituye un ejemplo de buena coordinación entre administraciones permitiendo el desarrollo de proyectos y actuaciones de mayor rentabilidad, económica y medioambiental.

PRÓLOGO

Sra. D. Isabel Bonig Trigueros

Consellera d'Infraestructures, Territori
i Medi Ambient

Las invasiones biológicas por algunas especies exóticas son una amenaza para la flora, la fauna, los hábitats y las actividades económicas del hombre en todo el mundo. La caña (*Arundo donax*), originaria de Asia, es una de esas especies exóticas ampliamente distribuida en nuestro país, donde coloniza los márgenes de los ríos formando extensos cañaverales. Al hacer esto, provoca impactos negativos severos sobre el medio natural y las estructuras humanas.

Ante esta situación, la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, a través de la Dirección General de Medio Natural decidió, llevar a cabo una serie de actuaciones para evaluar la eficacia y el coste de distintos métodos para el manejo y control de cañaverales. Estas experiencias se han beneficiado de la financiación por parte del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), en coherencia con sus objetivos de recuperación y mejora de la biodiversidad y el estado de los paisajes.

El presente manual técnico reúne el resultado de esas investigaciones así como de las promovidas por la Dirección General del Agua del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, a través del "*Proyecto de I+D+i Optimización de los Sistemas de Eliminación y Control de Cañaverales para Mejora del Estado Ecológico y Recuperación de la Capacidad de Desagüe de los Ríos*", englobado dentro de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos. De este modo, se ofrece a los gestores ambientales una base metodológica para la puesta en marcha de proyectos de manejo de cañaverales eficaces y respetuosos con el medio natural.





Las plantas exóticas han incrementado su diversidad y abundancia en ríos y medios riparios de todo el mundo y esto puede provocar profundas alteraciones en su estructura y funcionamiento (Richardson *et al.* 2007). Los motivos que pueden explicar esta tendencia global incluyen características propias de estos ambientes, pero también la acción humana. Entre los primeros se encuentra el hecho de que los ríos son medios dinámicos en los que tienen lugar importantes flujos de materia y energía (Ewel *et al.* 2001). Además, las riberas acumulan sedimentos y son ricas en agua y nutrientes, cuya concentración aumenta por las actividades antrópicas. A esto hay que añadir que se trata de ambientes muy alterados por el hombre, que ha introducido un buen número de especies exóticas en un medio que favorece su dispersión, debido a su carácter lineal. Por último, debe tenerse en cuenta el papel de las perturbaciones, habituales en estos hábitats y generadoras de espacios sin competencia (Planty-Tabacchi *et al.* 1996) listos para ser colonizados. Cuando todos estos elementos se conjugan, es fácil comprender por qué estos ecosistemas son, en palabras de Hood y Naiman (2000) “desproporcionadamente susceptibles a la invasión”. Estas invasiones son protagonizadas por plantas capaces de explotar los recursos de manera oportunista y de establecer formaciones vegetales en las que las especies exóticas dominan, excluyen o subordinan a las nativas (Zedler 2004).

La caña (*Arundo donax*) es un ejemplo muy representativo de este tipo de especies y, a la sazón, una de las plantas exóticas más comunes en las riberas de los ríos españoles (figura 1). Considerada uno de los 100 organismos más invasores del mundo (Lowe *et al.* 2000), su establecimiento

en estos ambientes plantea problemas ecológicos y de gestión de los recursos hídricos. No en vano, *A. donax* transpira más agua por unidad de superficie que la vegetación nativa (Abichandani 2007; Watts y Moore 2011) e incrementa el riesgo de incendio (Scott 1994; Coffman *et al.* 2010) de las zonas invadidas. Además, esta especie invasora modifica las características físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas que coloniza, alterando el microclima de la zona riparia al proporcionar un menor sombreado a la corriente de agua, empobreciendo el horizonte edáfico superficial debido al bajo contenido en nutrientes de su follaje o proporcionando un hábitat poco adecuado para la fauna silvestre nativa (Bell 1997; Dudley 2000; Herrera y Dudley 2003; Kissner 2004).

Por estas y otras razones, la eliminación de *A. donax* del medio ribereño es contemplada, cada vez con más frecuencia, como una condición necesaria para la recuperación del buen estado ecológico de los sistemas fluviales en todo el mundo (Vilán *et al.* 2011). Sin embargo, su control definitivo es complejo, ya que invariablemente pasa por provocar la muerte del rizoma, el órgano perenne subterráneo de la planta. Los métodos habituales de gestión de cañaverales, por desbroce o quema, no solo no son eficaces, sino que consolidan la dominancia de *A. donax* sobre las comunidades ribereñas nativas (Coffman *et al.* 2004; Guthrie 2007; Coffman *et al.* 2010), agravando la invasión. Por otro lado, los intentos de control biológico de esta especie todavía se encuentran en una fase inicial (Cortés *et al.* 2009; Goolsby y Moran 2009). Por lo tanto, las opciones reales para el control de esta especie invasora son la extracción mecánica de su rizoma mediante excavación del sustrato o la aplicación repetida de herbicidas sistémicos a la parte aérea,

empleando distintos métodos. También se ha ensayado con éxito el cubrimiento de los cañaverales desbrozados con coberturas opacas. Por otro lado, métodos novedosos abren nuevas posibilidades para el control de la caña. Entre ellos, destacan los que consisten en incrementar la competencia que ofrecen las especies riparias nativas y otros que provocan el agotamiento de los rizomas mediante una reiteración de desbroces mecánicos.

Las experiencias descritas en el párrafo anterior han sido realizadas en distintos países y aparecen dispersas en publicaciones de índole diversa y, salvo excepciones (Guthrie 2007; Spencer *et al.* 2009 ; Mota 2009), no han sido evaluadas científicamente o son meramente descriptivas o estimativas. La inexistencia de un documento coherente que evaluase de manera sistemática los métodos de control de *A. donax*, promovió que la Dirección General del Agua del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), a través del “*Proyecto de I+D+i Optimización de los Sistemas de Eliminación y Control de Cañaverales para Mejora del Estado Ecológico y Recupe-*

ración de la Capacidad de Desagüe de los Ríos”, englobado dentro de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, desarrollara una serie de experiencias para el control y erradicación de la caña común, distribuidas sobre todo el territorio nacional. Por otro lado, la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana (CITMAGV), ha promovido también una serie de ensayos para el control y gestión de cañaverales, dentro del Proyecto de “*Restauración de las Riberas del Riu Verd. Evaluación de métodos de control de Arundo donax*”. Ambas administraciones plasman conjuntamente en este manual, los resultados más relevantes alcanzados en dichos proyectos. De este modo, se pone a disposición de los gestores del medio natural una base metodológica con información suficientemente detallada para poner en marcha actuaciones de control de cañaverales. Por esta razón, se hace especial hincapié en los obstáculos que habitualmente dificultan este tipo de trabajos. Todo ello, es precedido por una revisión de la biología, la ecología y los impactos que genera *A. donax*, con un énfasis en aquellos aspectos relevantes para su gestión.



Figura 1. Tramo del río Albaida, cerca de Xàtiva (Valencia), dominado por especies vegetales exóticas. En el cauce puede verse (a) jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) junto a (b) *Ludwigia grandiflora*. *A. donax* (c) que ocupan las riberas. Con posterioridad a la realización de esta fotografía (2006), este gran núcleo de jacinto de agua fue eliminado por la Confederación Hidrográfica del Júcar en el marco de una actuación de control temprano. Imagen: Generalitat Valenciana.

2



OBJETIVOS

a) El conocimiento de la biología de *A. donax* es de gran relevancia para planificar la eliminación de cañaverales. Por un lado, la sensibilidad de esta especie a los diferentes métodos de control varía a lo largo del año. Además, el empleo de determinados métodos puede contribuir a una dispersión no deseada de esta especie o, incluso, a favorecer la consolidación de sus poblaciones. Por estas razones, el primer objetivo de este manual es **revisar los aspectos de la biología de la especie relevantes para su gestión**, de modo que los métodos que se apliquen para su control cumplan el objetivo pretendido.

b) Cuando se emprende una actuación de manejo de una especie invasora el establecimiento de metas es importante. Y especialmente en el caso de la caña, que coloniza amplios tramos de riberas fluviales en situaciones muy diferentes. Por esta razón, es necesario tener en cuenta los diversos aspectos que condicionarán los trabajos de eliminación. Por otro lado, hay que tener en cuenta que el resultado de los trabajos suele ser un medio ripario desprovisto de vegetación y vulnerable a nuevas invasio-

nes. Por lo tanto, es necesario determinar de antemano qué se quiere en su lugar. Por estos motivos, el segundo objetivo de este manual es **proponer un marco para el diseño y la planificación de las actuaciones de control de cañaverales**.

c) La eliminación de cañaverales puede llevarse a cabo mediante el empleo de diversos métodos —químicos, físicos, mecánicos y de fomento de la competencia—. Sin embargo, todos ellos difieren en su eficacia, en los impactos que producen sobre el medio y en sus costes de aplicación. Además, su utilización estará condicionada por múltiples variables, que incluirán desde aspectos normativos al tipo de intervención que se pretenda realizar, pasando por las características del cañaveral, la localización de la actuación o la posibilidad de realizar repastos en años sucesivos. Por ello, el tercer objetivo del manual es **analizar los métodos que permiten el control de *A. donax* en términos de coste, eficacia y afección al medio**, con vistas a establecer las mejores prácticas para su aplicación.

3

CARACTERIZACIÓN DE *Arundo donax* L.

3.1. *Arundo donax*: descripción, origen y distribución

3.1.1. Descripción

El género *Arundo* (L.) pertenece a la familia de las gramíneas (*Poaceae*) e incluye seis especies nativas de climas cálidos de Europa, Asia y África. Este manual se centra, por los problemas que provoca en los medios fluviales mediterráneos, en la especie *A. donax*, comúnmente conocida como caña o cañizo. Desde el punto de vista taxonómico, *A. donax* pertenece a la subfamilia *Arundinoideae*, que incluye gramíneas tropicales caracterizadas por inflorescencias plumosas —*Cortaderia*, *Phragmites*, etc—. Las de la caña miden entre 40 y 60 centímetros y aparecen en el extremo de los tallos, a finales de agosto.

A. donax es la especie de mayor tamaño del género y una de las gramíneas más grandes del mundo. Sus hojas alter-

nas, de color verde glauco, pueden mantenerse verdes todo el año (figura 2a). No obstante, en climas con alternancia estacional, las hojas y los tallos amarillean durante la época más seca del año o en los meses del invierno, cuando la especie entra en un periodo de reposo vegetativo.

La parte aérea de la caña está formada por tallos erectos de una altura entre los 5-6 m, huecos y segmentados, con nudos cada 20-30 centímetros y un diámetro medio de 2 centímetros. Los nudos, con forma de anillo engrosado, son ricos en fibras lignificadas, lo que les confiere una gran estabilidad mecánica, de modo que su porte erecto es independiente de la turgencia de la planta (figura 2b). Es decir, los tallos de las cañas no se marchitan en condiciones de déficit hídrico. Además, los nudos alojan yemas de las que emergen ramas secundarias en su segundo año de vida. Tanto tallos como hojas poseen un contenido elevado de sílice, debido a la presencia de células síliceas asociadas con los haces vasculares en la capa epidérmica (Perdue 1958).



Figura 2. La parte aérea de *A. donax* (a) es enteramente fotosintética durante sus primeros meses de vida. La estabilidad de unos tallos que pueden alcanzar varios metros de altura es debida a estructuras en forma de anillo engrosado (nudos, b), ricas en fibras lignificadas. Imágenes: Generalitat Valenciana.

La parte subterránea está constituida por un rizoma carnoso que actúa como reserva de carbohidratos (figura 3). El rizoma es, a su vez, el órgano perenne de la caña y el responsable de la producción de nuevos tallos. Se localiza a una profundidad variable entre 5-15 centímetros, pero puede llegar a los 40-50 centímetros. Del rizoma parten también raíces fibrosas capaces de penetrar en el

suelo hasta 1 metro (Sharma *et al.* 1998; Giessow *et al.* 2011), si bien la mayoría son más someras. El rizoma se expande horizontalmente a lo largo de un eje y se ramifica al alcanzar áreas de sustrato libres de competencia (Decruyenaere y Holt 2005). La expansión del cañaveral debida al crecimiento de los rizomas suele ser lenta (Boiland 2006; Giessow *et al.* 2011).



Figura 3. La producción de nuevos tallos tiene lugar a partir de grandes yemas apicales en el extremo de los de los rizomas; (a) rizoma extraído del sustrato en el que puede verse el sistema radicular de la caña; Los fragmentos de rizoma (b) conservan la capacidad de rebrotar durante semanas fuera del sustrato y, al ser arrastrados por la corriente del río, permiten la colonización de nuevos emplazamientos y la expansión del cañaveral. Imágenes: a, Generalitat Valenciana; b: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

3.1.2. Origen

El área nativa de la caña es objeto de debate ya que su origen biogeográfico y evolutivo ha sido difuminado por su uso ancestral por parte del hombre (figura 4). La evidencia botánica e histórica confiere peso a la hipótesis de que su origen tuvo lugar a partir de un conjunto de especies silvestres nativas de la región mediterránea (Zeven y Wet 1982; Wagner *et al.* 1999) donde *A. donax* crece junto a otros congéneres: *A. plinii*, *A. collina* y *A. medite-*



Figura 4. El origen de la caña es confuso debido a la utilización que el hombre ha hecho de esta especie desde la antigüedad. Algunos de estos usos continúan vigentes, como las barracas para las especies hortícolas trepadoras. Imagen: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

ranea. Por otro lado, las técnicas moleculares sugieren un origen monofilético (Mariani *et al.* 2010) y asiático. Las muestras analizadas procedentes del Mediterráneo se caracterizan por su baja diversidad genética, lo que es indicativo de un origen reciente y de que, posiblemente, *A. donax* ha estado sujeta a cuellos de botella evolutivos durante la colonización de esta región. Todas estas evidencias excluirían al Mediterráneo como centro de origen. Basándose en esto, algunos autores sugieren que *A. donax* es nativa de Asia, desde donde se extendió al resto del mundo, tal y como fue postulado por Polunin y Huxley (1987). A su vez, estos datos indican que su propagación ha sido fundamentalmente vegetativa. Por lo tanto, el éxito colonizador de esta especie debe haber estado sustentado en:

a) Una expansión clonal rápida y relativamente reciente de las poblaciones generadas por fragmentos, dispersados en el curso de inundaciones o por la acción del hombre (Mariani *et al.* 2010).

b) Las peculiaridades de su fisiología, entre las que destaca su elevada productividad (Rossa *et al.* 1998), lo que le permite un rápido crecimiento una vez naturalizada.

3.1.3. Distribución

A. donax crece en gran parte de las regiones templado-cálidas y tropicales del mundo. Está presente en el sur de Europa, Sudáfrica, norte de África, Australia, Nueva Zelanda, la mayor parte del centro y sur de Asia, Estados Unidos, Antillas, América Central, América del Sur, las islas del Pacífico y Macaronesia (figura 5).

En el continente europeo se encuentra naturalizada en todos los países del sur, en un área amplia que se extiende desde Turquía pasando por Grecia y Creta, antigua Yugoslavia, Albania hasta Italia, Cerdeña, Córcega, Francia, España

y Portugal (Sanz-Elorza *et al.* 2004).

En España, es especialmente abundante en los territorios costeros mediterráneos. De hecho, las áreas donde la invasión del medio fluvial es más intensa son la depresión del Ebro, Cataluña, Baleares, Comunitat Valenciana, Murcia, la mayor parte de Andalucía y las Canarias. También es posible encontrar poblaciones naturalizadas en un gran número de provincias españolas entre las que se encuentran: Badajoz, Vizcaya, Cádiz, Cáceres, Córdoba, Ciudad Real, Granada, Huelva, Huesca, Jaén, La Rioja, Madrid, Málaga, Navarra, Pontevedra, Salamanca, Sevilla, Guipúzcoa, Teruel, Toledo, Valladolid, Zaragoza y Zamora (Sanz-Elorza *et al.* 2004).



Figura 5. Países del mundo en los que está presente *A. donax*.

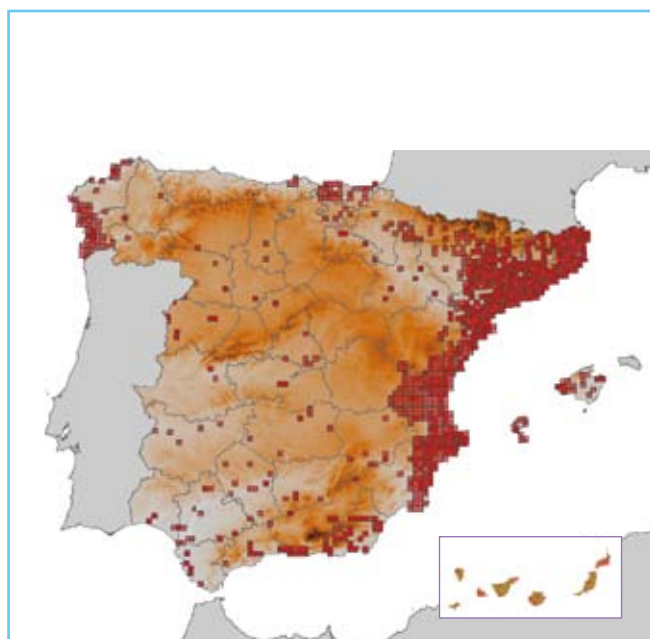


Figura 6. Distribución de *A. donax* en España. La presencia se muestra mediante cuadrículas UTM de 10x10 km de lado.

La elaboración de la figura 6 ha sido posible gracias a los datos recopilados por las siguientes fuentes: Programa Anthos (CSIC-Real Jardín Botánico-Fundación Biodiversidad), Banc de Dades de la Biodiversitat (Generalitat Valenciana, Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente), Proyecto ORCA. Atlas Corològic de la Flora Vascular dels Països Catalans (Institut d'Estudis Catalans), Atlas de las Plantas Alóctonas Invasoras (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente), Curso de capacitación contra invasoras de agentes y vigilantes medioambientales y Plantas invasoras de Galicia (Consellería de Medio Ambiente, Xunta de Galicia), Especies vegetales invasoras de Andalucía (Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía), Manual de las especies exóticas invasoras de los ríos y riberas de la cuenca hidrográfica del Duero (Confederación Hidrográfica del Duero), Atlas de la flora alóctona de Bizkaia (Departamento de Botánica, Sociedad de Ciencias Naturales de Sestao), Diagnòsis de la flora alóctona invasora de la CAPV. Biodiversidad y paisaje (Gobierno Vasco) y Base de datos Global Biodiversity information Facility (GBIF-España).

3.2. Biología, ecología e impactos que provoca en los medios que invade

El conocimiento de la biología y la ecología de una especie invasora es fundamental para:

- a) Establecer prioridades de intervención.
- b) Determinar cuáles son los mejores métodos de control.
- c) Incrementar la resistencia a la invasión de los ecosistemas nativos mediante técnicas de restauración que minimicen los recursos disponibles para la especie invasora que se pretende combatir.

Por estas razones, esta sección ofrece una síntesis de los aspectos conocidos de su ciclo vital y de los factores que lo gobiernan. En este sentido, hay que subrayar que existen cuestiones relativas a la biología de esta especie que todavía han sido poco estudiadas o sobre las que diferentes experiencias arrojan resultados que podrían considerarse contradictorios. No en vano, buena parte del conocimiento disponible sobre su ecología proviene de experiencias de laboratorio o de cultivo y las observaciones de campo en ocasiones contradicen esos resultados. Pero también es cierto que la variabilidad de la respuesta de la caña a diversos factores podría ser interpretada como una muestra más de su plasticidad, lo cual, si se tiene en cuenta su elevada productividad y capacidad de dispersión, supone un reto añadido para cualquier intento de control de esta especie invasora.

A pesar de las lagunas de conocimiento que como se indica todavía existen —algo sorprendente si se tiene en cuenta la cantidad de recursos que se invierten en el control de *A. donax* en todo el mundo— es posible extraer información de relevancia para su gestión, tal y como se comprobará en los siguientes apartados.

3.2.1. Biología

En las regiones de clima mediterráneo, *A. donax* exhibe un crecimiento estacional, gobernado por la temperatura. Según Spencer y Ksander (2006) por debajo de 7 °C el rizoma deja de emitir tallos, mientras que por encima de los 30 °C también se produce una inhibición de la brotación. Por el contrario, otros autores consideran que la producción de brotes es gobernada por factores intrínsecos, como el nivel de carbohidratos almacenados, más que por factores externos (Quinn y Holt 2009). En cualquier caso, en los territorios con alternancia de estaciones, los nuevos tallos emergen durante la primavera y el verano,

y en su primera estación de crecimiento se desarrollan verticalmente y producen únicamente tejido fotosintético. Estos tallos jóvenes conviven con otros de diversas edades, de modo que en un cañaveral podemos encontrar:

- a) Tallos o cañas de primer año enteramente verdes durante sus primeros meses de vida.
- b) Cañas de dos o más años, ya lignificadas y ramificadas secundariamente.
- c) Abundantes cañas muertas, ramificadas o no.

La proporción de cada uno de estos grupos dentro del cañaveral dependerá, entre otras cosas, de su edad o de las condiciones ambientales en las que crezca, pero es un aspecto poco estudiado. De igual modo, tampoco se conoce la longevidad de las cañas, si bien se sabe que pueden vivir más de dos años.

Hacia finales de agosto, las hojas inferiores de las cañas en su primer año de vida comienzan a secarse. Este proceso continúa durante el otoño, cuando el contenido en agua de la parte aérea disminuye, en paralelo a una gradual lignificación, pérdida del color verde y reducción de su actividad fisiológica. Esto es debido a unas temperaturas progresivamente más bajas, entre otros factores. También en esta época se produce la floración y los tallos aparecen coronados por inflorescencias plumosas (figura 7). Estos procesos son acompañados por un transporte de carbohidratos solubles a través del floema, desde la parte aérea hacia los órganos de almacenamiento subterráneos, lo que se traduce en un menor contenido en estos compuestos en las hojas si se comparan con los niveles medidos en primavera y verano (Decruyenaere y Holt 2001). De hecho, en la caña se produce una alternancia entre asignación de nutrientes a la parte aérea en primavera y verano, y a la parte subterránea en otoño e invierno (Dudley 2000). Por esta razón, la fumigación con herbicidas sistémicos transportados por el floema será más eficaz si se realiza a finales de verano, ya que alcanzará el sistema radicular con mayor probabilidad.

Transcurrido el invierno, con el inicio de la segunda estación de crecimiento, se produce la emisión de ramas laterales a partir de las yemas axilares presentes en los nudos (Decruyenaere y Holt 2001). Estas ramas constituyen el 75% del área foliar de un cañaveral maduro (figura 8). A pesar de esta ramificación, la estructura del cañaveral continúa siendo la de una formación poco intrincada y homogénea, integrada esencialmente por elementos verticales y desprovista de un estrato arbustivo, desplazado



Figura 7. Arriba. Dos aspectos de las inflorescencias plumosas de *A. donax*, que aparecen en el extremo de los tallos hacia finales de agosto. Imágenes: Simón Fos Martín. Abajo. Aspecto invernal de un cañaveral en reposo vegetativo con su característico color pardo. Imágen: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

por la intensa competencia por el espacio que ejerce esta especie invasora, tanto horizontal —rizomas— como verticalmente —tallos—.

Como se ha comentado, *A. donax* florece al final del verano, si bien las semillas que produce no son fértiles. Algunos trabajos han demostrado la existencia de embriones y semillas viables, pero no de germinación (Johnson *et al.* 2006). Por otro lado, la comparación entre la generación de gametos en *A. donax* con la de sus congéneres fértiles *A. plinii* y *A. collina* sugiere que la infertilidad en la primera podría deberse a alteraciones post-meióticas durante el desarrollo de los óvulos y del polen (Mariani *et al.* 2010).

Por lo tanto, en ausencia de semillas fértiles, el crecimiento o expansión del cañaveral es sustentado por:

a) Crecimiento vegetativo: es el principal medio de expansión del cañaveral. Las nuevas plantas generadas permanecen conectadas a todos los niveles. Según Boland (2006), es el resultado de dos procesos (figura 9):

a.1) Enraizamiento de tallos lignificados. Se trata de un proceso durante el cual, las cañas lignificadas que entran en contacto con el sustrato al ser tumbadas por las riadas, precipitaciones intensas, el trasiego de fauna o de maquinaria, etc., enraízan y producen nuevas plantas a partir de las yemas presentes en los nudos. Es un mecanismo clave en la expansión del cañaveral, en

contra de lo comúnmente admitido, que otorgaba a la masa de rizoma este papel. Boland (2006) en un estudio de campo, demuestra que el tumbado y enraizado de tallos hace avanzar el cañaveral 7,4 veces más rápido que el crecimiento de los rizomas, pero solo en zonas sometidas a las perturbaciones indicadas anteriormente. Desde el punto de vista de la gestión de cañaverales, debe tenerse en cuenta que las cañas no lignificadas, no son capaces de enraizar (Decruyenaere y Holt 2001).

a.2) Crecimiento de los rizomas. Considerado como responsable principal de la rápida expansión del cañaveral (Eise 1996; DiTomaso 1998), se ha demostrado mucho más lento en comparación con el sustentado por los tallos. Por el contrario, este proceso supone la ocupación horizontal del sustrato y constituye un comportamiento clave para el dominio del medio ribereño.

b) Reproducción asexual: entendida como el incremento numérico en unidades vegetales independientes producidas por medios clonales (Grace 1993). Ocurre ocasionalmente cuando las plantas originadas por enraizamiento de cañas lignificadas, pierden la conexión y se convierten en plantas autónomas.

