Investigación sobre la caracterización y sectorización según criterios de actuación de los cañaverales situados en el cauce del río Serpis dentro del término municipal de Beniarjó

G. Colmena-Flores[a,1,*], J.D. Viana-Fons[a,1], E. Gil-Martínez[a,1], B. García-Domínguez[a,1]

[a]*La Canya Estudis, Santa Ana 2, 46200 Paiporta, València, España*

1 de Octubre de 2017

Resumen

La presencia de *Arundo donax* L. en los ecosistemas fluviales genera multitud de impactos ambientales, propios de las especies exóticas invasoras. El alto grado de penetración y dispersión de esta especie en los bosques mediterráneos ha llevado a que las distintas administraciones empleasen grandes cantidades de recursos en su control, promoviendo estudios que traten de abordar la problemática y recopilen información y experiencia acerca de su manejo y erradicación. En particular, este trabajo se enmarca en el río Serpis a su paso por el municipio de Beniarjó, un entorno especialmente afectado por esta especie, y cuyo propósito principal consiste en caracterizar y sectorizar, según criterios de actuación, el conjunto de masas de *Arundo donax* L. ligadas al ecosistema fluvial. Para ello, se han medido los diferentes factores que pueden influir en el desarrollo de los trabajos de control, a fin de obtener las variables críticas que determinen sectores homogéneos donde establecer las prioridades y las metodologías más efectivas y eficientes para cada uno de ellos. Paralelamente, se analizan dos procesos muy vinculados a la presencia y desarrollo de esta especie en el ecosistema. Por una parte, se cuantifican los efectos de la última riada sobre la distribución de las masas y, por otra parte, se estima el consumo de agua atribuible a los cañaverales, así como el ahorro que supondría sustituirlas por un bosque de ribera autóctono. Como resultado de la caracterización se obtiene, para cada sector, un conjunto de posibles líneas de gestión de estas masas vegetales, ordenadas según criterios ecológicos, de eficacia y coste. Por otra parte, se ha comprobado que el efecto de las crecidas en la distribución de los cañaverales es significativo aunque temporal. Concretamente, la última avenida conllevó una reducción del 33.73 % del área ocupada. Por último, se obtiene que el consumo anual del conjunto de las masas de *Arundo donax* L. en el área de estudio es de 47257.97 ± 1620.61 m^3/año, un valor un 47.3 % superior al consumo correspondiente a un bosque de ribera autóctono. El estudio se elabora con una clara intencionalidad práctica, incluyendo descripciones detalladas de las diferentes tareas comprendidas en cada línea de actuación y los principales beneficios que supondría su implementación. Por lo tanto, aunque la finalidad principal de la investigación es servir de base para su proyección y ejecución en el área de estudio, la finalidad última del trabajo es contribuir al desarrollo de los planes de control y erradicación de *Arundo donax* L. a lo largo del territorio.

Keywords: *Arundo donax* L., río Serpis, caracterización y sectorización, líneas de actuación, evapotranspiración, efecto riadas

Índice

1 Introducción 2

2 Metodología 2

3 Resultados y discusión 9

4 Conclusiones 13

5 Agradecimientos 13

6 Bibliografía 13

Apéndices 15

*Correspondencia a: La Canya Estudis, Santa Ana 2, 46200 Paiporta, València, España. Email: lacanyaestudis@lacanyaestudis.com. Web: www.lacanyaestudis.com

[1]La Canya Estudis: Asociación sin ánimo de lucro inscrita en el Registro Nacional de Asociaciones. NNRNA: 613296 / CIF: G-98891955.

1. Introducción

Arundo donax L. (Poaceae) o caña común es una especie exótica invasora que provoca grandes problemas en los ecosistemas que coloniza (Show et al., 2013), afectando gravemente a los servicios que éstos ofrecen (Andreu and Vilà, 2010). Dicha especie presenta un alto grado de ocupación en los márgenes de agua, tanto naturales como artificiales, de la mayoría de las zonas subtropicales y templadas del planeta (Perdue, 1958; Bonanno, 2013), aunque suele irrumpir en regiones con una alta proporción de agricultura (Bruno et al., 2014), viéndose claramente favorecida en ecosistemas con altos grados de presión antrópica y de perturbaciones naturales como la sequía y la salinidad (Quinn and Holt, 2008).