Además, el crecimiento vegetativo también permite la consolidación del cañaveral, que depende del mantenimiento de una densidad elevada de tallos. El órgano responsable de su producción es el rizoma (Decruyenaere y Holt 2005). La densidad del cañaveral —ocupación



Figura 8. En sus primeros meses de vida, los tallos de *A. donax* poseen hojas desde la base hasta el ápice y son enteramente fotosintéticos (mitad superior de la fotografía). Durante la segunda estación de crecimiento, las cañas, ya lignificadas, emiten ramas laterales a partir de yemas situadas en los nudos (mitad inferior de la fotografía). Imágen: Generalitat Valenciana.

vertical— es, junto con el crecimiento de los rizomas —ocupación horizontal del sustrato—, el otro mecanismo clave para su dominancia de las riberas fluviales, ya que evita la formación de claros en su interior y que éstos sean colonización por especies riparias nativas.

Por otro lado, la dispersión de la especie está únicamente sustentada por mecanismos de reproducción asexual, en la que los fragmentos de tallos y rizomas dan lugar a nuevas plantas. No obstante, de acuerdo con la experiencia obtenida y la de otros autores (Decruyenaere y Holt 2001; Quinn 2006), si bien los fragmentos de tallo pueden jugar un papel en la dispersión de *A. donax*, los fragmentos de rizoma son los principales responsables de este proceso. A esto contribuye el hecho de que:

a) Son capaces de germinar independientemente de su tamaño (cuadro 5, pág. 64) y bajo la gran mayoría de condiciones ambientales.

b) Conservan la capacidad de rebrotar durante un periodo mucho más prolongado que los fragmentos de tallo (Decruyenaere y Holt 2001; Quinn 2006).

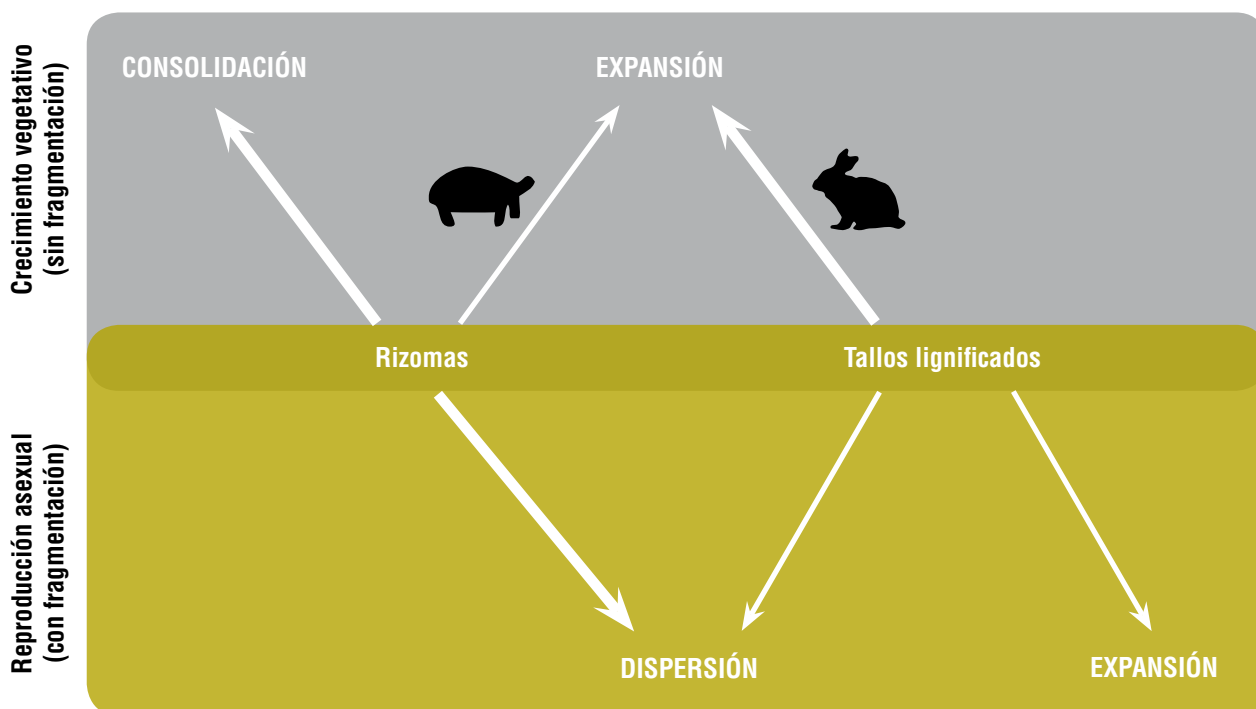
La producción de fragmentos —de rizoma o de tallo— que permiten la dispersión y colonización a larga distancia

es un fenómeno poco común en condiciones naturales, incluso bajo condiciones favorables para su generación, como son las precipitaciones intensas (Boland 2006). Las tasas elevadas de producción de fragmentos descritas en ocasiones en la bibliografía (Else 1996) son debidas a trabajos de eliminación mecánica de la especie, como por ejemplo extracción de rizomas y su posterior trituración junto con las cañas (ver apartado de gestión de los residuos).

Por último, hay que destacar el papel del rizoma como órgano de reserva durante la estación desfavorable y de resistencia frente a las bajas temperaturas, el fuego o la herbivoría. Este reservorio permite a *A. donax* retomar con mayor rapidez que las especies nativas el espacio ripario, y volver a dominarlo, especialmente en aquellas situaciones en las que una alteración como un incendio —ver sección métodos que no conducen al control de *A. donax*— o una crecida del río provoca la eliminación de su parte aérea (Coffman 2007).

En definitiva, independientemente del papel de los tallos en la expansión del cañaveral, los rizomas son el órgano que garantiza el carácter perenne de esta especie y sus fragmentos su principal vector de dispersión. Por esta razón, en la gestión de cañaverales, los esfuerzos deben dirigirse a provocar su muerte y la inertización de sus restos.

Nuevas plantas interconectadas



Nuevas plantas sin conexión

Figura 9. Los mecanismos de crecimiento vegetativo (área gris) y de reproducción asexual (área verde) sustentan la expansión (crecimiento lateral) y consolidación (mantenimiento o incremento de su densidad) de los cañaverales así como su dispersión (transporte a larga distancia de propágulos viables y colonización de nuevos lugares) de la especie. El grosor de las flechas es indicativo de la contribución relativa de cada órgano a los procesos mencionados. Las siluetas de los animales indican la rapidez relativa con la que tiene lugar la expansión del cañaveral como consecuencia del crecimiento de los rizomas o del enraizamiento de los tallos.

3.2.2. Ecología

A. donax es una especie capaz de crecer en una amplia variedad de condiciones ambientales, posiblemente como resultado de su plasticidad fenotípica, un rasgo común a muchas plantas invasoras (Annapurna y Singh 2003; Pan *et al.* 2006) pero poco estudiado en esta especie. Así, aunque la caña es considerada una planta acuática emergente (Cook 1990), una vez establecida no precisa de un aporte constante de agua, por lo que puede crecer en lugares secos (Perdue 1958; Hoshovsky 1987), como evidencia la figura 10. De esta forma, puede ocupar la totalidad del ambiente ribereño, desde la orilla del río hasta las zonas más secas donde crecen árboles y arbustos, con los cuales puede competir. Esta capacidad para crecer, bajo condiciones de deficiencia hídrica es debida a la resistencia a la sequía del rizoma y a que sus raíces le permiten obtener agua de las capas profundas del sustrato (Frandsen 1997).

Otra muestra de su plasticidad es el amplio gradiente de intensidades luminosas bajo las que puede desarrollarse. Existen estudios que demuestran que tolera niveles bajos de radiación (Bell 1997; Spencer *et al.* 2005). Sin embargo, otros resultados apuntan a que la sombra puede dificultar su establecimiento en las orillas fluviales (Coffman 2007; Quinn y Holt 2009). En cualquier caso, la caña es capaz

de colonizar formaciones riparias nativas no alteradas (Rejmánek 1989). No obstante, las perturbaciones del medio fluvial provocadas por el hombre han jugado un papel fundamental en el éxito de la invasión por esta especie (Bell 1997), puesto que los medios desprovistos de vegetación riparia y con elevada disponibilidad hídrica resultan más vulnerables a la colonización por *A. donax* (Boland 2006; Quinn y Holt 2009).

Por otro lado, *A. donax* se muestra indiferente a la naturaleza mineralógica del sustrato (Perdue 1958) y puede crecer en suelos arcillosos, arenosos o pedregosos e incluso los semisalinos de estuarios (Grossinger *et al.* 1998). Sólo la temperatura actúa como factor ecológico limitante para esta especie, ya que es sensible a las heladas una vez iniciado el crecimiento en primavera (Perdue 1958; Decruyenaere y Holt 2001) aunque las tolera durante la fase de reposo vegetativo.

A pesar de que *A. donax* puede crecer en ambientes muy dispares, sus tasas más elevadas de crecimiento se han registrado en medios insolados, con temperaturas elevadas y abundancia de nutrientes y recursos hídricos. En estas condiciones, los brotes exhiben incrementos en longitud de hasta 70 centímetros por semana (Hoshovsky 1987) o 10,2 centímetros por día (Dudley 1998). Esta velocidad de desarrollo se debe a que todo el crecimiento



Figura 10. El carácter eurioico de *A. donax* le permite colonizar gran variedad de ambientes. En la fotografía, realizada a finales de julio, puede verse un cañaveral en un solar de Valencia. El contraste entre su parte aérea, que no muestra síntomas de estrés hídrico, y la vegetación ruderal agostada es indicativo de su tolerancia a la sequía, una vez establecida. Imagen: Simón Fos Martín.

se invierte en tejidos fotosintéticos con elevada capacidad fotosintética (Rossa *et al.* 1998; Spencer y Ksander 2006) y es sustentada por un elevado consumo de agua, que puede llegar a ser 20 veces mayor que el de la vegetación ribereña nativa (Hendrickson y McGaugh 2005).

De lo anterior se deduce que el crecimiento de *A. donax* es modulado por la disponibilidad de nutrientes (Jiménez *et al.* 2011). Por ejemplo, concentraciones elevadas de nitrógeno provocan que no exhiba dormancia y que la masa de rizomas se expanda activamente de manera lateral, en lo que constituye un comportamiento más competitivo. Por el contrario, en medios pobres en nutrientes, su crecimiento es más conservador —limitado a la sustitución de tallos viejos— y exhibe un periodo de reposo vegetativo durante el invierno (Decruyenaere y Holt 2005). Boland (2006) obtiene resultados semejantes al observar en el medio natural que los rizomas de las zonas de inundación, ricas en agua y nutrientes, crecen a mayor velocidad que los de medios más pobres.

Estas elevadas tasas de crecimiento se traducen en una altísima productividad, estimada en 20 toneladas de peso seco por hectárea (Perdue 1958). Se trata de cifras muy superiores a las de las especies nativas con las que ha sido comparada, si bien las diferencias se atenúan cuando su productividad se compara con la de las plantas autóctonas en ambientes pobres en nutrientes (Coffman 2007). Estos resultados coinciden con las observaciones de Daehler (2003) acerca de la mayor capacidad competitiva de las plantas nativas frente a las exóticas en situaciones de escasez de recursos.

No obstante, es importante tener en cuenta que, cuando *A. donax* se ha cultivado en compañía de especies arbustivas nativas (*Salix* y *Baccharis*) en condiciones de elevada disponibilidad de agua, nutrientes y luz, éstas inducen una importante disminución de su productividad, mientras que lo contrario no es observado. A pesar de esto, la caña continúa superando en productividad a ambas especies (Coffman 2007). Las conclusiones que se derivan de este estudio son:

a) *A. donax* no es más competitiva en la adquisición de recursos que algunas plantas nativas ya que cuando crece junto a ellas no provoca una disminución de su productividad.

b) La menor productividad de *A. donax* inducida por el crecimiento conjunto con especies nativas podría deberse a la competencia que las últimas ejercen por el espacio, no por los nutrientes u otros recursos, que eran

muy abundantes. La forma erecta y ramificada de los arbustos leñosos utilizados por Coffman (2007) puede restringir la expansión hacia el exterior que caracteriza el comportamiento competitivo de la caña.

c) La mayor productividad de la especie invasora, incluso en situaciones en que ésta se ve mermada por competencia con especies nativas, hace pensar en una eventual exclusión competitiva de estas últimas, tal y como confirman los estudios de Quinn y Holt (2009).

d) Por lo tanto, *A. donax* debe excluir a las especies nativas gracias a la combinación de elevada productividad, debido a su peculiar fisiología, y a su crecimiento clonal, que le permite ocupar el sustrato vertical (tallos) y horizontalmente (rizomas), acaparando preventivamente el sustrato frente a posibles competidores.

Estos resultados resaltan la importancia de la restauración con especies nativas tras la eliminación de *A. donax*, especialmente en medios ricos en nutrientes. El objetivo de la restauración, además del control de la erosión sería:

1) Reducir la productividad de *A. donax* creando una fuerte competencia por los recursos.

2) Limitar su expansión horizontal generando una fuerte competencia por el espacio.

En nuestras experiencias se logró un excelente control de *A. donax* con el método de cobertura de ramas vivas, consistente en establecer una densa sauceda sobre un cañaveral previamente debilitado por dos desbroces. Estos resultados confirmarían las posibilidades que ofrecen los métodos que fomentan el incremento de la competencia por plantas riparias nativas en el control de cañaverales, de acuerdo con lo señalado por algunos autores (Hoshovsky y Randall 2000) que subrayan el potencial, a menudo ignorado, de estas técnicas.

Por otro lado, lo anterior pone de relieve la importancia del control de la carga de nutrientes de ríos y medios ribereños como herramienta para el control de especies invasoras. *A. donax* es mucho más productiva y, por tanto, más competitiva y difícil de erradicar en medios ricos en nutrientes. Estas observaciones coinciden con las de Daehler (2003), en el sentido de que los recursos abundantes conjugados con las perturbaciones favorecen en la gran mayoría de los casos a las especies invasoras frente a las nativas y viceversa.

Por lo tanto, en la gestión de cañaverales, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los cañaverales exhibirán tasas de expansión elevadas en medios sometidos a perturbaciones —que provocan el tumbado de las cañas— y con abundantes recursos que sustentan una elevada productividad en *A. donax*. El reclutamiento en estas formaciones es debido a los rizomas y a los tallos que enraízan, y no depende de fuentes de propágulos externas.

- En ausencia de perturbaciones y con menor disponibilidad de recursos, el cañaveral es una formación relativamente estática, pues la expansión por crecimiento de los rizomas es lenta. En estos casos, el reclutamiento de nuevos tallos es conservador, se invierte en el mantenimiento del cañaveral y no en su expansión.

3.2.3. Impactos que genera en los medios que invade

Las gramíneas exóticas provocan profundas transformaciones de los ecosistemas que invaden en todo el mundo. Estos cambios pueden tener lugar rápidamente, con la introducción de regímenes de fuego gobernados por estas hierbas (Hughes, Vitousek y Tunison 1991; D'Antonio y Vitousek 1992; Brooks *et al.* 2005), pero también puede tener lugar gradualmente, debido a su impacto por competencia. Por ejemplo, el denso sistema radicular de muchas de estas plantas puede inhibir la

adquisición de agua y nutrientes por parte de las especies nativas, mientras que su parte aérea puede formar una densa cubierta que impida la germinación y el crecimiento de las especies nativas (Soriana y Sala 1983; Gordon *et al.* 1989; D'Antonio y Vitousek 1992).

La caña provoca ambos efectos. Al conjugar una elevada productividad y un escaso atractivo para los herbívoros, en virtud de las sustancias químicas nocivas que acumula (Bell 1997), sus formaciones acumulan gran cantidad de hojas y tallos fibrosos hasta alcanzar a los 15,5 kg/m². Esta biomasa posee menor contenido en humedad y mayor ratio superficie/volumen que la vegetación riparia nativa, lo que hace del cañaveral una formación más inflamable. A esto hay que añadir que, estructuralmente, *A. donax* favorece la transmisión del fuego desde el estrato arbustivo al aéreo, debido a su verticalidad. Como consecuencia de todo esto la susceptibilidad al fuego de los ambientes fluviales, naturalmente resistentes a los incendios, aumenta. Diversos trabajos (Brooks *et al.* 2004; Coffman *et al.* 2004, 2010) han demostrado que esto se traduce en un incremento de la frecuencia de fuegos, de su velocidad de avance y de la intensidad del incendio en riberas invadidas por la caña, que arden a mayor temperatura y de manera más completa que las formaciones de vegetación nativa.



Figura 11. Transcurridos siete días tras un incendio, los brotes de la caña emergen a la superficie. Para su formación la planta emplea las reservas acumuladas en los rizomas. De este modo, la caña se anticipa en la ocupación del medio ripario y compete por el espacio con las especies nativas de flora, las cuales brotan o germinan más lentamente. Imagen: Generalitat Valenciana.

Por otra parte, el fuego contribuye a consolidar la dominancia de *A. donax* en las riberas fluviales. La caña rebrota inmediatamente tras el incendio (figura 11) y crece más rápidamente que la vegetación nativa, gracias a las reservas acumuladas en el rizoma, el cual no se ve afectado por el incendio. De este modo, la especie invasora incrementa su abundancia relativa y su dominancia del medio ripario (Coffman, Ambrose y Rundel, 2010). Es así como *A. donax* cambia el carácter del ecosistema, que pasa de ser un medio regulado por las crecidas o inundaciones a uno regulado por el fuego, estructuralmente más simple y homogéneo. Por los motivos expuestos, la quema de cañaverales no puede, de ningún modo, ser considerada como un método adecuado para el control de cañaverales.

La simplificación estructural a la que se ha aludido provoca a su vez una serie de efectos negativos sobre las comunidades biológicas que acogen las riberas fluviales. En concreto, las aves encuentran en los cañaverales pocas oportunidades para guarecerse o anidar. Los tallos principales de la caña son verticales y carecen de una estructura horizontal suficientemente robusta para soportar nidos (Zemba 1998; Anon. 2002). Algunos estudios en Norteamérica han demostrado que la cubierta de *A. donax* y la riqueza de aves están significativa y

negativamente relacionadas en todas las épocas del año y que todo incremento en la densidad del cañaveral se ve acompañado por una disminución de la riqueza y abundancia de la comunidad aviar (Kissner 2004). No en vano, una de las principales fuentes de alimento para las aves, los invertebrados, son un 50% menos abundantes en cañaverales que en comunidades vegetales nativas y también menos diversos. Esto se debe a que la densidad del cañaveral limita la penetración de la luz y evita el desarrollo de un estrato arbustivo diverso, de modo que se genera un hábitat menos heterogéneo que el ofrecido por las formaciones vegetales nativas (figura 12), e incapaz de sustentar una variada comunidad de invertebrados (Herrera y Dudley 2003), lo cual es agravado por el hecho de que la caña es una especie poco palatable para cualquier herbívoro.

La estructura del cañaveral no solo afecta a la zona riparia, también el medio acuático se ve directamente afectado. Algunos trabajos sugieren que los cañaverales no proporcionan sombra a las orillas del río, de modo que la temperatura del agua es mayor que la que se registra bajo un bosque fluvial de galería. Este hecho ha sido implicado en la disminución de las poblaciones de algunas especies de peces en ríos de California, posiblemente debido a cambios en la química del agua,



Figura 12. En las riberas del río Cabriel (Valencia), las plantas herbáceas, los arbustos y los árboles se estructuran en bandas paralelas, configurando un ambiente heterogéneo de elevada diversidad biológica, estructural y funcional. Estas formaciones juegan un papel importante en la regulación de la velocidad del flujo de agua y en su depuración, la estabilización de las orillas, la recarga de acuíferos o la acogida de fauna. La sustitución de esta vegetación por monotipos de *A. donax*, provoca una alteración de las funciones citadas, pues la caña y los cañaverales difieren en morfología, tasa de crecimiento y otros rasgos con las plantas riparias nativas y sus comunidades. Imagen: Amparo Olivares.

como resultado de la mayor actividad fotosintética algal, que provoca una alcalinización del agua y la conversión del amonio (NH_4) en amoníaco (NH_3), en una cascada de efectos nocivos para las especies acuáticas (Chadwick 1992; Bell 1993).

Por otra parte, las formaciones de *A. donax* también afectan negativamente a la hidrología y la geomorfología fluvial y, en última instancia, a las actividades humanas. Los cañaverales en las márgenes de los ríos funcionan en la práctica como muros, concentrando la energía del flujo de agua en el cauce, lo que conduce a su excavación y al desmoronamiento de las orillas durante las crecidas (Else 1996; Bell 1997). Durante estos acontecimientos catastróficos, cañas y rizomas pueden acumularse formando represas (figuras 13, 14) taponando puentes e impidiendo el correcto funcionamiento de estructuras de control de inundaciones, con consecuencias potencialmente graves.

Por último, aunque menos evidente que los impactos anteriores, *A. donax* tiene la capacidad de incrementar la pérdida de agua en los cursos fluviales, debido a su elevado consumo de agua —uno de los mayores del reino vegetal— combinado con la gran superficie foliar que acumula un cañaveral adulto (figura 14) (Abichandani 2007; Hendrickson y McGaugh 2005; Watts y Moore 2011). Según algunos autores, esto tiene como resultado una merma de los recursos hídricos disponibles para el hombre. Por ejemplo, en el valle del Río de Santa Margarita, en California, se ha estimado que la eliminación de *A. donax* en una extensión de 405 hectáreas permitiría ahorrar anualmente el agua equivalente al consumo de un área urbana de veinte mil habitantes (Bell 1997). Resultados coincidentes fueron obtenidos por Iverson (1994) que estableció que las más de 4.000 hectáreas colonizadas por cañaverales en la cuenca del río Santa Ana evaporan un equivalente al consumo de 280.000 habitantes, con un coste anual de 18 millones de dólares.



Figuras 13 y 14 (página siguiente). La formación de represas como consecuencia del arrastre de restos de cañas (arriba) durante las riadas es un factor de riesgo en base al cual se realizan múltiples intervenciones de gestión de cañaverales. Sin embargo, la colonización por parte de *A. donax* de las riberas fluviales provoca impactos negativos en el funcionamiento de los ecosistemas fluviales menos evidentes y rara vez evocados. Es el caso del incremento en la pérdida de agua por evapotranspiración como resultado del elevado consumo de agua de esta especie exótica unido a la gran superficie foliar de los cañaverales, como estos del río Turia a su paso por Vilamarxant, Valencia (página siguiente). Imágenes: Generalitat Valenciana.



4



GESTIÓN DE CAÑAVERALES

La gestión poblacional de especies invasoras está condicionada por múltiples variables. En el caso de *A. donax*, algunas tienen que ver con su biología —capítulo 3—, mientras que otras se relacionan con el ámbito de actuación, el tipo de cañaveral que pretende eliminarse, el contexto social en el que se desarrollarán los trabajos o el tipo de intervención —figura 15 rectángulos sólidos—.

El objetivo de este capítulo es determinar qué información es útil recopilar sobre las citadas variables. Para ello, se recomienda realizar los trabajos previos indicados en los rectángulos sin relleno —figura 15— a fin de obtener los datos que permitirán planificar la actuación, establecer

objetivos y elaborar una estrategia para alcanzarlos. De este modo, se reducirán las dificultades, los imprevistos y la incertidumbre sobre el resultado que acompañan a las actuaciones en el medio natural.

A pesar de lo anterior, incluso en actuaciones bien planificadas, pueden obtenerse resultados por debajo de las expectativas o surgir contratiempos. Por ejemplo, el método para eliminar el cañaveral puede ser menos efectivo de lo esperado o provocar impactos imprevistos. El seguimiento al que deben someterse las actuaciones permitirá revisar objetivos y estrategia, reevaluar los métodos que se empleen y proponer alternativas, en el marco de un proceso

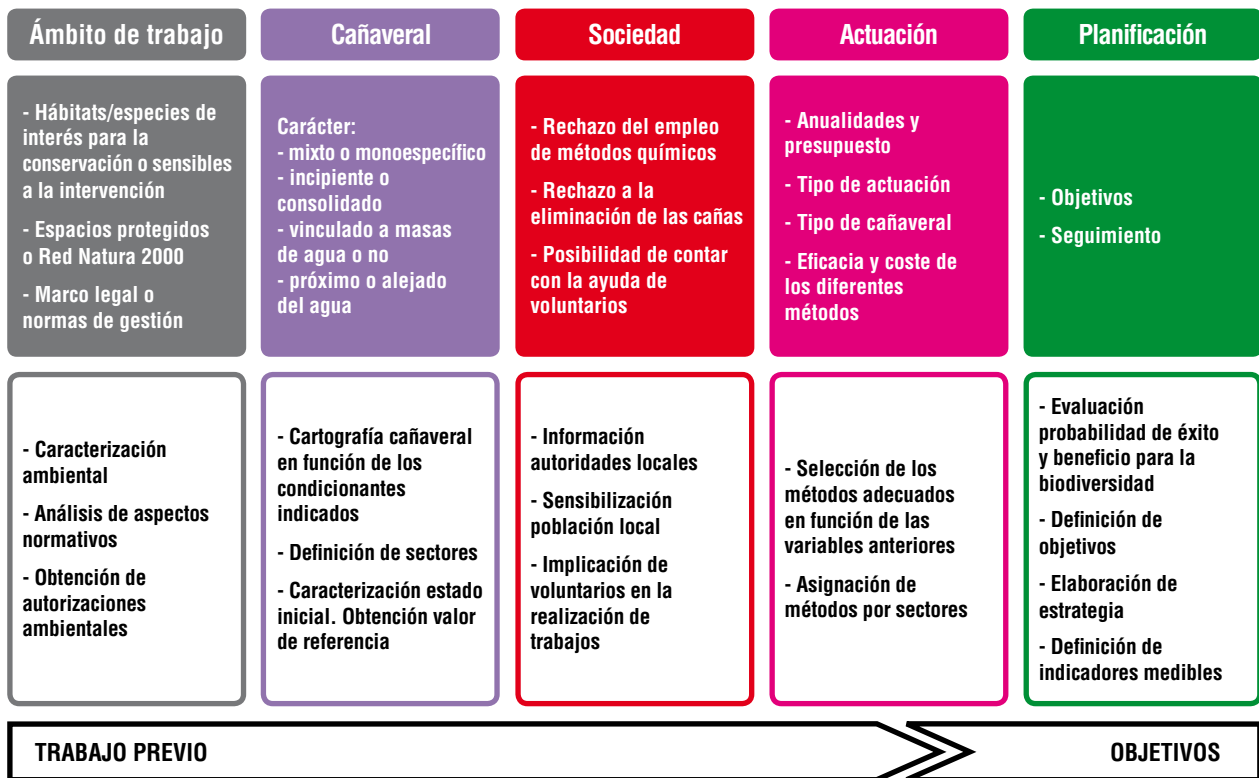


Figura 15. Variables que condicionan las actuaciones de control de cañaverales —rectángulos sólidos— e información que debe recopilarse en el marco de los trabajos previos a la actuación —rectángulos sin relleno— para el establecimiento de objetivos y el diseño de una estrategia con las acciones necesarias para alcanzarlos.

de manejo adaptativo —figura 16—

Por último, hay que recordar que *A. donax* es una especie muy plástica capaz de desarrollarse en una gran variedad de situaciones. A esto hay que añadir que el control de especies invasoras es una disciplina relativamente nueva. Por estas razones, a menudo será posible introducir cambios en los métodos de control de la caña con vistas a mejorar su eficacia o reducir su impacto. El seguimiento y el manejo adaptativo sugeridos permitirán hacer frente a los retos que plantea el control de *A. donax* mediante la adopción de decisiones informadas.



Figura 16. Según el manejo adaptativo, la evaluación continua de la eficacia y el impacto de los métodos permite la revisión de los objetivos de gestión establecidos en una fase previa.

Químicos	Afección a especies no objetivo (de flora o fauna) por deriva del herbicida Riesgo de contaminación del medio acuático
Físicos	En algunos casos, completa eliminación de la flora del medio ribereño. El sustrato queda desprovisto de cubierta vegetal durante un periodo prolongado
Mecánicos	Profunda alteración de las riberas. Posible incremento de la erosión; nuevas invasiones por otras especies exóticas Desbroces reiterados manuales: inocuo
Fomento competencia	Suele requerir reperfilado de las orillas; alteración inicial del medio. La rápida recuperación de la cubierta vegetal palió el impacto inicial

Figura 17. Clasificación de los diferentes métodos de control de cañaverales e impactos más comunes que su aplicación suele generar. Rojo: métodos químicos; violeta: métodos físicos; verde: métodos mecánicos; azul: métodos que fomentan la competencia por especies nativas.

4.1. Análisis de los factores que condicionan las actuaciones de gestión de cañaverales

4.1.1. Ámbito de actuación

Como se ha indicado, los diferentes métodos para eliminar cañaverales no pueden ser aplicados en todas las situaciones en las que crece *A. donax*, a pesar de que puedan resultar adecuados para su control. La razón es que cada método o grupo de métodos provoca un impacto determinado sobre el medio (figura 17).

Por lo tanto, antes de la ejecución de los trabajos, debe determinarse si en el ámbito de actuación se localizan especies o hábitats de interés para la conservación que puedan ser afectados por la actuación. Si esta información no se encontrase disponible, deberán realizarse estudios de campo para descartar la presencia de esos valores naturales.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta la época del año para la realización de las actuaciones, con objeto de no interferir con la época de reproducción de la fauna. En la figura 18 se indica el periodo que garantiza la máxima eficacia de los diferentes métodos en las condiciones de clima estacional que caracterizan la mayor parte de territorios donde *A. donax* crece en España. Como puede verse, el periodo de aplicación de algunos métodos puede coincidir con el de reproducción de la fauna (rectángulo discontinuo, figura 18). Esto puede solventarse en la mayor parte de los casos, tal y como se ilustra en los siguientes ejemplos:

a) Si el cañaveral se pretende eliminar con métodos químicos, el desbroce puede tener lugar a mediados de agosto, cuando la mayoría de especies han finalizado la época de cría. De este modo, la primera aplicación de herbicida puede tener lugar 5 semanas después, coincidiendo con el periodo en el que las cañas activan el transporte de nutrientes al rizoma. Los tratamientos de repaso pueden reanudarse la primavera siguiente, pues el cañaveral ya no tendrá la capacidad de acoger especies de fauna.

b) Si se aplica el método de cubrimiento (coberturas opacas), el primer desbroce puede realizarse antes del inicio de la temporada de reproducción e, inmediatamente después, pueden colocarse las coberturas.

c) Por último, si se pretende extraer el rizoma, los trabajos pueden ejecutarse durante los meses de verano, una vez haya acabado la temporada de reproducción.

Para el resto de métodos, habida cuenta del periodo de aplicación óptima sugerido, no son previsible interferencias con la fauna.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que el método más adecuado para el control de *A. donax* en una situación determinada puede no ser apto desde el punto de vista normativo. O que, incluso siéndolo, su aplicación pudiese generar un impacto incompatible con los objetivos de conservación de la zona concreta en la que vaya a tener lugar la actuación. Este puede ser el caso si los trabajos se desarrollan dentro de un Espacio Natural Protegido o en el ámbito de la Red Natura 2000. Cuando este tipo de actuaciones no estén previstas en sus respectivas normas de gestión, el gestor deberá recabar las autorizaciones necesarias a la autoridad ambiental antes del comienzo de las actuaciones.

Esto es relevante si pretenden emplearse métodos químicos. En estos casos, el gestor debe comprobar:

- a) Que la aplicación de herbicida es posible desde el punto de vista normativo en el ámbito de actuación previsto.
- b) Que el formulado concreto que va a aplicarse está autorizado para su uso en el ambiente en el que se va a intervenir.

El cuadro 2 (pág. 46), proporciona información relativa al marco legal para el empleo de herbicidas. El cuadro 3 (pág. 47) detalla las buenas prácticas para el empleo de herbicidas en el control de cañaverales.

4.1.2. Características del cañaveral

Las siguientes variables deben ser tenidas en cuenta en la priorización de las actuaciones y en la elección del método o métodos que se empleen para el control de los cañaverales:

a) El tipo de cañaveral: monoespecífico (forma masas puras) o mixto (*A. donax* crece en compañía de vegetación nativa) (figura 19).

b) La proximidad del cañaveral al medio acuático.

Por otro lado, desde el punto de vista de la elaboración final de la estrategia de la actuación, será importante tener en cuenta:

c) La localización de los tramos de ribera desprovistos de cubierta vegetal nativa y no invadidos por *A. donax*.

La manera más conveniente de plasmar esta información es la realización de una cartografía que incorpore las variables comentadas, así como otros aspectos que afectarán al rendimiento de los trabajos —p. ej. accesos a las zonas de trabajo, morfología del terreno (pendientes), propiedad de los terrenos, etc.— Esta cartografía resultará útil para:

a) Planificar las actuaciones y asignar prioridades de actuación y metodologías de eliminación a los sectores definidos en función de las variables citadas.

b) Disponer de una información de base sobre la situación inicial del cañaveral. Esto permitirá realizar un seguimiento del progreso de los trabajos.

Fenología fenología	Actividad fisiológica	Latencia			Actividad fisiológica								
		En flor											En flor
		Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Fumigación													
Fumigación rebrote													
Inyección/ Impregnación													
Inundación													
Cubrimiento													
Extracción rizoma													
Desbroces reiterados													
Cobertura ramas vivas													

Figura 18. Fenología de *A. donax* y calendario recomendado para la aplicación de los diferentes métodos de control de cañaverales. El rectángulo de borde discontinuo engloba el periodo de reproducción de la fauna riparia.

4.1.3. Contexto social

La erradicación de especies invasoras que han formado parte del paisaje de un área durante siglos puede ser problemática. Por un lado, la ciudadanía considera que se trata de la vegetación natural del área y, por otro, suele ignorar los impactos negativos que la especie invasora provoca sobre el hábitat invadido.

Además, en el caso de la caña hay que añadir otros factores:

- Se trata de una especie muy conspicua, que la gente conoce y vincula a un ambiente determinado. De hecho, para muchos ciudadanos, la caña es la especie típica del río.

- Es una especie muy utilizada por el hombre desde antiguo con múltiples finalidades.

- En su control se han empleado habitualmente herbicidas. Existe un fuerte rechazo por algunos sectores de la sociedad al empleo de este tipo de sustancias en medios naturales.

Por lo tanto, antes del inicio de las actuaciones es necesario informar a las autoridades locales del tipo de actuación que se pretende ejecutar, de los métodos que se emplearán y de las precauciones que se adoptarán para minimizar los impactos (cuadro 3, pág. 47).

Adicionalmente, en colaboración con los gobiernos locales, se pueden organizar campañas de difusión de los impactos negativos que la caña genera en el medio ribereño, informando de los objetivos de la actuación y de cuál será el resultado final, una vez se eliminan los cañaverales.

Por último, en el contexto de actividades como la comentada en el párrafo anterior, puede recabarse la colaboración de la población y su implicación en las tareas de control. Por ejemplo, el método de desbroces reiterados es una técnica muy sencilla de control de cañaverales, pero requiere una importante cantidad de mano de obra durante un periodo de tiempo que puede ser prolongado. Mientras que la primera actuación puede ser mecanizada, las siguientes se pueden realizar manualmente. Por ello, este método resulta idóneo

para que la ciudadanía pueda participar e implicarse en una iniciativa de control de una especie invasora.

4.1.4. Variables relativas a la actuación

La tipología de la actuación para el control de cañaverales condicionará en gran medida la metodología que se empleará en su eliminación. En concreto, los aspectos que conviene tener en cuenta son:

a) La duración de la intervención. Es un aspecto clave, pues condiciona la posibilidad de realizar actuaciones de repaso.

Con carácter general, si no es posible realizar actuaciones de repaso en años posteriores al de la primera intervención, no deben emplearse métodos químicos. Esto se debe a que, en la práctica, la eliminación de *A. donax* mediante aplicación de herbicidas requiere que la intervención se prolongue de 3 a 5 años (figura 20, cuadro 4, pág. 58).

Por lo tanto, si no pueden realizarse actuaciones de repaso lo recomendable es optar por métodos con los que se pueda lograr un 100% de eficacia con una única intervención, como por ejemplo:

- Inundación.
- Fomento de la competencia mediante coberturas de ramas vivas.
- Cubrimiento (la duración del tratamiento se prolonga unos 18 meses, pero no requiere repastos si las coberturas se cubren con sustrato).
- Extracción de rizoma y sustrato.

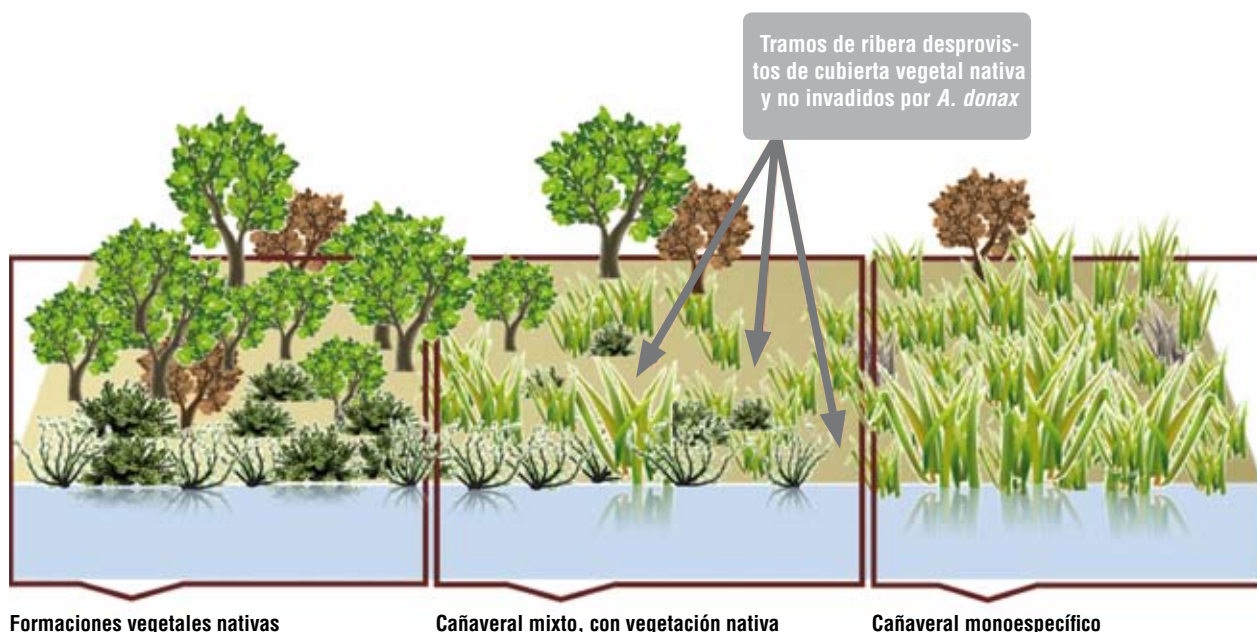


Figura 19. Como parte de los trabajos previos a la intervención, es importante cartografiar los sectores de río ocupados por cañaverales monoespecíficos y los ocupados por cañaverales mixtos. En estos últimos, debe establecerse qué proporción ocupa la vegetación nativa. Esta información es necesaria para definir una estrategia de control de *A. donax*.

b) Características de los trabajos en los cuales se enmarca la eliminación de cañaverales.

Como muestra la figura 20, se recomienda emplear los métodos de extracción del rizoma y de cobertura de ramas vivas cuando se integren en actuaciones en el medio fluvial que contemplen el reperfilado de las orillas. En ambos casos, puede lograrse un 100% de eficacia en la eliminación del cañaveral, pero su coste de ejecución y su impacto inicial es elevado. Esto es debido a que ambos requieren el empleo de maquinaria, en un caso para extraer el rizoma y en el otro para reperfilar la orilla.

En intervenciones que no contemplen el reperfilado, es posible eliminar el cañaveral con métodos menos costosos y de menor impacto. En estos casos, la selección depende de otros factores, entre los que destacan:

- i) El tipo de cañaveral.
- ii) La proximidad del cañaveral a la masa de agua, que condicionará el empleo de los métodos químicos.

En el caso de cañaverales monoespecíficos, todos los métodos que se sugieren requieren el desbroce previo del cañaveral, excepto el de inyección de herbicida en los tallos.

Como puede verse en la figura 20, en esta situación es

posible emplear métodos químicos o físicos. No obstante, debe tenerse en cuenta que los primeros deberán segregarse en el medio ripario en función de la proximidad del cañaveral a la masa de agua (cuadro 3, pág 47). Por el contrario, los métodos de cubrimiento e inundación pueden aplicarse a la totalidad de la ribera con excelentes resultados (100% eficacia).

También resultaría posible la combinación de métodos. Por ejemplo, tras desbrozar la totalidad del cañaveral, podría cubrirse una banda de seguridad de 5 metros de anchura —desde la orilla hacia el interior del cañaveral— con una cobertura opaca. En las zonas alejadas del agua y no cubiertas podrían fumigarse los rebrotes. Esta combinación de métodos permite optimizar el coste total y la eficacia de la intervención, al tiempo que minimiza el riesgo de afección a la masa de agua por deriva del herbicida. Así, la cobertura aplicada a la zona en contacto con la orilla garantiza la eliminación de las cañas más vigorosas y de más difícil control. Más allá de esta franja, la aplicación de herbicida a los rebrotes permite reducir el importe global de la intervención, pues el método de cubrimiento tiene un coste elevado.

Por otra parte, en el caso de cañaverales mixtos es importante conservar la vegetación nativa y provocar la menor alteración posible del medio. Una combinación de métodos permitiría alcanzar estos dos objetivos. La realización

			Eficacia %	Coste €/m ²	Duración	
Intervención con reperfilado de la ribera			Extracción rizomas	100-91	10-12,5	⌚
			Cobertura ramas	100	15,8	⌚
Intervención sin reperfilado de la ribera	Cañaverales monoespecíficos	Cerca del agua	Impregnación/inyección	82	9,05/3,85	⌚ ⌚ ⌚
			Cubrimiento	100	10,95	⌚ ⌚
		A partir de 5 m de la orilla	Inundación	100	8,01	⌚
			Fumigación rebrote	93	1,89	⌚ ⌚ ⌚
		No vinculados a medios acuáticos	Fumigación cañaveral	94	0,86	⌚ ⌚
	Cañaverales mixtos	Cerca del agua	Impregnación/inyección	82	9,05/3,85	⌚ ⌚ ⌚
			Desbroces reiterados	No evaluado	No evaluado	
		A partir de 5 m de la orilla	Fumigación rebrote	93	1,89	⌚ ⌚ ⌚

Figura 20. Métodos recomendados para la eliminación de cañaverales en función de variables relacionadas con el tipo de intervención y de cañaveral y de su situación respecto al medio acuático. En las tres últimas columnas se muestra la eficacia de cada método —% de cañas muertas inducido por un método concreto respecto al número de inicial de cañas vivas—, su coste de aplicación por m² y una estimación de la duración del tratamiento.

de desbroces reiterados podría combinarse con la plantación de especies riparias arbustivas (p. ej. *Salix* sp. pl.) por su capacidad para reducir la expansión y productividad de la caña (apartado 3.2.2.).

Por último, si resulta posible y se deciden emplear métodos químicos en cañaverales mixtos, deberán tomarse todas las precauciones para evitar afectar a la vegetación nativa. Por ejemplo, los arbustos de especies rebrotadoras pueden cubrirse con lonas plásticas durante las aplicaciones de herbicida. Además, para minimizar las aplicaciones de productos químicos se recomienda el empleo secuencial de diferentes métodos. Así, tras un tratamiento químico inicial, mediante fumigación de los rebrotes, una vez realizadas las tres aplicaciones que provocan la muerte de aproximadamente el 93% de las cañas, los sucesivos repasos podrían consistir en una reiteración de desbroces manuales y de extracción con herramientas manuales del rizoma. Estas tareas se ven facilitadas por el hecho de que el cañaveral estará muerto en su mayor parte.

De lo anterior se deduce que la mejor opción para el control de cañaverales rara vez será la utilización de un único método y que, con objeto de reducir los impactos sobre el medio, el coste y el impacto final de la actuación, es recomendable combinarlos y estar abierto a introducir modificaciones en su utilización. En este sentido, debe tenerse presente que la gestión de cañaverales es una actividad relativamente reciente, por lo que es posible introducir mejoras en los métodos que se sugieren en este manual, de modo que se logren protocolos más eficaces y respetuosos con el medio.

c) Presupuesto disponible para llevar a cabo las actuaciones.

El coste de aplicación por unidad de superficie de los distintos métodos de control difiere de manera importante (figura 20). En general, los métodos químicos son los de menor coste, seguidos por los físicos. En el otro extremo se sitúan los mecánicos y de fomento de la competencia. Por lo tanto, el presupuesto disponible puede condicionar la posibilidad de aplicar unos u otros.

Pero el coste de los métodos debe ser analizado en función de su eficacia, que también varía de manera significativa. Así, algunos permiten la eliminación del cañaveral con una intervención —los incluidos en el círculo C, figura 21—, mientras que otros requieren que la actuación se prolongue varios años —todos los métodos químicos— debido a su menor eficacia. Por otro lado, el círculo B engloba tres

tratamientos de coste relativamente elevado y eficacia baja o intermedia. Esto permite sugerir, de acuerdo con la experiencia obtenida en las actuaciones realizadas, que debería optarse preferentemente por los métodos incluidos en los círculos A o C, a menos que fuese deseable el empleo de los incluidos en B por otros aspectos (p. ej. impacto sobre el medio).

4.2. Definición de objetivos y planificación de los trabajos

Con la información obtenida en los trabajos previos resulta posible:

- Definir unos objetivos basados en el estado que deseamos para cada zona de actuación. El establecimiento de un objetivo supondrá que se ha identificado la necesidad de llevar a cabo una actuación de conservación y que se ha evaluado su viabilidad.
- Elaborar una estrategia con las actuaciones necesarias para alcanzar los objetivos.
- Establecer unos indicadores que permitan evaluar las actuaciones.

a) Definición de objetivos.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) recomienda que, siempre que sea viable, la erradicación es la mejor estrategia de gestión para hacer frente a las especies exóticas invasoras. Esto es posible en las etapas iniciales de la invasión, cuando las poblaciones son pequeñas o están muy localizadas.

En el caso de *A. donax*, estas situaciones se dan solo puntualmente. La realidad es que, a medida que aumenta la escala de la intervención, la dificultad de lograr la erradicación de *A. donax* se incrementa de modo que puede llegar a hacerse difícilmente alcanzable. A esto contribuye la propia biología y ecología de la caña, pero también las características del medio y las limitaciones que imponen los factores que se han analizado en apartados previos.

Una manera adecuada de proceder en el caso de las intervenciones de eliminación de cañaverales a escalas medias y grandes consiste en establecer sectores homogéneos en cuanto al tipo de cañaveral y al medio físico que los sustenta a partir de la cartografía realizada como parte de los trabajos previos. Una vez concretados, se deberá asignar un objetivo a cada uno de ellos en función de:

- La probabilidad de éxito de la actuación.
- El beneficio para la biodiversidad.
- Su coste.

i) Para estimar la probabilidad de éxito de una actuación de erradicación de *A. donax* hay que tener en cuenta los factores que facilitan y dificultan las actuaciones. Entre los que de manera habitual condicionan el resultado de este tipo de trabajos podemos citar los siguientes:

- Tipo de cañaveral: los muy consolidados (muy densos) e instalados en medios ricos en recursos son difíciles de erradicar por el gran vigor que exhiben las plantas en estas situaciones. Es el caso de la franja de cañaveral que crece en los dos primeros metros en contacto con el agua. Por el contrario, los cañaverales incipientes en medios relativamente alejados del agua serán más sencillos de erradicar.

- Acceso al área de trabajo: el acceso sencillo facilita las tareas e incrementa su rendimiento, especialmente si se requiere el transporte de gran cantidad de material (p. ej. las coberturas en los métodos de cubrimiento).

- Características del medio: el trabajo en riberas de pen-

dientes suaves y de sustrato homogéneo es más fácil y permite mejorar el rendimiento.

- Normas aplicables: la normativa puede impedir la utilización de un método de control de cañas *a priori* adecuado a favor de otro más costoso o menos eficaz.

- Duración de la actuación: la posibilidad de efectuar repasos en años posteriores contribuye al éxito de cualquier iniciativa de control de especies invasoras y, en especial de la caña.

- Presupuesto: las limitaciones presupuestarias supondrán la imposibilidad de emplear ciertos métodos de mayor coste a favor de otros más económicos, pero tal vez no adecuados por aspectos sociales (rechazo) o normativos (prohibición).