En la mayoría de regiones donde ha sido introducida, esta especie se reproduce de forma predominantemente asexual, con una expansión rápida a través de rizomas, fragmentos de tallo y ramas secundarias, dispersados principalmente por el arrastre en cursos de agua o por la acción humana (Mariani et al., 2010). Entre sus impactos sobre el medio natural, cabe destacar el desplazamiento de la vegetación riparia nativa gracias a la fuerte competencia que establece por el espacio y los recursos (Sanz-Elorza et al., 2004), la disminución de la capacidad de desagüe de ríos y canales al taponar y reducir los cauces con sus sedimentos (Bell, 1997), el aumento del riesgo de incendio y la aceleración de los ciclos de fuego gracias a su elevada productividad (Coffman et al., 2010; Rossa et al., 1998) y la reducción de los recursos hídricos en zonas áridas debido a su intensa transpiración (Abichandani, 2007).

Como consecuencia, la invasión de especies exóticas como *Arundo donax* L. se considera una de las mayores amenazas para el bienestar ecológico y económico del planeta (McNeely et al., 2001), siendo ésta una de las plantas alóctonas más peligrosas y nocivas a escala mundial (Sanz-Elorza et al., 2004) según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), mientras que el Grupo de Especialistas sobre Especies Invasoras (ISSG) la incluye en la lista de las 100 peores especies biológicas invasoras del planeta (Bañares-Baudet et al., 2004).

Además, se espera que la presión de las especies invasoras sobre los ecosistemas aumente constantemente si no se implementan acciones significativas (CBD, 2014). Esto ha llevado a que las distintas administraciones empleasen grandes cantidades de recursos en su control y erradicación, aunque en algunos casos, con rentabilidades ambientales y económicas dudosas (Deltoro-Torró et al., 2012).

En este sentido, desde el Convenio de Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (CDB), aprobado en 1992, se han promovido y aplicado principios orientadores, elaborados por la propia Conferencia, estableciendo planes estratégicos que incluyen medidas preventivas y programas de control y erradicación de especies exóticas invasoras en los diferentes países miembros.

De acuerdo con Deltoro-Torró et al. (2012), los planes de gestión y erradicación de *Arundo donax* L. están condicionados por múltiples variables, entre las que se diferencian los aspectos biológicos, el ámbito de actuación, la tipología de los cañaverales, el contexto social en el que se desarrollarán los trabajos o las variables propias de la actuación, de forma que los diferentes métodos de eliminación no pueden ser aplicados en cualquier contexto en el que se desarrolla esta especie. Esto conlleva la necesidad de realizar estudios individualizados de cada zona, tratando de establecer metodologías concretas y adaptadas a las circunstancias específicas del lugar. En base a estas consideraciones, se hace necesario caracterizar los cañaverales según las variables mencionadas, definiendo sectores en función de las prioridades y las metodologías más efectivas y eficientes para cada caso.

2. Metodología

2.1. Objetivos

El objetivo principal consiste en la caracterización y sectorización de los cañaverales situados en el cauce del río Serpis, dentro del término municipal de Beniarjó, según criterios de actuación. Como resultado se obtiene, para cada sector, un conjunto de posibles líneas de gestión de estas masas vegetales, ordenadas según criterios ecológicos, de eficacia y coste.

Paralelamente, se analizan dos procesos muy vinculados a la presencia y desarrollo de esta especie en el ecosistema. Por una parte, se cuantifican los efectos de la última riada sobre la distribución de las masas de *Arundo donax* L. y, por otra parte, se estima el consumo de agua atribuible a dichas masas, así como el ahorro que supondría sustituirlas por un bosque de ribera autóctono.

2.2. Área de estudio

El área de estudio se limita al ecosistema fluvial del río Serpis, dentro del ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (CHJ), a su paso por Beniarjó[2], correspondiente al curso bajo del río, en un tramo entre meandriforme y sinuoso, una altura media de 30 msnm y una pendiente media de 0.5 %. Éste está amparado por las figuras de protección de Paisaje Protegido y de Terreno Forestal Estratégico, de acuerdo con el plano del Apéndice B.