- Aspectos sociales: el compromiso de los dirigentes locales y el apoyo social a la iniciativa favorece la consecución de los objetivos, hasta el punto de poder contar con la ayuda de voluntarios en la realización de ciertas tareas.

ii) Para determinar el beneficio para la biodiversidad de una actuación de control de plantas invasoras debe eva-

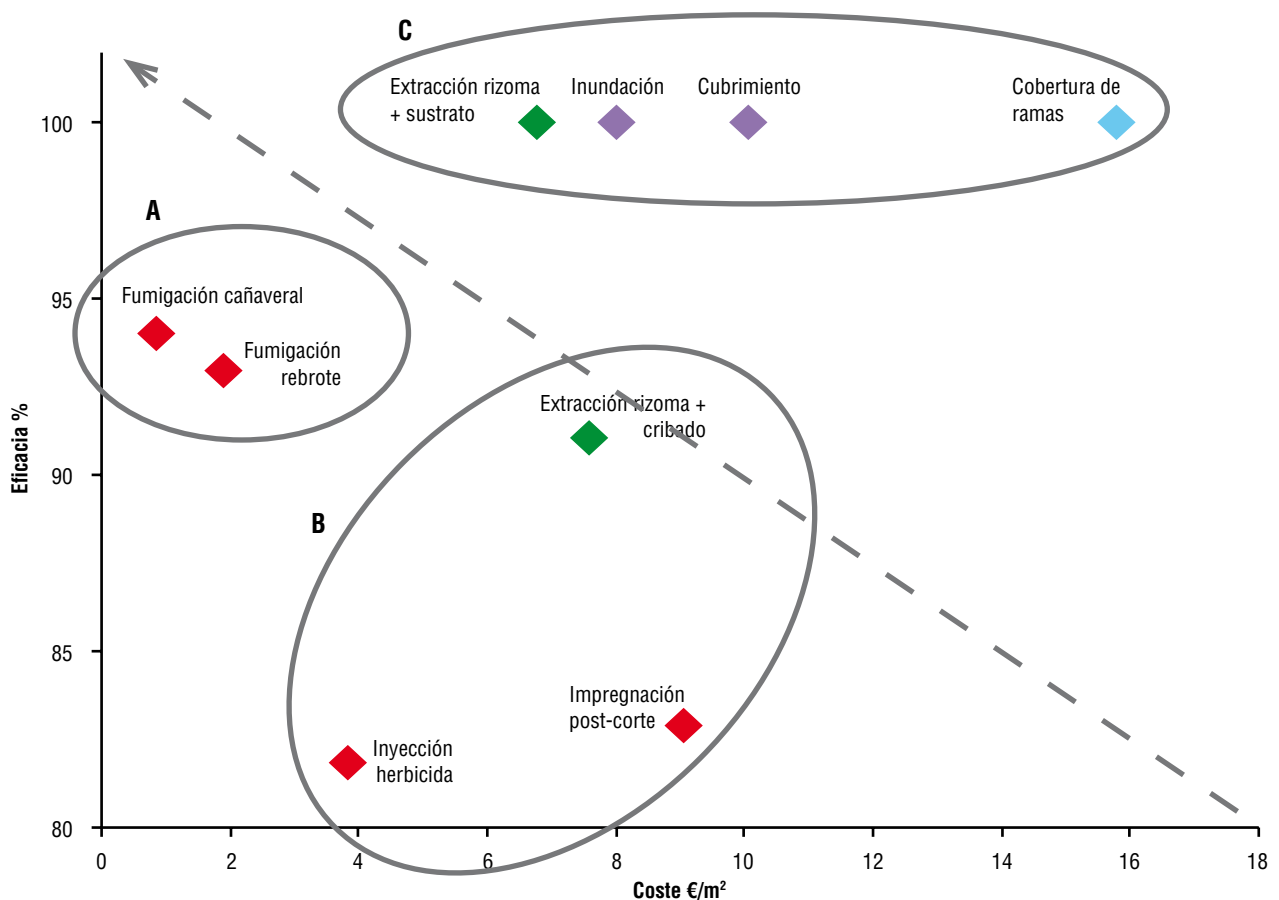


Figura 21. Eficacia de los diferentes métodos para el control de cañaverales en función de su coste en €/m². Símbolos rojos, métodos químicos; violeta, físicos; verde, mecánicos; azul, fomento de la competencia. La flecha representa un gradiente de "idoneidad". Así, el método ideal combinaría un bajo coste de aplicación, una elevada eficacia y un bajo impacto sobre el medio.

luarse cuál sería la evolución del medio que las sustenta si no se interviene. Por ejemplo, un cañaveral monoespecífico y consolidado mostrará pocos cambios en su estado a lo largo del tiempo. Por el contrario, en un cañaveral mixto en el que sobreviven fragmentos de vegetación nativa, la intervención permitirá evitar su expansión y contribuirá a la regeneración de las comunidades vegetales autóctonas. Por lo tanto, el beneficio para la biodiversidad del segundo escenario será mayor.

iii) El coste de la actuación vendrá determinado por el método que haya decidido emplearse, pero también por los factores que condicionan la probabilidad de éxito, que pueden incrementarlo notablemente. A igualdad de probabilidad de éxito y beneficio para la biodiversidad entre dos actuaciones, debe optarse por la actuación de menor coste.

Por lo tanto, el objetivo de las actuaciones debe tender a la erradicación en situaciones en las que el beneficio para la biodiversidad y la probabilidad de éxito es elevado y el coste en concordancia con el presupuesto disponible. Por el contrario, el establecimiento de los objetivos deberá tener en cuenta las razones para actuar y para no hacerlo

cuando el beneficio para la biodiversidad de la actuación sea bajo. Por último, en situaciones en las que la probabilidad de éxito sea baja y el coste alto, deberá asegurarse la disponibilidad de recursos suficientes para llevar a buen término una actuación cuya duración puede ser prolongada en el tiempo.

b) Elaboración de una estrategia.

La complejidad de los trabajos de eliminación de *A. donax* suele aumentar con la escala de la intervención. La razón es que los diferentes tramos de río albergan cañaverales que difieren en su coste de eliminación, la probabilidad de éxito de los trabajos o el beneficio para la biodiversidad que éstos suponen. Por lo tanto, se hace necesaria elaborar una estrategia en la que se tengan en cuenta los siguientes aspectos:

i) La intervención debe comenzar en las áreas menos invadidas por *A. donax*, y avanzar gradualmente hacia el núcleo de la invasión, no sin antes haber logrado la restauración de las primeras, como sugiere Bradley (1997) en el método que lleva su nombre para el control de plantas invasoras.

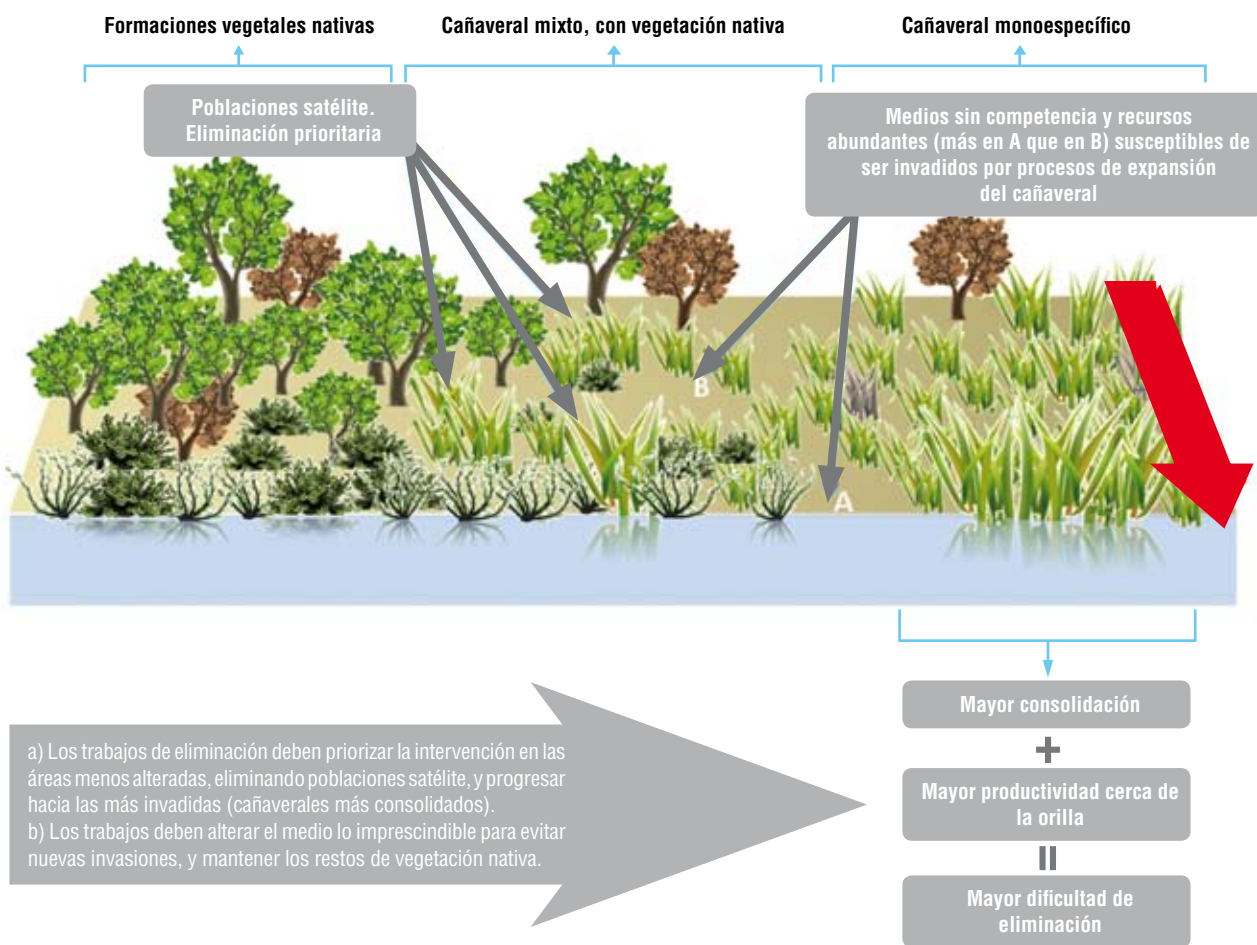


Figura 22. Transición esquemática desde un bosque ripario a un cañaveral monoespecífico, denso y consolidado, pasando por una zona desprovista de vegetación nativa en la que *A. donax* se expande activamente. La flecha roja indica un gradiente de disponibilidad de recursos, más abundantes en la cercanía de la masa de agua. La flecha gris indica cómo deben progresar los trabajos de control de cañaverales, desde las zonas poco invadidas a los sectores en los que la ocupación de la ribera fluvial es más intensa.

De este modo, en un medio ribereño como el representado en la figura 22, los trabajos de control deberían comenzar en los sectores que conservasen los mejores restos de vegetación nativa, eliminando las poblaciones incipientes como parte de un objetivo de erradicación y progresar en el sentido que indica la flecha gris. Se ha demostrado que los pequeños focos de especies invasoras se expanden a tasas más elevadas que los grandes (Moody y Mack 1988a, b). Por lo tanto, como su eliminación es más sencilla, plantear los trabajos de este modo supone una inversión reducida que resulta rentable a largo plazo. Se trata pues, de priorizar las actuaciones con mayor probabilidad de éxito, menor coste y mayor beneficio para la biodiversidad.

ii) Frente al comienzo de actuaciones en nuevas áreas de una cuenca invadida, deben priorizarse siempre las actuaciones de repaso. Éstas tienen un bajo coste en comparación con la actuación inicial —ver apartado 5.4. Análisis de costes—, pero son importantes para la consolidación de su eficacia. Por lo tanto, el beneficio para la biodiversidad



y la probabilidad de éxito de estas acciones será siempre mayor que el de nuevas actuaciones, y su coste menor.

iii) En general, las actuaciones de eliminación de cañaverales deben comenzar por aquellos situados aguas arriba, y proceder aguas abajo. Las actuaciones de control de estas formaciones vegetales suelen generar abundantes fragmentos (de cañas o de rizoma) con capacidad para dar lugar a nuevas plantas. Estos fragmentos, al ser arrastrados por el río, pueden alcanzar tramos de riberas no invadidos y originar nuevos focos de invasión.

c) Establecimiento de indicadores para el seguimiento de las actuaciones.

Durante la ejecución de los trabajos, es conveniente realizar una evaluación de la eficacia de los métodos de control que se utilicen. De este modo, será posible valorar si conviene seguir aplicándolos como se venía haciendo, introducir modificaciones o cambiar de método (manejo adaptativo). Con este fin, se sugiere un procedimiento sencillo basado en el establecimiento de parcelas de seguimiento en los distintos sectores, con sus respectivos controles.

Las parcelas pueden tener un tamaño de 2 x 2 m, tanto para el tratamiento como para el control. Esta última deberá localizarse en una zona próxima a la otra, pero lo suficientemente alejada como para no verse afectada por el tratamiento. Antes del inicio de los trabajos debe contarse el número de cañas vivas —sólo las vivas— presentes en cada parcela. El seguimiento que se sugiere consiste en un conteo de los brotes vivos presentes en las parcelas antes de cada tratamiento.

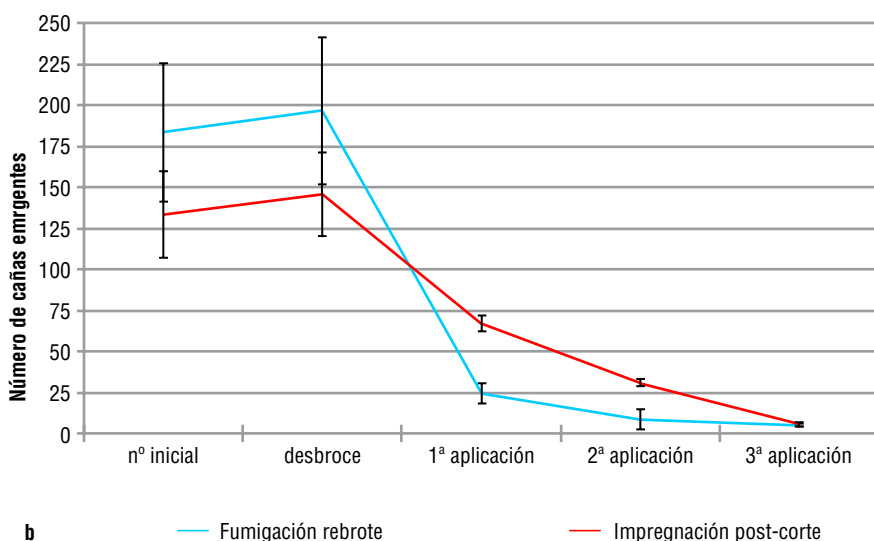


Figura 23. El recuento de los brotes (a) tras la aplicación de los métodos de control y la comparación con el número inicial de cañas vivas, permite un seguimiento sencillo de la eficacia de los trabajos. Estos datos pueden representarse gráficamente, como en este ejemplo (b) que muestra el efecto de 3 aplicaciones secuenciales de herbicida mediante fumigado o impregnación. Imagen: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

La gráfica de la figura 23 refleja las experiencias con dos métodos que difieren en el modo de aplicación del herbicida sobre los brotes que aparecen tras el desbroce del cañaveral: fumigación e impregnación. El seguimiento puso de manifiesto que ambos métodos provocaban el efecto esperado que se traducía en una disminución del número de tallos vivos respecto a su número inicial con cada tratamiento de repetición. Por el contrario, en las parcelas control se produjo un incremento de la densidad de tallos en un 15% que se mantuvo más o menos constante durante las experiencias.

Asimismo, resultará de gran utilidad disponer de fotografías del área de actuación antes de los trabajos, y continuar realizándolas en las distintas fases de la intervención (figura 24). La eliminación del cañaveral es compleja y requiere una cantidad considerable de esfuerzo y tiempo. Transcu-

rrido unos meses, se tiende a olvidar la situación inicial y a creer que las actuaciones realizadas no producen el efecto deseado. Las imágenes del estado inicial contribuyen a paliar estas decepciones transitorias que inevitablemente se producen en el transcurso de la intervención.



Figura 24 . Aspecto de una de las zonas de actuación (Riu Verd, Massalavés, Valencia) antes (arriba) y durante (abajo) la intervención de control del cañaveral. Imágenes: Generalitat Valenciana.



Figura 25 . La eliminación de *A. donax* con algunos métodos tiene como resultado la generación de un espacio desprovisto de vegetación y vulnerable a la colonización por otras especies exóticas, como *Ricinus communis*. Imagen: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

Finalmente, conviene incidir sobre la necesidad de que toda estrategia de control de *A. donax* incluya trabajos de restauración de las comunidades riparias nativas y no solo la extirpación de la especie exótica.

La elevada productividad de *A. donax* provoca que los cañaverales excluyan por competencia a la vegetación nativa. Si esto se combina con el impacto de algunos métodos de control de la caña, el resultado final es que la eliminación de un cañaveral denso suele tener como resultado

unas riberas desprovistas de vegetación y vulnerables a fenómenos erosivos o a la reinvasión por otras especies exóticas (figura 25).

Por todo lo anterior, el objetivo de eliminación de la especie invasora debería llevar aparejado la restauración las riberas, con vistas a la recuperación del funcionamiento del ecosistema y al incremento de su resistencia frente a nuevas invasiones (figura 26).



Figura 26. Representación esquemática de las características ecológicas de los medios riparios con vegetación nativa e invadidos por *A. donax* y papel que juega la restauración de las riberas y la dispersión y colonización por la especie invasora en el paso de uno a otro estado.

5



MÉTODOS DE CONTROL

5.1. Descripción de los métodos

En esta sección del manual se proporciona una explicación de los métodos que posibilitan el control de cañaverales. La información que se ofrece es el resultado de la experiencia acumulada a lo largo de varios años de gestión de estas formaciones vegetales exóticas en distintos puntos del territorio nacional, con ensayos realizados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente. También se discuten y se incluyen aquí los resultados de los trabajos realizados por otros organismos o investigadores de España u otras partes del mundo que han llevado a cabo experiencias semejantes. En nuestros ensayos se evaluaron todos los métodos que se describen —a excepción del de desbroces reiterados— sobre cañaverales que crecían en condiciones naturales.

El objetivo que se ha perseguido es el de proporcionar una información obtenida en condiciones reales de campo, contrastada siempre que ha sido posible con otras experiencias, y con un nivel de detalle suficiente para permitir a los gestores la puesta en marcha de actuaciones semejantes. Por otra parte, también se han analizado los métodos que, en contra de lo que comúnmente se cree, no conducen al control de los cañaverales, con la finalidad de evitar que se sigan llevando a cabo trabajos de control ineficaces.

Los métodos que se describen se pueden clasificar en cuatro grupos, según el siguiente esquema (figura 27):

a) Químicos: recurren al empleo de herbicidas sistémicos

—que son absorbidos por las hojas y transportados por el floema— para provocar la muerte de los rizomas de la caña y sus raíces.

b) Físicos: hacen uso de coberturas opacas que impiden que la caña realice la fotosíntesis y provocan su muerte, entre otras cosas, por agotamiento de las reservas del rizoma.

c) Mecánicos: eliminan el cañaveral mediante la extracción del rizoma del sustrato o bien sometiéndolo a una reiteración de desbroces.

d) Fomento competencia: inducen el debilitamiento inicial del cañaveral mediante desbroces sucesivos al tiempo que incrementan la competencia que ofrecen especies riparias arbustivas nativas plantadas en marcos muy densos.

Químicos

- 1) Fumigación cañaverales
- 2) Fumigación rebrotes
- 3) Impregnación post-corte
- 4) Inyección herbicida tallo

Físicos

- 5) Cubrimiento
- 6) Inundación cañaveral

Mecánicos

- 7) Extracción rizoma
- 8) Desbroces reiterados

Fomento competencia

- 9) Cobertura ramas vivas

Figura 27. Métodos de control de cañaverales descritos en este manual.

a) MÉTODOS QUÍMICOS

En este apartado se describen cuatro métodos que difieren en el modo en que el herbicida se aplica a los tallos de *A. donax*, lo que tiene consecuencias tanto sobre su eficacia como sobre sus posibilidades de aplicación, en función de las características del medio. Estos métodos son:

1. Fumigación de cañaverales
2. Fumigación de rebrotes.
3. Impregnación post-corte.
4. Inyección de herbicida en el tallo.

Para la realización de estos trabajos, es necesario observar una serie de aspectos relativos a:

- a) La protección de los operarios encargados de la aplicación.
- b) El marco normativo que regula el uso de herbicidas.
- c) Las buenas prácticas para su empleo.

Esta información se proporciona al final de esta sección en los cuadros de texto 2, 3 y 4, respectivamente.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que los métodos de control químico, especialmente los que suponen fumigación del herbicida, pueden afectar a otras especies o componentes del ecosistema por deriva o volatilización del producto empleado. Por esta razón, su aplicación debe ir precedida de un estudio previo que determine la vulnerabilidad del medio y de sus componentes a estas sustancias.

Frente a los inconvenientes comentados, los métodos químicos presentan como ventaja el hecho de no incrementar la vulnerabilidad del terreno a la erosión y no generar residuos vegetales que hayan de ser transportados o gestionados, pues los tallos de las cañas desbrozadas o cortadas pueden incorporarse al sustrato, previa trituración, como enmienda orgánica.

Por lo que se refiere a los herbicidas comerciales que pueden emplearse, se recomiendan los formulados cuyo principio activo sea el glifosato (Jiménez *et al.* 2011) que puedan ser empleados en medios riparios, de acuerdo con nuestras experiencias (cuadro 1).

1. Fumigación de cañaverales

El **método**: consiste en la aplicación de un herbicida sistémico mediante fumigación a la parte aérea de *A. donax* en cañaverales no desbrozados.

Época idónea: después de la floración de *A. donax*, a final

del verano o principio del otoño.

Procedimiento: para la fumigación de cañaverales sin desbrozar se recomienda el empleo de pulverizadores hidráulicos (a) o carretillas fitosanitarias (b) (figura 28 y 29).

Cuando el cañaveral sea muy extenso es recomendable abrir pasillos por los que pueda transitarse, de modo que se logre una aplicación del herbicida homogénea. Si es posible, el cañaveral no debe desbrozarse durante el primer año para lograr la máxima eficacia, ya que el desbroce estimula la producción de nuevos tallos. En la práctica, el cañaveral debería eliminarse únicamente en el caso de que sea lo suficientemente denso como para dificultar la regeneración de la vegetación riparia autóctona o si puede suponer un riesgo de incendio o durante las crecidas de los ríos.

Efectos no deseados: deriva del herbicida y afección a especies no objetivo o al medio acuático.

Eficacia: 94% de los tallos muertos respecto a la situación inicial con tres aplicaciones (cuadro 4).

Adecuado para: cañaverales monoespecíficos alejados del agua.



Figura 28. Para la fumigación de cañaverales sin desbrozar deben emplearse pulverizadores hidráulicos (a) o carretillas fitosanitarias (b). Imagen: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.



Figura 29. Fumigación de cañaverales no desbrozados en el río Cànyoles a su paso por Montesa (Valencia). Imagen: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

Cuadro 1: Ensayos de eficacia de herbicidas con diferentes principios activos para el control de *A. donax* en pruebas de campo

Con objeto de determinar qué principio activo era el más eficaz para el control de *A. donax* se aplicaron diferentes herbicidas mediante fumigación a rebrotes resultado de un desbroce previo del cañaveral.

Para los 5 herbicidas se realizaron 3 aplicaciones con las dosis indicadas en la tabla 1 a intervalos de 21 días. La primera fumigación tuvo lugar 21 días tras el desbroce del cañaveral, en mayo.

El herbicida que indujo una mayor disminución en el número de cañas vivas de los cinco ensayados fue la

formulación a base de glifosato (figura 30). Tres aplicaciones de este producto a intervalos de 21 días con una dosis de 10 l/ha provocaron la muerte de un 93% de los tallos de *A. donax* transcurridos 6 meses desde la última aplicación.

La eficacia del resto de productos ensayados se situó claramente por debajo. Los formulados a base de penoxulam, profoxidim y cihalofop-butil indujeron una mortalidad en torno al 60-70%, mientras que el formulado a base de azimsulfuron fue el que indujo una menor mortalidad de los cinco ensayados e inferior al 50% de media.

Tabla 1. Principios activos y dosis empleados en los ensayos de eficacia de diferentes herbicidas para el control de *A. donax*.

PRINCIPIO ACTIVO	DOSIS
azimsulfuron 50%	50 g ha ⁻¹
cihalofop-butil 20%	1,5 l ha ⁻¹
glifosato 36%	10 l ha ⁻¹
penoxulam 2,04%	2 l ha ⁻¹
profoxydim 20%	0,75 l ha ⁻¹

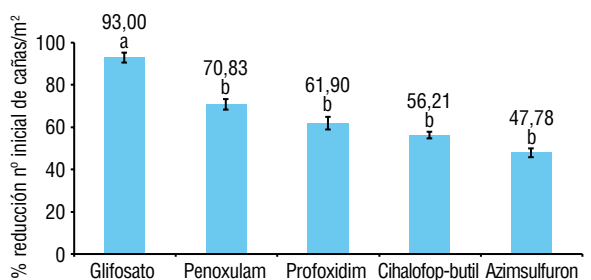


Figura 30. Disminución media del número de cañas vivas/m² respecto al número inicial, en porcentaje, inducida por formulados con diferentes principios activos. Las letras diferentes indican diferencias significativas con el test de Tukey (P<0,05).

2. Fumigación de los rebrotes

El **método**: consiste en la fumigación de los rebrotes que emergen como resultado del desbroce del cañaveral. La fumigación provoca mayor mortalidad cuando se aplica a rebrotes grandes (0,8-0,9 m), lo que habitualmente ocurre cuando transcurren unas 5 semanas tras el desbroce si éste se realiza durante los meses de crecimiento activo de *A. donax* (mayo-septiembre).

Época idónea: el desbroce debe realizarse a finales de agosto, de modo que los rebrotes estén listos para recibir el primer tratamiento a final de verano o principio del otoño.

Procedimiento: se recomienda el empleo mochilas pulve-

rizadas para la fumigación de los rebrotes, ya que combinan facilidad de manejo con la posibilidad de realizar una aplicación dirigida y uniforme con ayuda de la lanza. A esto último también contribuye la libertad de movimientos para el operario por la zona de actuación.

Efectos no deseados: deriva del herbicida y afección a especies no objetivo o el medio acuático.

Eficacia: 93% de los tallos muertos respecto a la situación inicial con tres aplicaciones (cuadro 4).

Adecuado para: grandes masas de *A. donax*. Este método no es adecuado para la franja de medio ripario cercana al agua (cuadro 3).



Figura 31. Desbroce previo del cañaveral con retroexcavadoras dotadas de cabezal triturador (a, río Segura a su paso por Cieza, Murcia). La fumigación provoca una mayor mortalidad cuando se realiza sobre rebrotes grandes (b, Arroyo Harnina, Almendralejo, Badajoz) que sobre rebrotes de pequeño tamaño (c, Río Canyoles, Montesa, Valencia). Sin embargo, en el último caso la aplicación es más dirigida. Imágenes: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

3. Impregnación post-corte

El **método**: consiste en el corte de la parte aérea de la caña a ras de suelo, seguida de la inmediata impregnación de la zona de corte con herbicida a base de glifosato sin diluir.

En cañaverales densos y envejecidos la aplicación del herbicida de este modo puede resultar muy costosa, debido a la dificultad que supone manipular cañas de porte elevado y moverse por el cañaveral. Además, puede ocurrir que un gran número de cañas estén muertas, con lo que se pierde tiempo cortándolas y aplicando herbicida sin obtener un retorno en términos de eficacia del tratamiento, ya que las cañas muertas no transfieren el herbicida al rizoma. En esta situación, se recomienda realizar un desbroce previo del cañaveral y aplicar el herbicida a los rebrotes, cortándolos e impregnando la zona de corte, igual que se hace en las cañas adultas.

Época idónea: estación de crecimiento de *A. donax*.

Procedimiento: el corte debe realizarse con un instrumento afilado, de modo que se obtenga una sección de tallo limpia, sin aristas que dificulten la aplicación o supongan un riesgo a los operarios.

Entre el corte y la aplicación del herbicida no debe transcurrir un tiempo superior a los 2 minutos para lograr la máxima eficacia. Cuanto más se tarde en aplicar herbicida, menor será la probabilidad de que la caña lo absorba y de que alcance el rizoma.

La aplicación se realizará a todas las cañas cortadas, mediante un pincel o esponja, que se mojará en el herbicida, se escurrirá en el borde del recipiente para evitar el goteo y posteriormente se aplicará sin realizar movimientos bruscos para evitar salpicaduras por parte del pincel o del tallo de la caña (figura 32).

Efectos no deseados: Existe un riesgo de derrame y de salpicaduras de herbicida no diluido. Por esta razón, conviene transportar una cantidad discreta en el recipiente que se maneja. Además, deben evitarse las salpicaduras de herbicida no diluido en el transcurso de la aplicación.

Eficacia: 83% de los tallos muertos respecto a la situación inicial con tres aplicaciones (cuadro 4).

Adecuado para: masas de *A. donax* cercanas al agua o cañaverales mixtos, en las que la caña crece con vegetación nativa.



Figura 32. (a) La impregnación de la zona de corte de brotes de caña con esponja o pincel permite una aplicación muy dirigida del herbicida. (b) Efecto de la aplicación del herbicida sin diluir sobre los tallos. Imágenes: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

4. Inyección de herbicida en el tallo de cañas adultas

El método: consiste en la inyección en el tallo de entre 6 y 8 ml. de herbicida sin diluir con una jeringa dosificadora.

Época idónea: durante la estación de crecimiento de *A. donax*.

Procedimiento: las cañas deben cortarse entre el 2º y 3º nudo, empleando tijeras podadoras y las mismas precauciones descritas en el método de impregnación post-corte. La inyección se practica con un jeringa dosificadora —por ejemplo, NJ Phillips— para aplicaciones ganaderas. Estas jeringas pueden adquirirse en comercios de material ganadero y son robustas y precisas (figura 33). El herbicida debe inyectarse en las cañas más verdes y vigorosas y dentro de éstas a las de mayor diámetro. Para ello, la aguja se inserta en el centro del tallo, atravesando la membrana que se forma a la altura del 2º nudo, de modo que el herbicida queda confinado en 2º entrenudo (figura 34).

Recomendaciones:

- No realizar más de 1.000 inyecciones/ha y aplicación.
- Evitar que transcurran más de 15 minutos entre el corte y la inyección del herbicida.
- Realizar al menos tres aplicaciones, con un periodo de 21 días entre tratamientos. Este tiempo permite que los efectos del herbicida comiencen a ser visibles, de manera que se puede realizar una valoración del efecto del tratamiento y de las zonas donde conviene realizar nuevas aplicaciones.



Figura 33. Inyección de herbicida en el tallo con jeringa dosificadora. Imágenes: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

d) Establecer pasillos mediante el desbroce del cañaveral para facilitar el movimiento de los operarios durante los tratamientos y el acceso a las diferentes partes del cañaveral.

e) Pintar las cañas inyectadas con un espray de color diferente para cada uno de los tratamientos, de modo que se identifica la zona de aplicación.

Efectos no deseados: este es un método de aplicación de herbicida muy dirigido sin riesgo de deriva o volatilización del herbicida.

Eficacia: 80% de los tallos muertos respecto a la situación inicial con tres aplicaciones (ver cuadro 4).

Adecuado para: masas de *A. donax* cercanas al agua o cañaverales mixtos, con vegetación nativa.

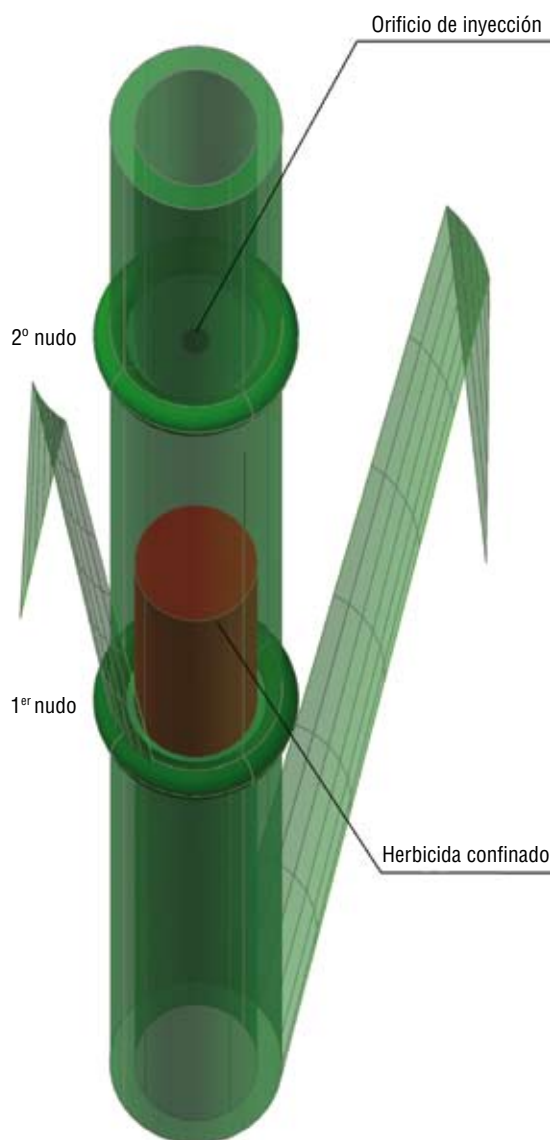


Figura 34. En el método de inyección el herbicida debe quedar confinado en la cámara existente en el 2º entrenudo. Para ello debe inyectarse perforando la membrana a la altura del 3º nudo.

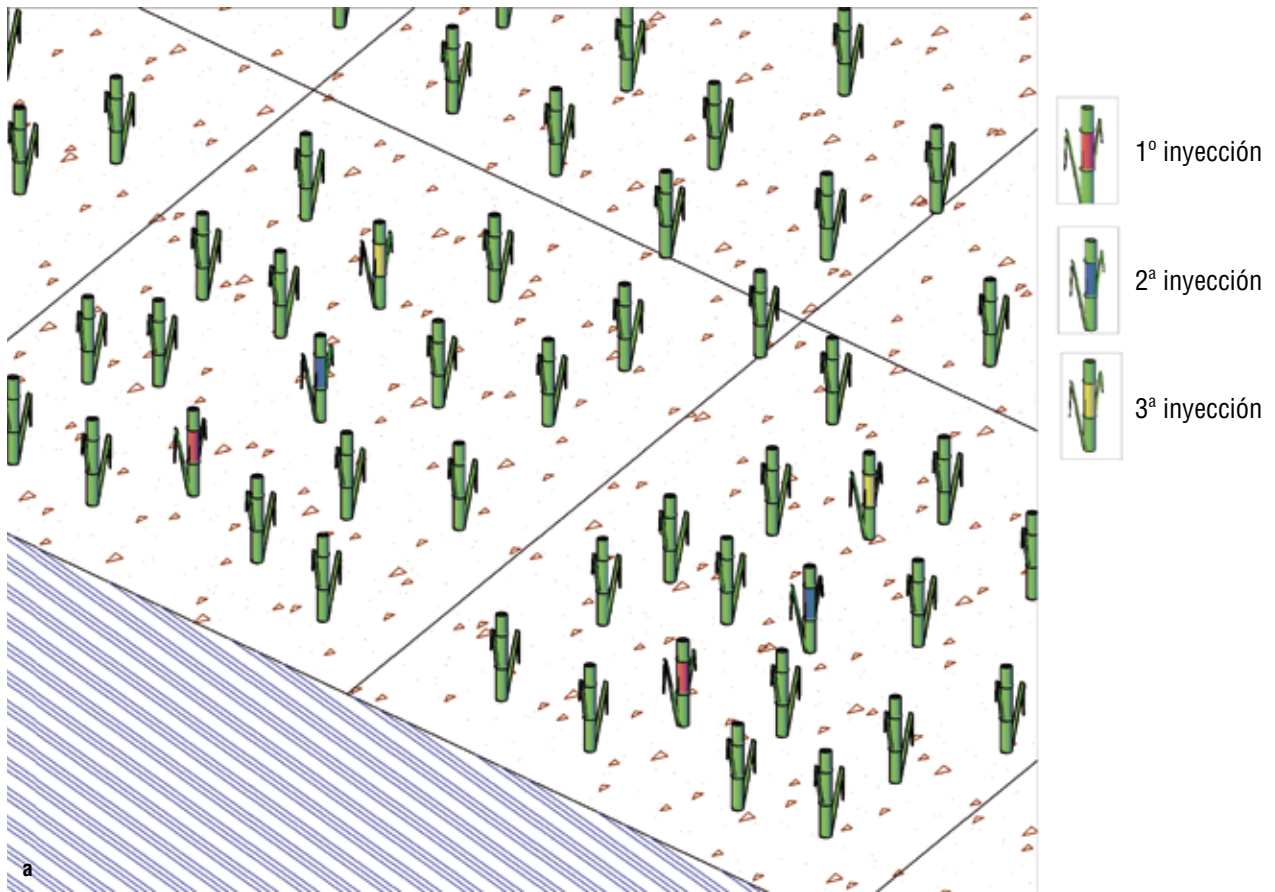


Figura 35. (a) Procedimiento recomendado en el método de inyección de herbicida: realización de tres inyecciones con 21 días de intervalo a diferentes cañas en parcelas de aproximadamente 10 m². (b) Los tallos de las cañas inyectados deben pintarse con colores diferentes para los distintos tratamientos, lo que permitirá saber cuántas inyecciones por parcela se han realizado y en qué fecha. (c) Aspecto del cañaveral transcurridos 63 días desde la primera inyección. Imágenes: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

Cuadro 2: Marco legal para el empleo de herbicidas en el control de cañaverales

La normativa de aplicación y uso de estos productos está regulada por:

a) Reglamento (CE) 1107/2009 relativo a la comercialización de productos fitosanitarios en la UE.

b) Directiva 2009/128/CE por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas.

c) Real Decreto 1702/2011, de inspecciones periódicas de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios.

d) Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios.

De acuerdo con las normas europeas y nacionales en la materia, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente dispone de un “**Registro de Productos Fitosanitarios**” con información sobre los productos fitosanitarios autorizados en España, sustancias activas homologadas para su fabricación, instrucciones para el registro de productos fitosanitarios, límites máximos de residuos en productos vegetales y documentos sobre el reconocimiento oficial de ensayos.

Este registro es de acceso público en internet en la siguiente dirección:

<http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/productos-fitosanitarios/fitos.asp>

Antes de la utilización de un herbicida determinado en el control de cañaverales, el gestor debe comprobar que su uso con ese fin y en el medio en el que se prevé la actuación se encuentra autorizado. Esta información, así como los condicionamientos preventivos de riesgo y las dosis permitidas, entre otras, se encuentra disponible en las fichas de cada producto descargables en el mencionado registro.

Por otra parte, en lo que se refiere a las aplicaciones de herbicidas en ecosistemas ribereños y zonas húmedas, se debe tener en cuenta lo establecido en la Directiva 2009/128/CE por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas.

Esta norma establece en su artículo 11 las “*medidas específicas para proteger el medio acuático y el agua potable*”. Además, esta Directiva recomienda evitar el uso de estos productos en zonas muy sensibles, como son los espacios Natura 2000 protegidos en virtud de las Directivas 79/409/CEE y 92/43/CEE.

Además, la Directiva 2008/105/CE, relativa a la calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas incluye el glifosato en el Anexo III de sustancias sujetas a revisión para su posible identificación como sustancias prioritarias o sustancias peligrosas prioritarias.

Al igual que la Directiva, el Capítulo VII del RD 1311/2012 establece medidas para priorizar productos fitosanitarios para evitar la contaminación puntual y difusa de las masas, y el Capítulo VIII medidas para la reducción del riesgo en zonas específicas.

Si una vez analizado el marco legal aplicable y estudiadas las características del medio resultase posible el empleo de estas sustancias, su aplicación deberán realizarse observando las buenas prácticas que se mencionan en el cuadro 3.

Por último, es necesario recordar que las aplicaciones de fitosanitarios requieren que el usuario debe disponer de formación tanto si va a realizarlas de forma profesional como particular, en determinadas sustancias, debe estar en posesión del “Carnet Usuario Profesional de Productos Fitosanitarios”, según establece el RD 1311/2012.

La obtención del citado carnet está regulado por el anexo II, IV y V del Real Decreto 1311/2012 que homologa el documento, las materias de formación y las titulaciones habilitantes para su obtención.

Cuadro 3: Buenas prácticas para el empleo de herbicidas en el control de cañaverales

La aplicación de productos fitosanitarios, con garantías para los operarios y el medio natural, requiere observar las indicaciones recogidas en la siguiente publicación: *Buenas Prácticas Agrícolas en la Aplicación de Fitosanitarios* (MARM 2008), descargable gratuitamente en la siguiente dirección: <http://www.fepex.es/archivos/publico/Fitosanitarios/Fitosanitarios-%20Texto.pdf>

Independientemente del método que se elija, para la aplicación de herbicida es necesario utilizar un equipo de protección química integrado por los componentes que se muestra en las imágenes a continuación.

Además, se debe disponer de un almacén o zona es-

pecífica para el almacenaje de los productos químicos y de los materiales que se precisan. En ningún caso debe utilizarse el mismo lugar de almacenamiento para los productos químicos y para los equipos de protección personal.

La publicación citada contiene detalles adicionales sobre el equipamiento necesario y las condiciones de almacenaje y manejo de productos fitosanitarios y deberá ser consultada antes del inicio de las actuaciones.

En el caso de *A. donax* es necesario, además, tener en cuenta los 5 aspectos siguientes, ya que condicionan la eficacia de los tratamientos:



Bota de seguridad



Guantes de protección química



Buzo de protección química



Equipo completo



Gafas de protección integral



Mascarilla con filtros intercambiables

Figura 36. Componentes del equipo de protección química para la aplicación de herbicida. Imágenes: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

1. Aspectos relativos al herbicida y su aplicación

Formulación: se recomienda emplear formulados a base de glifosato autorizados para el ámbito en el que se prevea actuar.

Dosis: la dosis máxima autorizada para el formulado elegido debe comprobarse en el registro de productos fitosanitarios. Para el cálculo de la dosis de fumigación se deben determinar tres factores:

- Caudal de la boquilla. Varía según tipo y la presión de aplicación. Se puede calcular recogiendo y midiendo el volumen de líquido de aspersión emitido en 1 minuto.
- Ancho de la estela. Es la distancia de aspersión efectiva cubierta por la boquilla.
- Velocidad de traslado. Una velocidad típica al caminar es de 60 m/min.

$$\frac{\text{Caudal (l/min)}}{\text{Estela (m) x velocidad (m/min)}} = \text{volumen de aplicación (l/m}^2\text{)}$$

Para obtener los litros por hectárea el resultado se multiplica por 10.000.

Ejemplo: con un ancho de estela de 1 m, una velocidad de traslado de 60 m/min y un caudal de boquilla de 0,6 l/min, el volumen de aspersión por hectárea es el siguiente:

$$\frac{0,6 \text{ l/min}}{1 \text{ m x } 60 \text{ m/min}} \times 10.000 = 100 \text{ l/ha}$$



Boquillas y tamaño de gota: se recomienda el empleo de boquillas de espejo, ya que permiten un perfil de distribución superficial bastante uniforme, produciendo gotas gruesas de baja deriva, adecuadas para trabajar con herbicidas de acción sistémica en bajo volumen de agua. Se sugiere trabajar dentro de los siguientes rangos:

- Presión: 1,5-4 bar.
- Ángulo del chorro: 130-160°.
- Tamaño de gota: 260 µm.

Cobertura: para cualquier dosis empleada se debe tender a minimizar las superficies no mojadas con el caldo de fumigación, pero también se debe evitar fumigar varias veces una misma zona, ya que esto no se traduce en un incremento de la eficacia del tratamiento y conlleva una pérdida de tiempo y de producto. Es decir, la fumigación debe ser lo más homogénea posible.

A menudo, la heterogeneidad observada en la respuesta del cañaveral al tratamiento con herbicida es debida a una cobertura desigual. A esto contribuye el carácter intrincado y monótono de estas formaciones vegetales que hace difícil la toma de referencias que permitan saber qué zonas se fumigaron y cuáles no. Para evitar esto resulta útil añadir un colorante al caldo de fumigación. De este modo, las partes tratadas quedan teñidas (figura 37). Además, en el caso de cañaverales extensos, se recomienda abrir pasillos, de modo que queden parcelados y la fumigación pueda alcanzar toda la masa de cañas.



Figura 37. La adición de un tinte al caldo de fumigación permite saber qué partes del cañaveral han sido tratadas. (a) caldo teñido de azul. (b) aspecto de las cañas que han recibido tratamiento, teñidas de azul. Imágenes: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

2. Época del año en que se realiza la aplicación de herbicida

El herbicida siempre debe aplicarse cuando las cañas estén fisiológicamente activas:

- Las aplicaciones mediante impregnación o inyección deben realizarse durante el periodo de crecimiento activo.
- Las aplicaciones mediante fumigación deben realizarse preferentemente durante el periodo comprendido entre final de agosto, septiembre o principio de octubre, que coincide con la floración de la caña. Durante esos meses se transportan los productos asimilados desde los tallos al rizoma lo que incrementa la probabilidad de que el principio activo del herbicida alcance este órgano y provoque la muerte de la caña (Spencer *et al.* 2009; Decruyenaere y Holt 2001). Esto es debido a que los herbicidas sistémicos transportados por el floema solo son eficaces si alcanzan el sistema radicular (DiTomaso 2000; Monsanto 2006).

3. Distancia del cañaveral al agua

La distancia del cañaveral al agua condiciona la eficacia de los tratamientos químicos de dos maneras:

- La disponibilidad de recursos para las cañas se incrementa con la cercanía al agua. Esto se traduce en un mayor vigor de las plantas que crecen en la orilla (Watts y Moore 2011) y en una mayor dificultad para su control. En nuestras experiencias constatamos que las cañas que sobrevivían a los tratamientos quími-

cos se localizaban preferentemente en la cercanía del agua. Esto también podía deberse a que en esta franja se empleó el método de impregnación, con una eficacia menor que el de fumigación de los rebotes. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que las cañas cercanas al agua son las más difíciles de eliminar de todo el cañaveral.

- La localización de *A. donax* en la cercanía del agua obliga a tomar precauciones para evitar la entrada de herbicida en el medio acuático. Para ello, es necesario establecer, como medida paliativa, una banda de seguridad de 5 metros contados desde la orilla donde la aplicación de herbicida se realice empleando métodos que minimicen la deriva, como la impregnación post-corte o la inyección. La distancia de 5 metros es la recomendada para proteger especies no objetivo de la deriva de herbicida por la fichas del Registro de Productos Fitosanitarios.

Alternativamente, y para excluir cualquier riesgo de afección al medio acuático, se recomienda utilizar en estos casos métodos físicos, mecánicos o de fomento de la competencia, ya que permiten lograr una mayor eficacia que los métodos químicos en un periodo de tiempo más corto.

4. El tamaño de los brotes en el momento de la fumigación y la frecuencia de los tratamientos

La frecuencia con la que se realicen los tratamientos de repaso no debe depender del tiempo transcurrido respecto a la aplicación precedente, sino del tamaño del rebrote. Se ha demostrado que su tamaño se relaciona positivamente con la mortalidad que inducen los tratamientos con herbicida (Mota 2009). Es posible que esto se deba a que los rebotes grandes absorben mayor cantidad de principio activo, pero también al hecho de que, en las hojas que no se han desarrollado completamente, la circulación floemática tiene lugar preferentemente hacia el ápice (DiTomaso 2000), por lo que no se producirá transporte de herbicida hacia el rizoma o éste será menor.

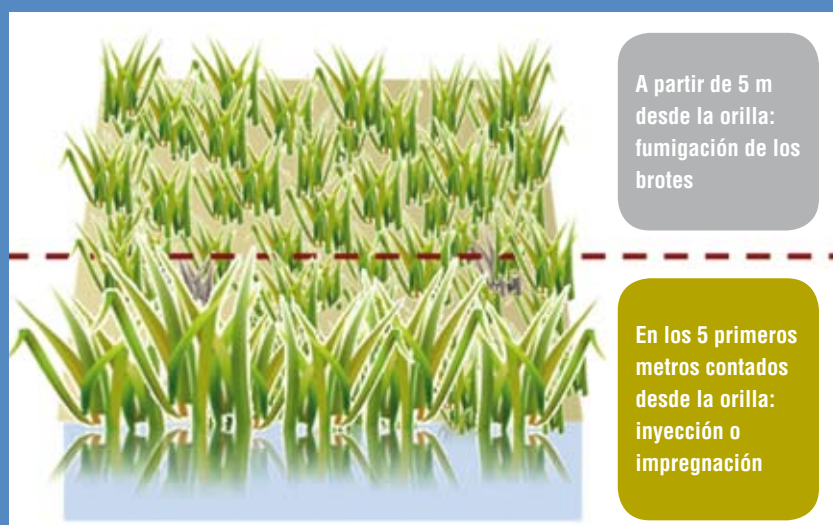


Figura 38. Segregación recomendada de los métodos químicos en función de la cercanía al agua.

Por este motivo, deberá alcanzarse un compromiso entre altura del rebrote y minimización de la deriva, pero siempre deberá procurarse que los brotes que se fumiguen tengan hojas completamente desarrolladas.

5. Los tratamientos de repaso y la duración total del tratamiento

Existen estudios que demuestran la importancia de los tratamientos de repaso. Guthrie (2007) comprueba que una única aplicación de herbicida mediante impregnación post-corte provoca una disminución de la densidad, la altura y la tasa de crecimiento de los brotes en las parcelas tratadas frente a los controles. No obstante, transcurridos 7 meses la parcela tratada alcanza

mayor densidad de cañas que la parcela control.

Por lo tanto, cuando se emplean métodos químicos es necesario repetir los tratamientos hasta que deje de observarse producción de nuevos brotes. En general, esto requiere que la actuación se prolongue durante 3 a 5 años. No obstante, el coste de los tratamientos de repaso disminuirá con cada aplicación (ver apartado 5.4 análisis de costes).

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que los herbicidas que afectan los procesos enzimáticos de las plantas, como es el caso del glifosato, no producen pleno efecto en especies perennes el año de la aplicación (Di Tomaso 2000).

b) MÉTODOS FÍSICOS

En este apartado se describen dos métodos —cubrimiento e inundación— que, mediante el empleo de procedimientos físicos exclusivamente, logran provocar una mortalidad del 100% de las cañas en todo caso, siempre y cuando se apliquen tal y como se describe en este manual.

Ambos comparten como ventaja frente a los métodos químicos su mayor eficacia y el hecho de que pueden emplearse en la totalidad del medio ribereño, incluso en la zona en contacto con el medio acuático.

5. Cubrimiento

El **método**: consiste en la colocación de una cobertura completamente opaca —geotextil, plástico, etc.— sobre un cañaveral desbrozado, de modo que se priva de luz a los brotes. Para garantizar la máxima eficacia, la cobertura elegida no debe dejar pasar nada de luz. La muerte del rizoma se producirá por agotamiento de sus reservas, ya que la emisión de nuevos tallos estimulada por el desbroce no genera un retorno de fotoasimilados.