El río nace entre los parques naturales del Carrascar de la Font Roja i de la Serra de Mariola y desemboca en el Mediterráneo, en el término municipal de Gandia, con una longitud total de 74.5 km, una superficie de cuenca de 752.8 km^2 y un desnivel cercano a 1000 m.

Siguiendo el plano del Apéndice A, la longitud aproximada de la cuenca fluvial en área de estudio es de 2.16 km, mientras que la superficie del cauce y la ribera se sitúa en torno a 76.35 ha. El sustrato del lecho está formado principalmente por gravas, arenas y limos de materiales carbonatados (Garófano-Gómez et al., 2009).

[2]Límites del cauce en la proyección EPSG 25830: 743129-743768 m, 4312586-4313816 m.

2.2.1. Climatología

La zona de estudio pertenece al piso bioclimático termomediterráneo seco (Costa, 1982), caracterizado por veranos secos y calurosos e inviernos húmedos y lluviosos, con temperaturas suaves. Siguiendo el climograma de la figura 1, la temperatura media anual se sitúa en 17.6 °C y las precipitaciones totales entre 750 y 800 mm. A su vez, éstas últimas presentan una acusada irregularidad, con grandes periodos de sequía meteorológica contrapuestos con precipitaciones eventuales especialmente intensas, de acuerdo con la tabla 1.

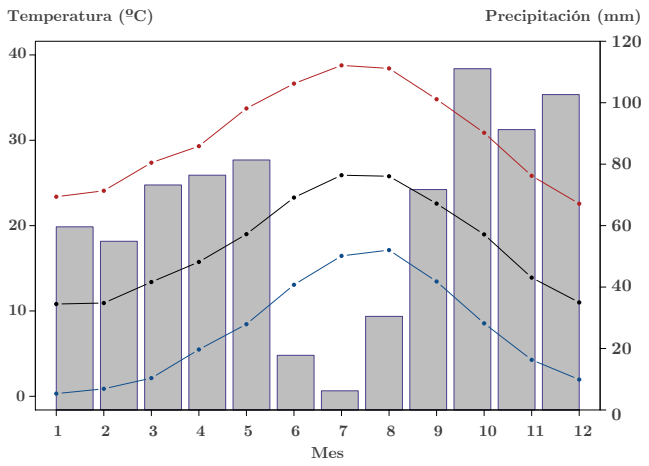


Figura 1: Climograma 2006-2016 en el área de estudio

2.2.2. Hidrología

El río presenta un sistema hidrográfico de tipo mediterráneo, caracterizado por fuertes estiajes, frecuentes avenidas y escaso caudal.

Tanto por razones climáticas como morfológicas, las avenidas o riadas son un fenómeno bastante habitual, causando grandes inundaciones. Éstas suelen ocurrir a finales de verano y durante el otoño, aunque también son comunes en primavera. La última de ellas se dio en diciembre de 2016, la cual fue particularmente fuerte, tal y como se refleja en la tabla 1.

Dentro de la sequía generalizada que sufre la península ibérica (Vicente-serrano, 2011), estos eventos son especialmente severos en la región, siendo una de las zonas más vulnerables del oeste del Mediterráneo (Haro-monteagudo et al., 2017). De hecho, el sistema de explotación del Serpis, según la nomenclatura de la Confederación Hidrográfica del Júcar, sufrió entre 2014 y 2016 una de las sequías más intensas que se recuerdan, registrando durante 15 de los 36 meses del periodo un *estado de emergencia* y durante otros 15 un *estado de alerta*, de acuerdo con los Mapas de Seguimiento de los Indicadores de Estado de la Sequía (MSS) del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA, 2016). Esta sequía provocó la desecación casi total del río en su curso bajo, rompiendo la continuidad fluvial con el mar y provocando la muerte de una gran cantidad de fauna acuática (Aznar-Frasquet et al., 2016).

Fecha	Precipitación (mm/día)
12/10/2007	284.40
18/10/2007	97.80
09/10/2008	153.40
28/09/2009	98.40
23/03/2011	92.40
20/03/2012	140.20
28/09/2012	80.80
28/02/2013	171.10
25/04/2013	99.00
28/08/2013	85.00
02/11/2015	83.40
05/12/2016	98.20
18/12/2016	95.80
19/12/2016	124.90
19/01/2017	86.70
13/03/2017	106.50

Tabla 1: Precipitaciones diarias mayores de 80 mm/día entre 2007 y 2017

Sin embargo, el principal elemento que determina el régimen hídrico del río en su curso bajo es la presencia del embalse de Beniarrés, situado unos 30 km aguas arriba del área de estudio. Éste tiene una capacidad máxima de 27 hm^3 y el uso predominante es satisfacer la demanda agrícola (73 %) y urbana (26 %), de acuerdo con Frasquet (2015).