Época idónea: durante la estación de crecimiento. Si se pretende acortar el tiempo de tratamiento se sugiere desbrozar el cañaveral a finales de marzo, colocar la cobertura y retirarla en el mes de octubre del año siguiente. De este modo, la cobertura habrá permanecido *in situ* durante dos estaciones vegetativas completas de la caña (20 meses). Existen informes (Anon. 2007) que

sugieren que una estación vegetativa (6 meses) es suficiente, pero este aspecto no podido ser comprobado en nuestras experiencias.

Procedimiento: este método requiere de un desbroce previo de la parte aérea de *A. donax* para, posteriormente, proceder al cubrimiento. Entre los aspectos que deben observarse destacan:

a) Los tocones de las cañas resultado del desbroce no deben tener aristas punzantes, ya que pueden agujerear la cobertura con facilidad (figura 39). Si se observan, se deben cortar con tijeras de poda.

b) La zona de actuación debe quedar libre de restos vegetales, de modo que la cobertura quede lo más adherida posible al sustrato.

c) Las coberturas deben graparse al suelo para garantizar su sujeción durante el periodo de tratamiento. Pueden emplearse como grapas varillas de hierro corrugado de 8 mm de grosor y con las siguientes dimensiones aproximadas: 40x10x40 centímetros (figura 40).

d) Debe procurarse que los fragmentos empleados sean tan grandes como resulte posible manejarlos y que se produzca un solapamiento de al menos 30 centímetros entre piezas contiguas. De este modo se minimiza la entrada de luz.

e) Una vez instaladas las coberturas debe caminarsse sobre ellas lo imprescindible, con objeto de evitar su perforación accidental.





Figura 39. Los fragmentos de las coberturas deben solaparse y no contener orificios. De otro modo, los tallos de *A. donax* emergen con rapidez (a), reduciendo la eficacia del método. La falta de luz provoca que los nuevos brotes se debiliten conforme se agotan las reservas del rizoma. (b) Brotes que han permanecido dos y diez (c) semanas bajo la cobertura, respectivamente. Estos últimos, pueden compararse con los brotes (d) desbrozados el mismo día que los que se muestran en (c), correspondientes a una parcela control. Imágenes: Generalitat Valenciana.

Figura 40 . Detalles de: (a) fijación mediante grapas de las coberturas; (b) grapas utilizadas; (c) solapamiento entre fragmentos y (d) fijación de los extremos de las coberturas mediante la realización de una zanja en la que se introduce el plástico de polietileno que, posteriormente, es cubierto por sustrato. Imágenes: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.



f) Opcionalmente, la vida de la cobertura se puede alargar cubriéndola con grava o tierra, con lo cual se evitará tener que hacer repasos frecuentes para localizar posibles perforaciones y se reducirá el impacto paisajístico de la actuación (figura 41).

g) En general puede emplearse cualquier cobertura opaca —no debe dejar pasar la luz cuando se interpone entre el sol y el observador y se mira al trasluz— que sea capaz de resistir las tensiones producidas por el empuje de los brotes y que conserve estas características durante la duración del tratamiento. Las coberturas degradables, como las mantas orgánicas de yute o coco, no cumplen con los dos requisitos expuestos y, por lo tanto, no pueden emplearse para este método, como puede comprobarse en la figura 42.

h) Transcurridos los dos periodos vegetativos de *A. donax*, se recomienda la retirada de las coberturas y la revegetación de la zona.



Figura 41. La longevidad de las coberturas, como estos geotextiles no tejidos, puede prolongarse cubriéndolas con el sustrato que se obtenga en el mismo lugar de la actuación. Imágenes: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

i) Tipos de coberturas recomendadas:

- Plástico de polietileno negro de 500 micras (2.000 galgas). Se recomienda emplear rollos de 25 metros de largo y 8 metros de ancho.

- Geotextiles no tejidos. Son materiales a base de polietileno o poliéster. Los empleados en nuestras experiencias fueron de polietileno de 286-325 g/m². Poseen una gran resistencia al desgarro y a la tracción, además de que confieren una gran estabilidad al terreno.

- Mallas antihierbas. Consisten en un entramado de fibras muy resistentes tejidas sobre una malla de polipropileno, lo que proporciona al tejido una buena capacidad de aislamiento y resistencia. Presentan como ventaja adicional frente a las otras dos opciones descritas anteriormente el hecho de ser permeables al agua y al aire. De este modo se evita el encharcamiento y la anoxia del sustrato.



Figura 42. Las coberturas degradables, como estas mantas de fibra de coco, no son adecuadas para este método ya que son atravesadas con facilidad por los brotes de *A. donax*. Imágenes: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

Efectos no deseados: este método provoca una completa eliminación de la vegetación de las riberas, incluso de las especies ruderales. Por esta razón, aunque no se altera la estructura del sustrato, su vulnerabilidad frente a la erosión aumenta.

Eficacia: es un método eficaz al 100% si el cubrimiento se mantiene sobre el cañaveral dos periodos vegetativos consecutivos de *A. donax*. Para lograr esta eficacia se requieren

revisiones aproximadamente cada mes, para reparar posibles perforaciones en las coberturas. El cubrimiento de la cobertura con sustrato minimiza el riesgo de perforación.

Adecuado para: cañaverales monoespecíficos desprovistos de vegetación nativa. También para los instalados sobre escolleras u otras defensas hidráulicas o en cualquier situación en la que no es posible extraer el rizoma o emplear herbicida.



Figura 43 . La puesta en práctica del método de inundación requiere el desbroce del cañaveral y la retirada de los restos vegetales (a, b). Posteriormente, debe construirse una mota perpendicular al curso fluvial (c, d) que permitirá retener el agua y mantener inundada la superficie ocupada por *A. donax* (e). El resultado es la completa eliminación del cañaveral una vez retirada el agua (f). Nótese cómo en la isleta que permanece emergida como parcela control se produce la recuperación del cañaveral. Localización: Río Mijares, Espadilla (Castellón). Imágenes: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

6. Inundación del cañaveral

El **método**: en este caso se hace uso de la intolerancia del rizoma de *A. donax* al encharcamiento permanente para provocar su muerte por anoxia, mediante el establecimiento de una lámina de agua sobre el cañaveral (figura 43).

Época idónea: en invierno, durante la parada vegetativa de *A. donax*.

Procedimiento: este método requiere un desbroce previo del cañaveral y la retirada de restos vegetales. Posteriormente, mediante la construcción de una mota perpendicular al río, debe establecerse una lámina de agua de 20 centímetros de alto como mínimo durante 3 meses ininterrumpidos.

Eficacia: es un método eficaz al 100%.

Adecuado para: cañaverales cercanos al río y situados en una cota poco superior a la de la lámina de agua, ya que de otro modo sería necesario el bombeo de agua o la construcción de una estructura de dimensiones importantes para hacer subir su nivel.

c) MÉTODOS DE CONTROL MECÁNICO

7. Extracción del rizoma

El **método**: consiste en la extracción del rizoma del sustrato con retroexcavadora (figura 44 a).

Época idónea: la actuación puede realizarse en cualquier época del año, pero resulta más conveniente trabajar con un sustrato relativamente seco, ya que de este modo se reduce la cantidad de suelo que se adhiere a los rizomas y se minimiza su pérdida.

Procedimiento: inicialmente debe desbrozarse la parte aérea de *A. donax* para, a continuación, extraer el rizoma con una retroexcavadora. El órgano subterráneo de la caña se concentra en los 15 centímetros superficiales del sustrato, si bien se han localizado hasta 50 centímetros de profundidad. En cualquier caso, este método supone la extracción de gran cantidad de suelo. Para evitar este inconveniente se recomienda el empleo de cazos modificados para el cribado de las tierras, con agujeros de luz adaptada al tamaño medio del rizoma, lo que permitirá que su extracción sea más selectiva (figura 44 b y c). Para ello, el maquinista debe agitar el cazo cargado con rizomas y sustrato, hasta que la mayor parte del último se pierda por los orificios. Alternativamente, se puede optar por retirar sustrato y rizomas del área de actuación o bien proceder a una separación posterior *in situ*

mediante el empleo de cribas, con lo que será posible incorporar de nuevo el suelo a la ribera reperfilada.



Figura 44. La extracción del rizoma mediante retroexcavadora (a) es un método con el que se puede lograr una eficaz eliminación del cañaveral de manera rápida. Para reducir la cantidad de sustrato que se extrae junto con el rizoma se recomienda emplear cazos modificados como los de la fotografías (b, c). Imágenes: a, Generalitat Valenciana; b y c, DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

En los casos en los que se recupere el sustrato y se incorpore a la ribera se producirá inevitablemente la aparición de rebrotes a partir de fragmentos de rizoma. No obstante, estos brotes aislados son fácilmente extraíbles —estirando de los tallos o con azadas—, ya que estarán producidos por rizomas sueltos relativamente superficiales. También pueden controlarse mediante aplicaciones localizadas de herbicida.

Efectos no deseados: este método supone una profunda alteración de las riberas, que deberán ser restauradas para evitar la erosión y recuperar su vegetación característica.

Eficacia: con este método es posible lograr un control de *A. donax* del 100% si se retiran rizomas y sustrato o del 91% si el sustrato cribado se reincorpora a la ribera.

Adecuado para: intervenciones que supongan reperfilado de riberas o movimientos de tierra, como por ejemplo, la retirada de motas. Este método no es adecuado en zonas de escollera colonizada por *A. donax*, ya que los rizomas crecen debajo de las piedras de estas estructuras.

8. Desbroces reiterados

El **método:** consiste en someter al cañaveral a una serie de desbroces reiterados con el objetivo de agotar las reservas del rizoma al forzarlo a una reposición constante de los tallos.

Época idónea: el tratamiento debe iniciarse al comienzo de la estación vegetativa de *A. donax* y prolongarse mientras siga observándose la aparición de nuevos brotes.

Procedimiento: el desbroce inicial puede ser mecanizado. Los posteriores pueden ser manuales, pues los brotes jóvenes se arrancan con facilidad a ras de suelo estirando de ellos, o cortándolos con podadoras. Una vez realizado el primer desbroce, los siguientes deben tener lugar cada 20 días. Este método puede combinarse con una plantación de especies riparias nativas durante el invierno, con objeto de incrementar la competencia con un cañaveral debilitado por los desbroces reiterados.

Efectos no deseados: este método es respetuoso con el medio físico y con las especies de flora y fauna de las zonas de ribera.

Eficacia: para este método no se dispone de resultados basados en experiencias propias. Mota (2009) demuestra que 5 desbroces sucesivos cada 20 días provocan una disminución de aproximadamente 80% de la altura de los

nuevos brotes y de su número respecto al número inicial. Según algunos testimonios (Godé, 2008), son necesarios hasta 9 desbroces sucesivos para eliminar un cañaveral.

Existen evidencias de que la eliminación recurrente de los brotes tiene como resultado una disminución de la biomasa subterránea en la caña (Sharma *et al.* 1998). No obstante, esta especie puede crecer a partir de rizomas enterrados a un metro de profundidad (Boose y Holt 1999; Else 1996). También hay que tener en cuenta que la caña posee una tasa fotosintética muy elevada (Rossa *et al.* 1998), lo que provoca que los brotes pronto se independicen de las reservas del rizoma una vez emergen a la superficie. Por esto último es importante que los periodos entre desbroces sean cortos, de modo que los brotes que se eliminan se hayan generado, en su mayor parte, a partir de las reservas del rizoma. De este modo, se estará contribuyendo al agotamiento de sus reservas más rápidamente.

En resumen, no existe un estudio que demuestre que este método permite eliminar de manera definitiva un cañaveral. No obstante, su utilidad no debe minusvalorarse, especialmente si se emplea en combinación con plantaciones de especies riparias nativas, que incrementarían la competencia frente a un cañaveral debilitado. Se trataría de un método semejante al de cobertura de ramas vivas, pero simplificado en su ejecución.

Adecuado para: cañaverales mixtos, con vegetación nativa intercalada, en aquellas situaciones en las que no se puedan emplear métodos químicos. Es un método idóneo para fomentar la participación de voluntarios en la erradicación de la caña, ya que los desbroces que siguen al inicial pueden realizarse a mano sin emplear herramientas.

d) MÉTODOS DE FOMENTO DE LA COMPETENCIA

9. Cobertura de ramas vivas

El **método:** consiste en lograr establecer una densa cubierta vegetal de especies riparias nativas que compita por los recursos y por el espacio con cañaverales debilitados por dos desbroces previos.

Época idónea: período comprendido entre agosto y septiembre (desbroces) y diciembre (plantación).

Procedimiento: este método requiere dos desbroces previos del cañaveral, con objeto de provocar su debilitamiento. El primer desbroce puede tener lugar a finales de agosto y el segundo a finales de septiembre. Posteriormente, se

deberá llevar a cabo la plantación de ramas vivas de sauce (*Salix* sp. pl.) durante los meses de invierno, sobre una ribera previamente modelada de forma tangencial a la corriente. Debe procurarse que la zona de plantación tenga la menor rugosidad posible, para facilitar que las ramas entren en contacto con el sustrato. Éstas se plantan y se tumban, fijándose su posición con alambres galvanizados tendidos entre piquetas de hierro o estacas de madera. Una vez se ha completado la distribución de las ramas, se procederá a esparcir una delgada capa de tierra para estimular su enraizamiento. Es conveniente trabajar con ramas de más de 4 savias, un diámetro mínimo de 3-4 centímetros y una longitud mínima de 120 centímetros. Estas dimensiones permitirán introducirlas en el sustrato hasta alcanzar la capa freática y que atraviesen la capa de rizomas de la caña. Dependiendo de las condiciones climáticas de la zona donde se realice la actuación puede ser necesaria la realización de algún riego de mantenimiento por aspersión durante el primer año.

Los alambres pueden reemplazarse por ramas, de modo que si las estacas empleadas son de madera no será necesario retirar ningún elemento del medio. En cualquier caso, las estacas deben medir unos 40-50 centímetros, tienen que clavarse en el terreno al menos 20 centímetros y han de disponerse configurando una malla o retículo de 60-80 centímetros x 80-100 centímetros (figura 45). Es conveniente, además, que dispongan de entalladuras para poder

amarrar los alambres. Por lo general, la estructura se fija con una escollera de una fila de piedras (figura 46 a), para lo cual deberá excavar un foso de 60 x 30 centímetros en la base de la ribera, que le servirá de anclaje. Esta estructura puede ser reemplazada por una fajina.

Las especies del género *Salix* — excepto *S. caprea*— son las más adecuadas para este método, por lo que deberían ser favorecidas con objeto de optimizar los resultados (figura 46 b y c). También pueden estaquillarse, pero con menor éxito, los taxones de los géneros *Populus*, *Tamarix*, *Sambucus* y *Cornus*. Los sauces son especies abundantes en la mayoría de cursos fluviales españoles, están bien adaptados a las crecidas de los ríos y proporcionan una buena protección de las riberas. Además, su modo de crecimiento se ha demostrado capaz de competir por el espacio y los recursos con la caña, disminuyendo su productividad (Coffman 2007). Asimismo, se recomienda emplear material procedente de saucedas cercanas para evitar fenómenos de contaminación genética.

Eficacia: es un método eficaz al 100%.

Adecuado para: situaciones en las que se pretenda que la eliminación del cañaveral vaya aparejada con la recuperación rápida de la cubierta vegetal nativa. Debe aplicarse preferiblemente en orillas con poca pendiente.

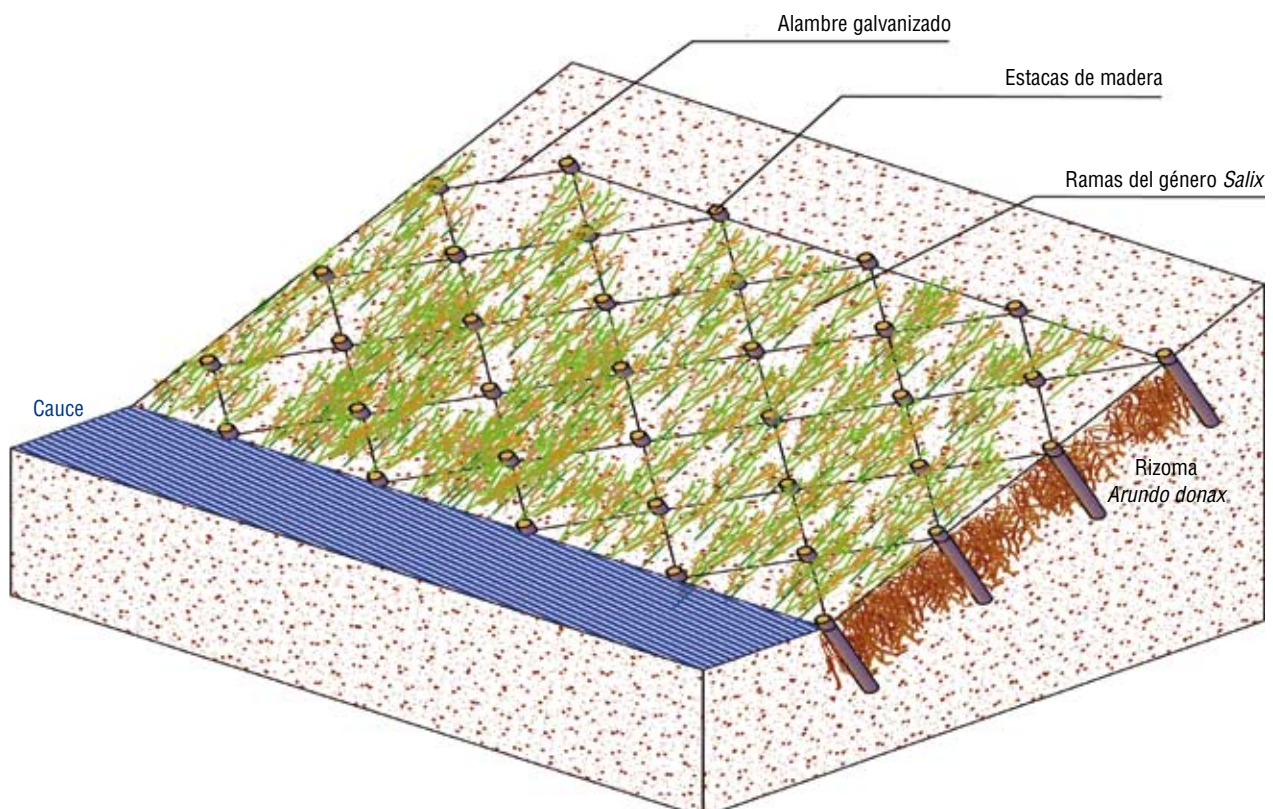


Figura 45. El método de cobertura de ramas requiere llevar a cabo una densa plantación de tallos vivos de sauce que se fijan en contacto con el sustrato. Para ello es necesario un entramado de alambres que se tienden entre estacas. Imagen: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.



Figura 46. Ejemplo del entramado de alambres que se tienden entre estacas (a). Con este método se logra el doble objetivo de eliminar el cañaveral y restaurar la cubierta vegetal del talud, como puede verse en las imágenes (b, c) de la actuación desarrollada en Arroyo Harnina, Almendralejo (Badajoz). Imágenes: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.

Cuadro 4: Ensayos de eficacia de los métodos químicos, físicos, de bioingeniería y mecánicos para el control de cañaverales en campo

La información que se proporciona en este cuadro corresponde a la obtenida en las experiencias de campo realizadas por el Ministerio de Medio Ambiente y la Generalitat Valenciana en riberas fluviales distribuidas por las cuencas hidrográficas destacadas en la figura 47.

En la figura 48 se muestra la eficacia de los diferentes métodos expresada en términos de mortalidad de las cañas, como el número de cañas muertas inducido por el tratamiento respecto al número de inicial de cañas vivas, en porcentaje (%). Los valores que se aportan corresponden a la media obtenida en las diferentes actuaciones. Habida cuenta de que éstas incorporan una elevada variabilidad en términos ambientales y de tipología de cañaveral, las eficacias proporcionadas para los diferentes métodos reflejan de manera con-

sistente el resultado esperable en una aplicación de los diferentes métodos.



Figura 47. Cuencas hidrográficas en las que se han realizado trabajos de campo.

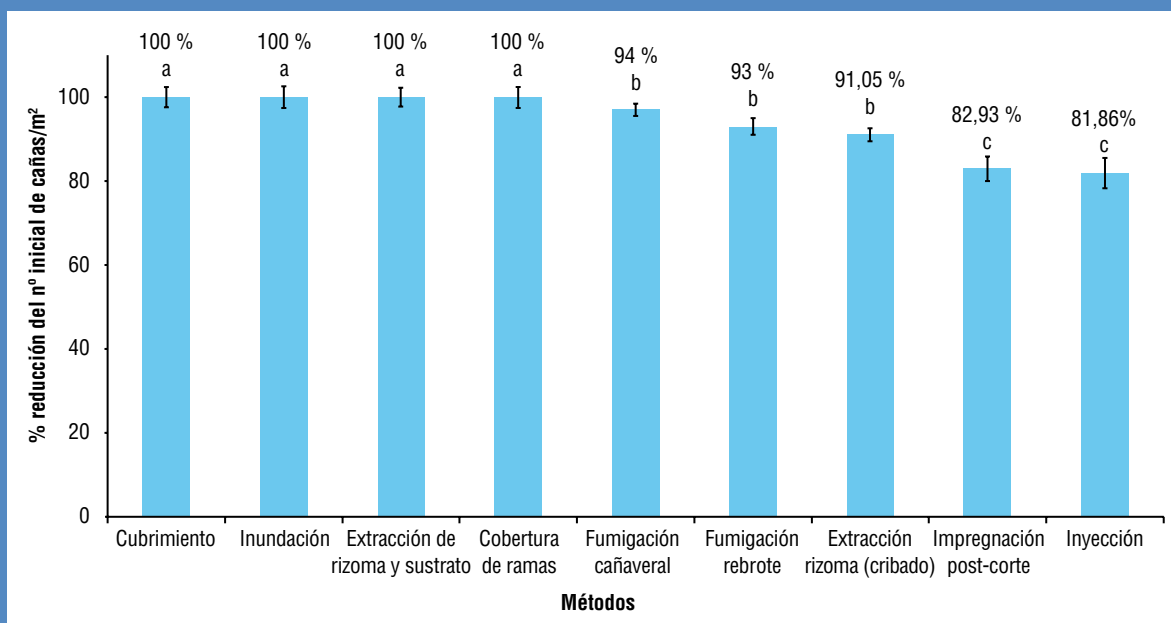


Figura 48. Disminución del número de cañas vivas/m² respecto al número inicial en % inducida por los 8 métodos ensayados. Las letras diferentes indican diferencias significativas con el test de Tukey (P<0,05).

En el caso de los métodos químicos los resultados que se muestran corresponden a la mortalidad observada después de tres aplicaciones consecutivas, a intervalos de 21 días, de un formulado a base de glifosato mediante:

- Fumigación del cañaveral no desbrozado con una concentración de glifosato del 10% y una dosis de 10 l/ha.
- Fumigación de los rebrotes resultado del desbroce previo del cañaveral con idéntica concentración y dosis.
- Impregnación post-corte de cañas adultas con un formulado a base de glifosato sin diluir (54% glifosato).
- Inyección en cañas adultas del formulado empleado en c).

El resto de métodos se aplicó de acuerdo con los protocolos descritos anteriormente.

Los resultados muestran que 4 métodos diferentes:

- Cubrimiento con coberturas opacas.
 - Inundación del cañaveral.
 - Extracción de rizoma y sustrato.
 - Cobertura de ramas vivas,
- permiten un eficaz control de cañaverales, con el 100%

de las cañas muertas y sin aparición de rebrotes tras dos años de seguimiento, incluso en cañaverales de elevada densidad (>70 tallos/m²) y que han ocupado el espacio ripario durante décadas. Esto permite afirmar que, o bien se logró provocar la muerte definitiva de los rizomas de *A. donax* con los métodos de cubrimiento e inundación, o bien que la competencia intensa que opone la densa plantación de *Salix* spp. sobre un cañaveral debilitado por dos desbroces es suficiente para contrarrestar la elevada capacidad competitiva de la especie invasora.

Por otro lado, la eficacia del método de extracción del rizoma difiere significativamente si éste se retira junto con el sustrato del ámbito de intervención o bien los materiales extraídos se criban y el material edáfico recuperado se incorpora nuevamente al medio ripario. El hecho es que inevitablemente, al hacer esto último, pequeños fragmentos de rizoma escapan del cribado y generan nuevas cañas.

Por otro lado, los tratamientos químicos de fumigación (ya sea de cañaverales no desbrozados o de rebrotes) pueden inducir una mortalidad superior al 90%. Eficacias menores, en torno al 82%, se obtienen empleando los métodos de impregnación o inyección de herbicida. En cualquier caso, esto significa que el control definitivo del cañaveral requerirá siempre de más de 3 tratamientos de repaso y de tiempo adicional (habitualmente entre 3-5 años).

Tabla 2. Tabla resumen de los métodos de control para cañaverales.

Método	Adecuado para	Época	Herramientas	Ventajas	Inconvenientes
Fumigación cañaverales	Cañaverales monoespecíficos preferiblemente pequeños y alejados del agua. Situaciones en las que la deriva del herbicida no suponga un riesgo de afección a especies no objetivo o al medio.	Durante el periodo vegetativo. Mejores resultados a finales de verano, cuando la planta transfiera asimilados al rizoma.	Pulverizador hidráulico o carretilla fitosanitaria. Herbicida a base de glifosato para aplicación foliar (dosis máxima 10 l/ha). Colorante para tinción del caldo de fumigación.	No altera la estructura del sustrato. Eficacia elevada con tres aplicaciones. Bajo coste.	Necesita aplicaciones periódicas durante 3-5 años. Riesgo de afección a otras especies vegetales o componentes del medio natural por deriva del herbicida.
Fumigación rebrotes	Cañaverales extensos y monoespecíficos. En situaciones en las que éstos crecen en una ribera debe respetarse una banda de seguridad respecto al agua de 5 metros contados desde la orilla para minimizar afección al medio acuático.	Durante el periodo vegetativo. Mejores resultados si el desbroce del cañaveral se realiza en agosto y la 1ª fumigación de los brotes en septiembre (altura óptima brotes 80-90 cm).	Maquinaria para desbroce previo del cañaveral. Mochila atomizadora. Herbicida a base de glifosato para aplicación foliar (dosis máxima 10 l/ha). Colorante para tinción del caldo de fumigación.	Baja alteración del sustrato. Eficacia elevada con tres aplicaciones. Método más dirigido (con menor deriva) que la fumigación del cañaveral. Bajo coste.	Necesita aplicaciones periódicas durante 3-5 años. Riesgo de afección a otras especies vegetales o componentes del medio natural por deriva del herbicida.
Impregnación post-corte	Cañaverales mixtos —con vegetación autóctona— o próximos al agua. En cañaverales densos preferible desbroce previo y corte e impregnación de los rebrotes.	Durante el periodo vegetativo.	Tijeras podadoras. Herbicida a base de glifosato para aplicación foliar (dosis máxima 10 l/ha). Guantes impermeables, recipientes y brochas.	Baja alteración del sustrato. Eficacia elevada con tres aplicaciones. Bajo/nulo riesgo de deriva.	Necesita aplicaciones periódicas durante 3-5 años. Coste muy elevado. Requiere aplicación manual y personal formado. No deben transcurrir más de 2 minutos entre corte e impregnación.
Inyección herbicida tallo	Cañaverales mixtos —con vegetación autóctona— o próximos al agua.	Durante el periodo vegetativo.	Tijeras podadoras. Jeringa dosificadora para uso ganadero. Herbicida a base de glifosato para aplicación foliar (dosis máxima 10 l/ha). No superar 1.000 inyecciones/ha y aplicación.	Baja alteración del suelo. Eficacia elevada con tres aplicaciones. Bajo/nulo riesgo de deriva.	Necesita aplicaciones periódicas durante 3-5 años. Coste elevado. Requiere aplicación manual y personal formado.

Método	Adecuado para	Época	Herramientas	Ventajas	Inconvenientes
Cubrimiento (geotextil, malla antihierbas, plástico de polietileno)	Cañaverales monoespecíficos, cercanos o alejados del agua.	Cualquier época del año. Las coberturas deben permanecer sobre el terreno durante dos estaciones vegetativas de <i>A. donax</i> .	Maquinaria para desbroce del cañaveral. Tijeras podadoras para eliminar cañas punzantes. Coberturas opacas. Grapas para fijación al sustrato de las coberturas.	No requiere empleo de productos químicos. Eficacia del 100%. No son necesarios repasos posteriores.	Coste muy elevado. Método de aplicación compleja. Es necesario revisar periódicamente las coberturas en busca de posibles perforaciones.
Inundación del cañaveral	Cañaverales monoespecíficos cerca de cursos fluviales a una cota un poco superior a la lámina de agua.	En invierno. La parcela debe permanecer inundada 3 meses ininterrumpidos con un lámina de agua de 20 cm.	Maquinaria para desbroce del cañaveral. Retroexcavadora para la construcción de mota perpendicular al río que permita la inundación de la parcela.	No requiere empleo de productos químicos. Eficacia del 100%. No son necesarios repasos posteriores.	Coste muy elevado. Método de aplicación compleja. Es necesario revisar periódicamente la actuación para reparar posibles fugas de agua.
Extracción de rizoma	Cañaverales situados en riberas que vayan a reperfilarse o cañaverales densos y monoespecíficos. Inadecuado para cañaverales que crecen en escolleras.	En verano, con el terreno seco para minimizar pérdidas de sustrato.	Maquinaria para desbroce del cañaveral. Retroexcavadora con cazo modificado para extracción del rizoma. Cribas para separación de sustrato y rizoma.	No requiere empleo de productos químicos. Eficacia del 100% o próxima si se retira el sustrato con el rizoma.	Fuerte alteración del sustrato. Coste elevado. Generación de un residuo que es necesario gestionar. Requiere revegetación posterior.
Cobertura de ramas	Cañaverales situados en riberas que vayan a reperfilarse. Inadecuado para cañaverales que crecen en escolleras.	Dos desbroces previos, final de agosto y final de septiembre. Plantación en invierno.	Maquinaria para desbroce del cañaveral. Retroexcavadora para reperfilado de los taludes. Varas de sauce o similar. Alambre o cuerda y estacas para sujetar las ramas. Piedras o troncos para escollera.	No requiere empleo de productos químicos. Restauración con vegetación autóctona. Moderada alteración del sustrato. Eficacia elevada en el control de <i>A. donax</i> .	Coste muy elevado. Método de aplicación compleja.

5.2. Métodos ineficaces para el control de cañaverales

Tradicionalmente, para gestionar cañaverales se han empleado métodos que únicamente inciden sobre la parte aérea de *A. donax*, como por ejemplo el desbroce o la quema (figura 49). Actualmente, la evidencia acumulada demuestra que ambos métodos solo permiten un control temporal de estas formaciones vegetales y que, a medio plazo, consolidan su dominancia frente a la vegetación riparia nativa. Por otro lado, el control de los cañaverales mediante herbívoros tampoco es posible, por las razones que se exponen más adelante.

Desbroce de cañaverales

Este método consiste únicamente en la eliminación mecánica de la parte aérea de un cañaveral. Nuestras observaciones indican que, como resultado del desbroce, se produce un aumento de hasta un 15% en la densidad de tallos del cañaveral respecto a la situación inicial, tal y como han descrito otros trabajos (USEPA 1997; Guthrie 2007). Por lo tanto, la consecuencia de este tipo de actuaciones son cañaverales más densos que los existentes inicialmente.

Por consiguiente, este método debería aplicarse únicamente:

- En combinación con otros, ya sean químicos (aplicación de herbicidas), físicos (cubrimiento con plásticos opacos, inundación prolongada del cañaveral) o de fomento de la competencia con especies nativas (coberturas arbustivas densas).
- En situaciones de emergencia, para la eliminación transitoria de la biomasa asociada a estas formaciones vegetales.



De otro modo, supone una inversión elevada con un efecto a medio y largo plazo contraproducente para el control de esta especie invasora.

Quema de cañaverales

El control de plantas invasoras mediante quemaduras prescritas es una herramienta útil cuando el fuego destruye sus estructuras reproductivas (DiTomaso *et al.* 2006). Pero este no es el caso de *A. donax*, cuyos rizomas quedan a salvo del fuego debido al aislamiento térmico que confiere el sustrato.

Según algunos autores (Coffman 2007; Coffman, Ambrose y Rundel 2010) el fuego estimula el crecimiento inmediato de la caña, que puede hacer uso de las reservas acumuladas en sus rizomas, mientras que la vegetación nativa se recupera más lentamente. A esto hay que añadir que la tasa de crecimiento de *A. donax* es mucho más elevada que la de las especies nativas, especialmente durante el primer año tras el incendio, cuando la caña puede hacer uso de los nutrientes liberados por mineralización durante el fuego. Todo ello conduce a una mayor acumulación de biomasa aérea de *A. donax* comparado con las especies nativas. En consecuencia, un año después de la quema de un cañaveral se produce una consolidación de la dominancia de *A. donax*, lo que se traduce en una gradual exclusión del espacio ribereño de las especies vegetales nativas.

Por consiguiente, la quema de cañaverales en ningún caso puede considerarse un método de control de *A. donax*. Su empleo solo tendría sentido para reducir temporalmente la biomasa acumulada en situaciones de emergencia e imposibilidad de actuar de otro modo por falta de recursos, asumiendo de antemano que se trata de una actuación que a medio y largo plazo tiende a consolidar la invasión.



Figura 49. La eliminación de la parte aérea de *A. donax* mediante desbroce (izquierda) o por la acción del fuego (derecha) estimula la producción de brotes por parte del rizoma, lo que se traduce en el establecimiento de un cañaveral más denso que el precedente. Imágenes: Izquierda: Generalitat Valenciana. Derecha: DGA (MAGRAMA)-TRAGSA.

Control mediante herbívoros

La caña no es una especie atractiva para los herbívoros en virtud de las sustancias químicas nocivas que acumula y de su alto contenido en sílice, resultado de la presencia de células silíceas asociadas con los haces vasculares en la epidermis (Perdue 1958; Bell 1997).

Como consecuencia de esto, los herbívoros como cabras, ovejas o vacas solo comerán las hojas tiernas cuando no haya otra alternativa y tenderán a concentrar su acción ramoneadora sobre las especies nativas, más palatables. Por lo tanto, este método tampoco puede ser considerado una alternativa para el control de *A. donax*.

5.3. Gestión de los residuos generados en la eliminación de cañaverales

Según el método empleado en los trabajos de eliminación de cañaverales se pueden producir dos tipos de residuos vegetales con capacidad de reproducción vegetativa. Se trata de los rizomas, los tallos lignificados o los fragmentos de ambos. Tal y como se ha visto en la sección de biología, estas partes de la caña poseen yemas, pudiendo actuar como vectores de propagación y producir nuevas plantas. Por consiguiente, estos restos vegetales no deben depositarse en el medio natural sin antes inertizarlos mediante los tratamientos que constituyen el objeto de este apartado.

Desde el punto de vista legal, el depósito de los restos de especies invasoras está permitido por el Real Decreto 1628/2011, de 14 de noviembre, por el que se regula el Listado y el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras en el marco de actuaciones de control, siempre que se realice de modo que no se favorezca la dispersión posterior de la especie objeto de control (artículo 10.8). Los métodos que se describen a continuación cumplirían con el requisito expresado en la norma citada.

5.3.1. Inertización de los rizomas

La extracción del rizoma lleva aparejado la generación de una gran cantidad de residuo vegetal que conserva su capacidad de producir nuevas plantas durante periodos prolongados. Por lo tanto, el gestor debe tener en cuenta que la mera extracción del sustrato no provoca su muerte. Una opción para gestionar este material con elevado coste económico es su traslado a vertedero autorizado para su posterior tratamiento, con el consiguiente pago del canon de vertido. Pero este coste elevado puede evitarse mediante el empleo de los métodos que se describen a continuación:

a) Trituración.

Se trata de una técnica habitual para el tratamiento de residuos vegetales que permite su incorporación al sustrato como enmienda orgánica vegetal. Para que los rizomas sean inviables desde el punto de vista vegetativo deben triturarse con un tamaño semejante al serrín (Santín *et al.* 2012). De otro modo, si el tamaño resultante de la trituración del residuo es mayor, no se puede garantizar su completa inertización (cuadro 5).

b) Enterramiento.

Las experiencias realizadas por Mota (2009) demuestran que es posible inertizar los rizomas enterrándolos a más de 1 metro de profundidad cubiertos con un plástico. Es importante subrayar que para que el método sea eficaz deben cumplirse ambos requisitos. Es decir, debe respetarse la profundidad indicada y cubrir los restos con plástico.

5.3.2. Inertización de los tallos

Los tratamientos que se describen a continuación deben aplicarse únicamente a las cañas lignificadas. Los tallos de primer año no lignificados carecen de capacidad rebrotadora y, una vez cortados, se secarán a los pocos días. Por ello, pueden ser depositados en el ámbito de actuación. Por el contrario, para depositar en el medio natural las cañas lignificadas sin que exista riesgo de que enraícen y den lugar a nuevas plantas debe aplicarse uno de los métodos descritos a continuación:

a) Astillado.

Por su naturaleza fibrosa, el astillado de las cañas requiere una astilladora potente. Esta tarea puede resultar más fácil si las cañas están algo secas. La máquina empleada en la trituración del rizoma en nuestras experiencias es también adecuada para el astillado de las cañas (figura 50b).

Por lo que se refiere al tamaño de astilla que se debe producir Boose y Holt (1999) demostraron que un 90% de los fragmentos de tallo que contienen un nudo son capaces de rebrotar cuando se cultivan en un invernadero. Sin embargo, estos fragmentos de tallo de tamaño tan reducido carecen de la capacidad de producir raíces (Decruyenaere y Holt 2001) y por consiguiente su viabilidad real en campo sería cuestionable. En cualquier caso, como medida de seguridad, se recomienda que las astillas que se produzcan sean inferiores a 2 centímetros, ya que este tamaño garantiza la destrucción de los nudos.

b) Desecación.

Si se dispone de espacio, las cañas cortadas pueden depositarse en lugar seco. Boose y Holt (1999) comprobaron que el mantenimiento de fragmentos de tallo en condiciones secas (4 semanas a temperaturas de 19-23 °C) provoca una

inhibición de la brotación del 72% de sus yemas. De aquí se deduce que el depósito de las cañas en un lugar seco durante dos meses de verano en la mayor parte de territorios donde la caña crece en España garantizaría su inertización.

Cuadro 5: Ensayos de inertización del rizoma

En nuestras experiencias se cultivaron fragmentos de rizoma de 5, 3 y 1 centímetros así como el serrín (tamaño < 1 centímetro, figura 50a) resultado de su trituración. Tras 35 días en invernadero se observó que todas las clases de tamaño, incluida la de fragmentos de 1 centímetro,

generaron brotes. No obstante, los fragmentos de menor tamaño tardaron más y emitieron menor cantidad de tallos que los de mayor tamaño (figura 51). Únicamente el rizoma triturado no produjo ningún rebrote. Resultados semejantes han sido obtenidos por Mota (2009).

Figura 50. La trituración del rizoma con un tamaño de grano semejante al serrín (a) garantiza su completa inertización. Para lograr esto es necesario emplear una trituradora para restos vegetales (b) por ejemplo el modelo CIPPO 15 —versión gasolina-HP 22,1-kW 16,5-HONDA GX 690-Producción 10 m³/h – diámetro triturable 15 cm— con la que se obtiene un triturado fino. Estos restos, junto a fragmentos de rizoma de un tamaño de 1, 3 y 5 cm, se sembraron en bandejas de 11 litros con sustrato y se mantuvieron en invernadero durante 40 días (c). En las imágenes (d) y (e), pueden verse las diferencias existentes entre la brotación de un rizoma intacto (control) con el brote producido por un fragmento de rizoma de 1 cm. Imágenes: DGA (MAGRAMA) – TRAGSA.



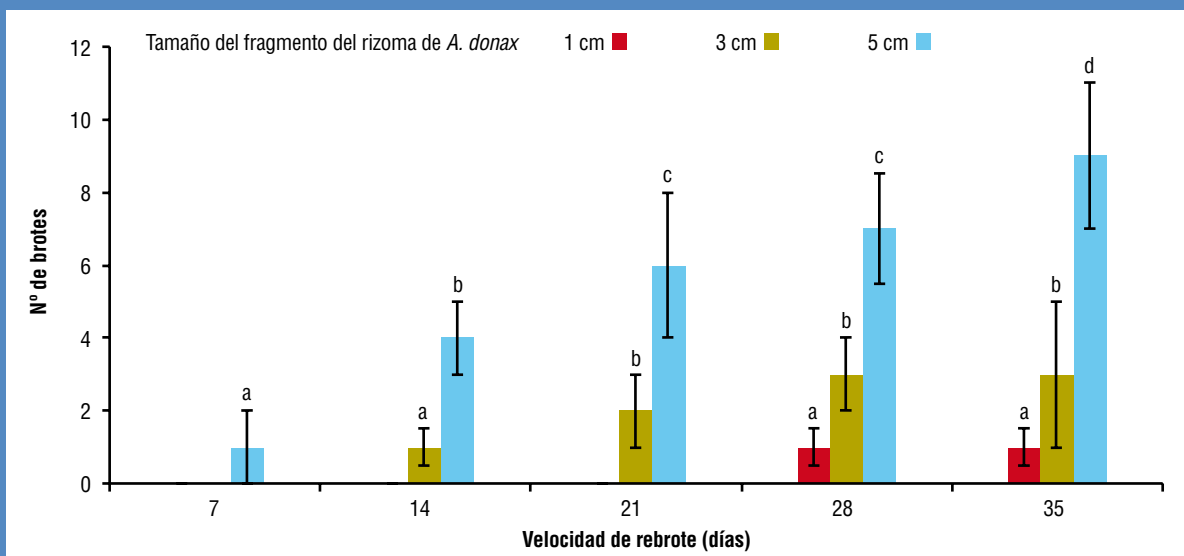


Figura 51. Número medio de brotes emitidos por las distintas clases de tamaño de fragmento de rizoma en función del tiempo de cultivo. Las letras diferentes indican diferencias significativas con el test de Tukey ($P < 0,05$). Ensayos desarrollados en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA).

5.4. Análisis de costes

El coste de los diferentes métodos ensayados así como su coste medio, indicado por la línea azul, se muestra en la figura 52. Del análisis de estos resultados pueden extraerse las siguientes consideraciones:

a) los métodos de fumigación del cañaveral o de los rebrotes suponen únicamente un incremento moderado de precio respecto al desbroce. En este punto hay que recordar que el desbroce contribuye a la generación de un cañaveral más denso y no puede ser considerado un método de control. Por lo tanto, estos resultados ponen de manifiesto el coste elevado del desbroce frente a ciertos métodos químicos, con los que se puede lograr un control más eficaz de los cañaverales.

b) el coste de los métodos químicos es bajo en comparación con el resto, a excepción del de impregnación. Sin embargo, este importe corresponde a tres aplicaciones para cada uno de ellos, lo que no permite el control definitivo del cañaveral (cuadro 4). Esto significa que su coste final puede ser superior, ya que con frecuencia serán necesarias aplicaciones en años sucesivos. Aunque este incremento no ha sido estimado en los ensayos realizados,

se ha calculado que el coste de los repasos en los métodos de fumigación del rebrote e impregnación se reduce conforme éstos se suceden (figura 53). Esto se debe, por una parte, a que el primer tratamiento incluye el coste del desbroce en ambos casos y, por otra, a que el número de cañas que debe tratarse disminuye con los sucesivos tratamientos. Por lo tanto, el gestor debe tener en cuenta que los repasos tienen un menor coste en comparación con el tratamiento inicial en la planificación de los trabajos.

Por último, en la figura 54 se muestran las principales unidades de obra que intervienen en cada método y su contribución proporcional al importe total de cada uno de ellos. Esta información puede ser útil para mejorar su rendimiento, ya que permite saber qué unidades de obra condicionan el coste de manera más determinante. Por ejemplo, en 6 de los 8 métodos, la unidad de obra con mayor peso en la determinación del precio es la mano de obra (color naranja). Esto sugiere que podría lograrse una mejora de la productividad proporcionando una formación adecuada a los operarios encargados de la ejecución de los trabajos, de modo que adquieran las habilidades y conocimientos necesarios para correcta ejecución de los mismos antes de su inicio.

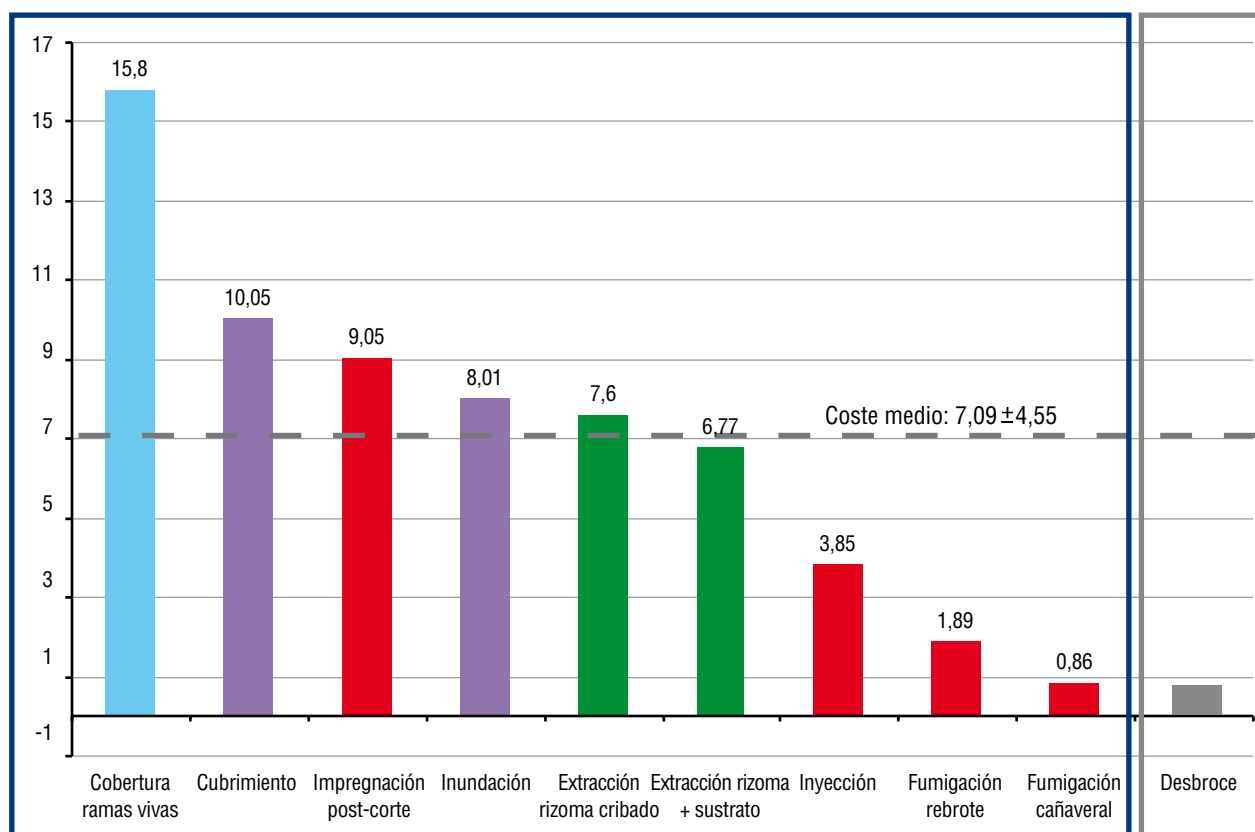


Figura 52. Coste de aplicación (€/m²) de los diferentes métodos para el control de cañaverales (recuadro azul) y coste del desbroce mecánico (recuadro gris). Rojo: métodos químicos; verde: mecánicos; violeta: físicos; azul: fomento competencia. En el caso de los métodos químicos únicamente, el coste equivale al tratamiento inicial y dos tratamientos de repaso. Coste aproximado de los tratamientos basado en el análisis de obras de mantenimiento de cauces en varias confederaciones hidrográficas, proyectos de la Estrategia Nacional de Ríos y proyectos internacionales.

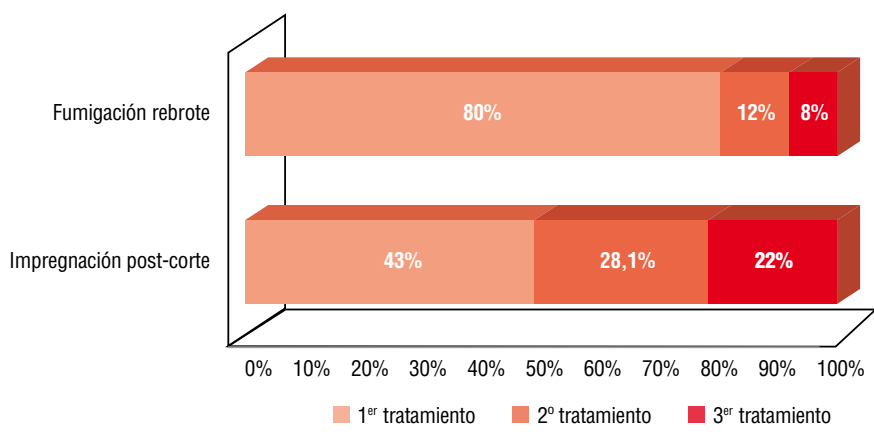


Figura 53. Porcentaje del coste total que suponen los tratamientos de repaso en los métodos de fumigado del rebrote e impregnación post-corte (del rebrote). El coste elevado de la primera aplicación es debido a que incluye el importe correspondiente al desbroce inicial del cañaveral.

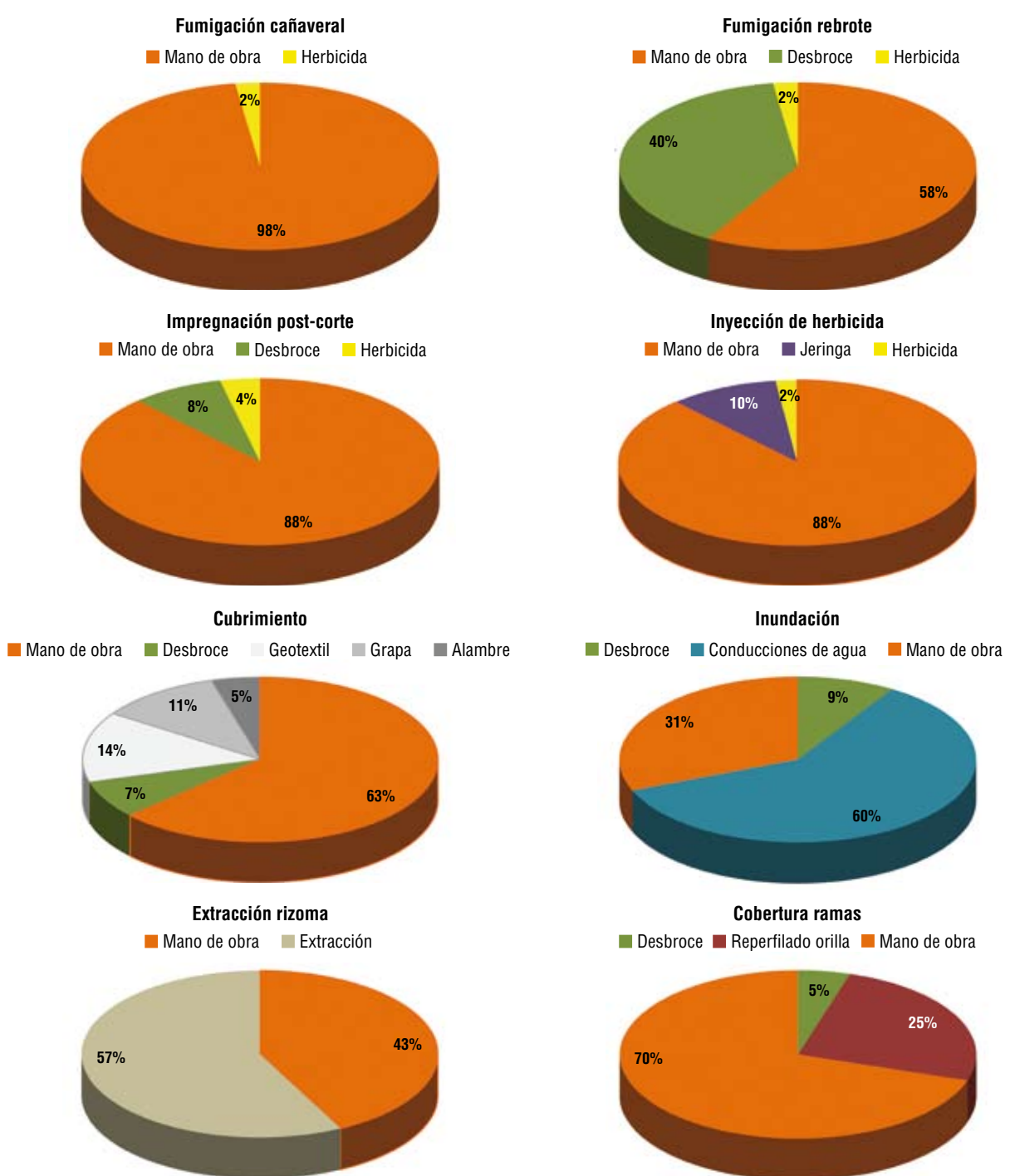


Figura 54. Coste relativo de las diferentes unidades de obra para cada uno de los ocho métodos ensayados.

6



CONCLUSIONES

a) La eliminación de un cañaveral es un objetivo perfectamente alcanzable empleando distintos métodos, incluso en situaciones de colonización muy intensa. No obstante, la dificultad para lograr esta meta se incrementa con la escala de la intervención. A esto contribuye la adaptabilidad de *A. donax* —que le permite crecer en una amplia variedad de situaciones— y los diversos factores que condicionan la intervención.

b) El conocimiento de la biología de *A. donax* es un aspecto importante a la hora de abordar su eliminación. De hecho, la dificultad para lograr este objetivo radica en las peculiaridades de su morfología —presencia de un órgano perenne subterráneo responsable del reclutamiento—, de su modo de crecimiento y propagación —elevada capacidad de reproducción vegetativa—, de su fisiología —alta productividad— y de su ecología —elevada plasticidad—. Estos aspectos deben ser tenidos en cuenta a la hora de aplicar los diferentes métodos que permiten el control de esta especie así como en la planificación de las actuaciones.

c) La eliminación de cañaverales es posible mediante métodos tradicionales como el empleo de herbicidas o la extracción mecánica del rizoma. Pero también lo es con otros utilizados con menor frecuencia, como los cubrimientos con coberturas opacas, la inundación prolongada o el fomento de la competencia que ofrecen ciertas especies nativas. Habida cuenta que los distintos métodos difieren en los impactos que producen sobre el medio y en sus costes de aplicación, la elección del más adecuado dependerá de múltiples variables, que incluirán desde aspectos normativos al tipo de intervención que se pretenda

realizar, pasando por las características del cañaveral, la localización de la actuación o la posibilidad de realizar repasos en años sucesivos.

d) En general, puede afirmarse que los métodos de control de cañaverales que no recurren a herbicidas permiten su eliminación definitiva con mayor rapidez que los métodos químicos, sin necesidad de repasos una vez finalizada la intervención. No obstante, el coste de estos métodos es habitualmente mayor que el de aquellos que recurren al empleo de herbicidas.

e) Los tratamientos de repaso son esenciales para la consolidación de la eficacia de los métodos químicos. Además, únicamente suponen un bajo o moderado incremento de coste respecto a la actuación inicial. En este sentido, es importante prever que el periodo de seguimiento necesario para la completa eliminación de un cañaveral mediante el empleo de herbicida oscila entre los 3 y los 5 años. Por lo tanto, si no pueden garantizarse estos repasos, se recomienda no iniciar las actuaciones de control de cañaverales empleando métodos químicos.

f) El desbroce por sí solo o la quema de cañaverales únicamente conducen a una eliminación transitoria de su parte aérea. Por consiguiente, ambos métodos deberían únicamente emplearse para la reducción temporal de la biomasa acumulada en situaciones de emergencia e imposibilidad de actuar de otro modo por falta de recursos, asumiendo de antemano que se trata de una actuación que a medio y largo plazo tiende a consolidar la dominancia de las riberas por parte de la caña y, por consiguiente, a agravar los problemas y riesgos asociados a su presencia.



REFERENCIAS

Divulgación del Proyecto de I+D+i para el Control y Erradicación de *A. donax*: I congreso Ibérico Restauraríos (León, octubre 2011); XIII Congreso de la Sociedad Española de Malherbología (Canarias, noviembre 2011); Jornadas sobre Especies Invasoras en Ríos y Zonas Húmedas (Valencia, febrero 2012); Jornada interna —AGE— sobre seguimiento de proyectos de restauración fluvial (Madrid, junio 2012); Presentación en el ciclo de conferencias de la exposición “entre ríos anda el juego” (junio 2012 en Madrid); IV Congreso Nacional sobre Especies Exóticas Invasoras (Pontevedra, septiembre 2012); Jornadas Técnicas de Restauración Fluvial (Murcia, octubre 2012); Congreso Nacional de Medio Ambiente -CONAMA- (Madrid, noviembre 2012).

ABICHANDANI, S.L. 2007. *The potential impact of the invasive species Arundo donax on water resources along the Santa Clara river: seasonal and diurnal transpiration*. MSc Thesis. University of California. Los Angeles.

ANNAPURNA, C. & J.S. SINGH. 2003. *Phenotypic plasticity and plant invasiveness: case study of congress grass*. Current Science 85: 197–201.

ANON. 2002. U.S. Fish and Wildlife Service, Region 2. *Final recovery plan: Southwestern willow flycatcher (Empidonax traillii extimus)*. Albuquerque, NM: Southwestern Willow Flycatcher Recovery Team.

ANON. 2007. *Arundo donax Tarping Protocol*. Center for Ecological Restoration and Stewardship. Circuit Rider Productions, Inc.

BELL, C.E. 2011. *Giant reed (Arundo donax L.) response to glyphosate and imazapyr*. Journal of Aquatic Plant Management. 49: 111-113.

BELL, G.P. 1993. *Biology and growth habits of giant reed (Arundo donax)*. In: *Arundo donax workshop proceedings*. Team *Arundo* del Norte.

BELL, G.P. 1997. *Ecology and management of Arundo donax and approaches to habitat restoration in southern*

California. In: Brock JH, Wade M, Pysek P y D Green (Eds.), *Plant Invasions: studies from North America and Europe*, pp 103–113. Backhuys Publishers, Leiden. The Netherlands.

BOLAND, J.M. 2006. *The importance of layering in the rapid spread of Arundo donax (giant reed)*. Madroño, Vol 53 (4): 303–312.

BOOSE, A.B. & J.S. HOLT. 1999. *Environmental effects on asexual reproduction in Arundo donax*. Weed Research 39: 117-127.

BRADLEY, J. 1997. *Bringing back the bush: The Bradley method of bush regeneration*. Lansdowne Publishing Pty. Ltd. The Rocks, New South Wales, Australia.

BROOKS, M.L., BELNAP, J., KEELEY, J. & R. SANFORD. 2005. *Fire and invasive annual grasses in Western ecosystems*. Final Report for JFSP Project Number 00-1-2-04.

BROOKS, M.L., D'ANTONIO, C.M., RICHARDSON, D.M., GRACE, J.B., KEELEY, J.E., DITOMASO, J.M., HOBBS, R.J., PELLANT, M. & D. PYKE. 2004. *Effects of invasive alien plants on fire regimes*. BioScience 54: 677-688.

CAMPOS, J.A. & M. HERRERA. 2009. *Diagnosis de la Flora alóctona invasora de la CAPV*. Dirección de Bio-

- diversidad y Participación Ambiental. Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Gobierno Vasco. 296 pp. Bilbao.
- CAPDEVILA-ARGÜELLES, L., ZILETTI, B. & SUAREZ ÁLVAREZ, V.A. 2011. *Manual de las Especies Exóticas Invasoras en los Ríos y Riberas de la Cuenca Hidrográfica del Duero*. Confederación Hidrográfica del Duero. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.
- CHADWICK. 1992. *Santa Ana river use attainability analysis. Volume 2: aquatic biology, habitat and toxicity analysis*. Riverside, California: Santa Ana watershed project authority.
- COFFMAN, G.C. 2007. *Factors influencing invasion of giant reed (Arundo donax) in riparian ecosystems of Mediterranean type climate regions*. Dissertation, University of California, Los Angeles.
- COFFMAN, G.C., AMBROSE, R.F. & P.W. RUNDEL. 2004. *Invasion of Arundo donax in river ecosystems of Mediterranean climates: causes, impacts and management strategies*. Proceedings of the 10th MEDECOS. Conference, Rhodes Island, Greece. (Eds. M. Arianoutsou y W. Papanastasis), pp. 1-8. Millpress Science Publishers, Rotterdam.
- COFFMAN, G.C., AMBROSE, R.F. & P.W. RUNDEL. 2010. *Wildfire promotes dominance of invasive giant reed (Arundo donax) in riparian ecosystems*. Biological invasions 12: 2723-2734.
- COOK, C.D.K. 1990. *Aquatic Plant Book*. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands, p. 220.
- CORTÉS, E., MARCO, M.A. & J. GOOLSBY. 2009. *Buscando el antídoto natural en la lucha contra el carrizo gigante*. Cuadernos Biodiversidad 29: 20-24.
- DAEHLER, C.C. 2003. *Performance comparison of co-occurring native and alien invasive plants: Implications for conservation and restoration*. Annual Review of Ecological and Evolutionary Systematics 34:183-211.
- D'ANTONIO, C.M. & P.M. VITOUSEK. 1992. *Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle and global change*. Annual Review 23: 63-87.
- DANA, E.D., SANZ, M., VIVAS, S. & SOBRINO E. 2005. *Especies vegetales invasoras en Andalucía*. Dirección General de la Red de Espacios Naturales Protegidos y Servicios Ambientales. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- DECRUYENAERE, J.G. & J.S. HOLT. 2001. *Seasonality of clonal propagation in giant reed*. Weed Science 49:760-767.
- DECRUYENAERE, J.G. & J.S. HOLT. 2005. *Ramet demography of a clonal invader, Arundo donax (Poaceae), in southern California*. Plant and Soil 277: 41-52.
- DiTOMASO, J.M. 2000. *Herbicides*, pp. 189-197. In: *Principles of weed control*. Thompson Publications, Fresno, CA.
- DiTOMASO, J.M. 1998. *Biology and ecology of giant reed*. Pp. 1-5 in C. Bell (ed.), *Arundo and saltcedar: the deadly duo*. Proceedings of the *Arundo* and saltcedar workshop. University of California Co-operative Extension Publication, Imperial County, CA.
- DiTOMASO, J.M., BROOKS, M.L., A. EDITH B., MINNICH, R., RICE, P.M., KYSER, G.B. 2006. *Control of Invasive Weeds with Prescribed Burning*. Weed Technology 20:535-548.
- DUDLEY, T.L. 1998. *Noxious Wildland Weeds of California: Arundo donax*. In: *Noxious Wildland Weeds of California*. C. Bossard, J. Randall, and M. Hoshovsky, eds.
- DUDLEY, T.L. 2000. *Arundo donax*. In: Bossard CC, Randall JM and Hoshovsky MC (eds), *Invasive Plants of California's Wildlands*, pp 53-58. University of California Press, Berkeley.
- ELSE, J.A. 1996. *Post-flood establishment of native woody species and an exotic, Arundo donax, in a southern California riparian system*. MS thesis. San Diego State University.
- EWEL, K.C., CRESSA, C., KNEIB, R.T., LAKES, P.S., LEVIN, L.A., PALMER, M.A., SNELGROVE, P. & D.H. WALL. 2001. *Managing critical transition zones*. Ecosystems 4: 452-460.
- FRANSEN, P.R. 1997. *Team Arundo: interagency cooperation to control giant reed cane (Arundo donax)*. In Luken JO y JW Thiert, eds. *Assessment and management of plant invasions*. Springer, New York, USA.
- GIESSOW, J., CASANOVA, J., LECLERC, R., MACARTHUR, R., FLEMING, G., GIESSOW, J. (2011) *Arundo donax (Giant Reed): Distribution and impact report*. Cal-IPC. <http://www.cal-ipc.org/ip/research/arundo/index.php>
- GODÉ, L.X., GARCÍA, E. & C. GUTIÉRREZ I PEREARNAU. 2008. *La gestió i recuperació de la vegetació de ribera: guia tècnica per a actuacions en riberes*. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.

- GOOLSBY, J.A. & P. MORAN. 2009. *Host range of Tetramesa romana Walker (Hymenoptera: Eurytomidae), a potential biological control of giant reed, Arundo donax L.* In North America Biological Control 49: 160–168
- GORDON, D.R., WELKER, J.M., MENKE, J.W. & K.J. RICE. 1989. *Competition for soil water between annual plant and blue oak (Quercus douglasii) seedlings.* Oecologia 79: 533-541.
- GRACE, J.B. 1993. *The adaptive significance of clonal reproduction in angiosperms: an aquatic perspective.* Aquatic Botany 44: 159-180.
- GROSSINGER, R., ALEXANDER, J., COHEN, A.N. & J.N. COLLINS. 1998. *Introduced tidal marsh plants in the San Francisco Estuary. Regional distribution and priorities for control.* San Francisco Estuary Institute, CALFED Category III Steering Committee. California.
- GUTHRIE, G. 2007. *Impacts of the invasive reed Arundo donax on biodiversity at the community-ecosystem level.* MSc Thesis, Biodiversity and Conservation Biology Department, University of the Western Cape.
- HENDRICKSON, D., & S. McGAUGH. 2005. *Arundo donax (Carrizo Grande/Giant Cane) in Cuatro Ciénegas.* <http://www.desertfishes.org/cuatroc/organisms/non-native/Arundo/Arundo.html>
- HERRERA, A.M. & T.L. DUDLEY. 2003. *Reduction of riparian arthropod diversity as a consequence of giant reed (Arundo donax) invasion.* Biological invasions 5: 167-177.
- HOOD, W.G. & R.J. NAIMAN. 2000. *Vulnerability of riparian zones to invasion by exotic vascular plants.* Plant Ecology 148: 105-114.
- HOSHOVSKY, C.M. & J.M. RANDALL. 2000. *Management of invasive species.* In Bossard, C. C., J.M. Randall, and M. C. Hoshovsky. *Invasive Plants of California's Wildlands.* University of California Press. Berkeley, CA.
- HOSHOVSKY, M. 1987. *Arundo donax. Element Stewardship Abstract.* The Nature Conservancy, San Francisco, CA.
- HUGHES, R.F., VITOUSEK, P.M. & T. TUNISON. 1991. *Alien grass invasion and fire in the seasonal submontane zone of Hawaii.* Ecology 72: 743–746.
- IVERSON, M. 1994. *The impact of Arundo donax on water resources.* In: Jackson NE, Frandsen P and Duthoit S (eds), Arundo donax Workshop Proceedings, pp 19-26. California Exotic Pest Plant Council, Riverside.
- JIMÉNEZ, J., SÁNCHEZ, F.J., GARCÍA, J., VILÁN, X.M., LUQUERO, L. & OCAÑA, L. 2011. *Respuesta de la planta exótica invasora Arundo donax L. (caña común), frente a la acción sistémica de distintos tipos de herbicidas para su control y erradicación.* En: Actas del I Congreso Ibérico de Restauración Fluvial “Restaura Ríos”. pp. 820. León, 2011, España.
- JIMÉNEZ, J., VILÁN, X.M., GARCÍA, J., LUQUERO, L. & SANTÍN, I. 2011. *Estudio de la capacidad invasiva de Arundo donax L., en distintas regiones bioclimáticas de la Península Ibérica.* Actas del XIII Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, “Plantas Invasoras, Resistencias a Herbicidas y Detección de Malas Hierbas”. La Laguna, 2011, España.
- JOHNSON, M., DUDLEY, T. & C. BURNS. 2006. *Seed production in Arundo donax?.* Marine Science Institute, University of California. Cal-IPC News Fall.
- KISSNER, D.A. 2004. *The effect of giant reed (Arundo donax) on the southern california riparian bird community.* MSc Thesis. San Diego State University.
- LOWE, S., BROWNE, M., BOUDJELAS, S. & M. DE POORTER. 2000. *100 of the World's Worst Invasive Alien Species: A selection from the Global Invasive Species Database.* Published by The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN).
- M.A.R.M. 2008. *Buenas prácticas agrícolas en la aplicación de fitosanitarios.* <http://www.fepex.es/archivos/publico/Fitosanitarios/Fitosanitarios-%20Texto.pdf>
- MARIANI, C., CABRINI, R., DANIN, A., PIFFANELLI, P., FRICANO, A., GOMARASCA, S., DICANDILO, M., GRASSI, F. & C. SOAVE. 2010. *Origin, diffusion and reproduction of the giant reed (Arundo donax L.): a promising weedy energy crop.* Annals of Applied Biology 157: 191–202
- MILTON, S.J. 2004. *Grasses as invasive alien plants in South Africa.* South African Journal of Science 100: 69-75.
- MONSANTO. 2006. *Aquamaster label.* <http://www.monsanto.com/monsanto/>.
- MOTA FREIXAS, E. 2009. *Estudi de noves tècniques per a l'eradició de l'Arundo donax.* Memoria del proyecto de

final de carrera de Ciencias Ambientales.

MOODY, M.E. & R.N. MACK. 1988. *Controlling the spread of plant invasions the importance of nascent foci*. Journal of Applied Ecology 25: 1009-1021

PAN, X.Y., GENG, Y.P., ZHANG, W.J., LI, B. & J.K. CHEN. 2006. *The influence of abiotic stress and phenotypic plasticity on the distribution of invasive Alternanthera philoxeroides along a riparian zone*. Acta Oecologica 30: 333-341.

PERDUE, R.E. 1958. *Arundo donax - source of musical reeds and industrial cellulose*. Economic Botany 12: 368-404.

PLANTY-TABACCHI, A.M., TABACCHI, E., NAIMAN, R.J., DEFERRARI, C. & H. DESCAMPS. 1996. *Invasibility of species rich communities in riparian zones*. Conservation Biology 10: 598-607.

POLUNIN, O. & A. HUXLEY. 1987. *Flowers of the Mediterranean*. Hogarth Press, London.

QUINN, L.D. 2006. *Ecological correlates of invasion by Arundo donax*. Dissertation. Riverside, CA: University of California.

QUINN, L.D. & J.S. HOLT. 2009. *Restoration for resistance to invasion by giant reed (Arundo donax)*. Invasive plant science and management 2: 279-291.

RICHARDSON, D.M., HOLMES, P.M., ESLER, K.J., GALATOWITSCH, S.M., STROMBERG, J.C., KIRKMAN, S.P., PYSEK P & HOBBS R.J. 2007. *Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects*. Diversity and Distributions. 13, 126-139.

REJMÁNEK, M. (1989). *Invasibility of plant communities*, a A. Drake i A. Mooney (editors) (1989). *Biological invasions: a global perspective*, Brisbane, John Wiley & Sons, 369-388.

ROSSA, B. TUFFERS, A.V., NAIDOO, G. & D.J. VON WILBERT. 1998. *Arundo donax L. (Poaceae) – a C₃ species with unusually high photosynthetic capacity*. Botanica Acta 111: 216-221.

SANTÍN, I., JIMÉNEZ, J., VILÁN, X.M., SÁNCHEZ, F.J. & GARCÍA, J. 2012. *Efectos del tamaño y humedad del rizoma en la capacidad invasora de Arundo donax L. en condiciones controladas. (2012)* En: GEIB Grupo Especialista en Invasiones Biológicas (ed) EEI 2012 Notas Científicas. pp. 188-189.

4º Congreso Nacional sobre Especies Exóticas Invasoras "EEI 2012". GEIB, Serie Técnica Nº 5. León, 218 pp.

SANZ ELORZA, M., DANA SÁNCHEZ E.D. & E. SOBRINO VESPERINAS. 2004. *Atlas de las plantas alóctonas invasoras en España*. Ministerio de Medio Ambiente.

SCOTT, G.D. 1994. *Fire threat from Arundo donax*. In: Jackson NE, Frandsen P and Duthoit S (eds), *Arundo donax Workshop Proceedings*, pp 17-18. California Exotic Pest Plant Council, Riverside.

SHARMA, K. P., S.P.S. KUSHWAHA & B. GOPAL. 1998. *A comparative study of stand structure and standing crops of two wetland species, Arundo donax and Phragmites karka, and primary production in Arundo donax with observations on the effect of clipping*. Tropical Ecology. 39:3-14.

SORIANA, A. & O.E. SALA. 1983. *Ecological strategies in a Patagonian arid steppe*. Vegetatio 56: 9-15.

SPENCER, D.F. & G.G. KSANDER. 2006. *Estimating Arundo donax ramet recruitment using degree-day based equations*. Aquatic Botany. 85:282-288.

SPENCER, D.F., TAN, W., LIOW, P., KSANDER, G.G. & L.C. WHITEHAND. 2009. *Evaluation of late summer Imazapyr Treatment for Managing Giant Reed (Arundo donax)*. Journal of Aquatic Plant Management 47: 40-43.

SPENCER, D.F., WAILUN, T., P.S. LIOW, KSANDER GREG, G., WHITEHAND, L.C., WEAVER, S., OLSSON, J. & M. NEWHOUSER. 2008. *Evaluation of glyphosate for managing Giant Reed (Arundo donax)*. Invasive Plant Science and Management 1: 248-254.

SPENCER, D.F., KSANDER, G.G. & P.S. LIOW. 2005. *Response of giant reed (Arundo donax L.) to intermittent shading*. In *45th Annual Meeting of the Aquatic Plant Management Society*. San Antonio, TX: Aquatic Plant Management Society.

USEPA. 1997. *Control of giant cane in riparian and wetland areas of northern and central California*. Final report.

VILÁN, X.M., SÁNCHEZ, F.J., GARCÍA, J., JIMÉNEZ, J. & GARCÍA-GUIJAS, J.M. 2011. *Proyecto de I+D+i de Optimización de los Sistemas de Eliminación y Control de Cañaverales para Mejora del Estado Ecológico y Recuperación de la Capacidad de Desagüe de los Ríos*. En: Actas del I Congreso Ibérico de Restauración Fluvial "Restaura Ríos". pp. 735-743. León, 2011, España.

WATTS, D.A. & G.W. MOORE. 2011. *Water use dynamics of Giant Reed (Arundo donax) from leaf to stand*. Wetlands. DOI 10.1007/s13157-011-0188-1.

WAGNER, W.L., HERBST, D.R. & S.H. SOHMER. 1999. *Manual of the flowering plants of Hawaii*. University of Hawaii and Bishop Museum Press, 83, Honolulu, Hawaii.

ZEDLER, J.B. 2004. *Causes and consequences of invasive plants in wetlands: opportunities, opportunists, and outcomes*. Critical Reviews in Plant Sciences 23(5): 431-452.

ZEMBAL, R. 1998. *Habitat for threatened habitat and endangered species-quarantine areas or control exotic weeds?* In: Bell, Carl E., ed. In: *Arundo and saltcedar: the deadly duo: Proceedings of a workshop on combating the threat from arundo and saltcedar*; 1998 June 17; Ontario, CA. Holtville, CA: University of California, Cooperative Extension: 15-20.

ZEVEN, A.C. & J.M.J. WET. 1982. *Dictionary of cultivated plants and their regions of diversity*. Centre for agricultural publishing and documentation. Wageningen. The Netherlands.