El propio funcionamiento del embalse tiene como consecuencia directa la inversión del régimen natural de caudales, de forma que se acumula la lluvia de otoño e invierno con objeto de suplir las necesidades hídricas de los cultivos de regadío en primavera y verano.

Aunque el Plan Hidrológico para el ciclo 2015-2021 (PHJ-15/21) contempla, por primera vez, un régimen de caudal ecológico mínimo hasta la desembocadura de 0.13 m^3/s para todo el año, CPI (2017) afirma que estos valores se han obtenido sin considerar que podrían favorecer la presencia de especies invasoras, con los consiguientes perjuicios ecológicos que éstas suponen. Como consecuencia, estos regímenes mínimos pueden no estar garantizando la preservación del medio natural y las funciones ambientales que éste ofrece.

Los intereses divergentes entre usuarios, regiones y ámbitos de gestión, unido a las previsiones de que los eventos de sequía se intensifiquen como consecuencia del cambio climático, auguran un incremento de situaciones de conflicto por los recursos hídricos que podrían ser difíciles de resolver.

2.3. Caracterización y Sectorización

2.3.1. Caracterización

Arundo donax L. es una especie que presenta gran plasticidad a la hora de adaptarse a diferentes medios. Existen diversas metodologías para su eliminación en función de las características del medio que ocupa. Según Deltoro-Torró et al. (2012), la elección de la metodología depende de la biología, de la morfología, del ámbito de actuación y del contexto social. Además, esta selección requiere un estudio previo de los cañaverales en el que se describan sus características y condicionantes. Por lo

tanto, ante el objetivo de minimizar la alteración del medio, es importante tener en cuenta factores como las figuras de protección,los hábitats de interés, la fauna y la flora.

Para la caracterización de los cañaverales en el área de estudio se han dividido los trabajos en tres fases:

1. En una primera fase, se ha utilizado tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para obtener la distribución actual (2017) de las masas de *Arundo donax* L. y los posibles accesos al cauce del río, utilizando ortofotos de Google Maps 2017. Por otra parte, se ha tomado el Modelo Digital del Terreno (MDT) de donde se ha extraído la pendiente del área de estudio. Partiendo de la distribución de las masas, éstas se han dividido sistemáticamente en parcelas de 100 m^2 aproximadamente, obteniendo una parcelación que facilita el muestreo estadístico de los núcleos de *Arundo donax* L. Las variables consideradas son altura, diámetro y densidad, diferenciando entre cañas de primer año (jóvenes), cañas de más de dos años (adultas) y cañas muertas. Dichas variables se pueden agrupar en dos tipos: variables de densidad y las variables de dimensión, entre las cuales se ha establecido una diferenciación a la hora de plantear el estudio estadístico. En las primeras se ha utilizado como estimador la proporción $p(X)$, mientras que para las segundas se ha empleado la media $\overline{X}$. Se ha calculado el tamaño de muestra n representativo para tipo de variable, tomando un nivel de confianza del 90 % y un error de tipo II, β, del 5 %. Para ello, se han tenido en cuenta las siguientes hipótesis:

   a) Se considera que cualquier variable a medir se comporta según una distribución normal.

   b) Se utiliza el método de cuadrantes como tipo de muestreo a utilizar.

   c) Por tratar con vegetación herbácea agrupada y con alta densidad, se toma un tamaño de la cuadrícula de 1×1 m, de acuerdo con las recomendaciones de Mostacedo and Fredericksen (2000), de forma que cada cuadrícula comprende una unidad muestral representativa para cada una de las variables estudiadas.

   d) Las unidades muestrales se seleccionan aleatoriamente. Para ello, se fija al azar la primera cuadrícula, a partir de la cual se determinan las cuatro siguientes a una distancia S/n_C, siendo S la superficie del cañaveral y n_C el tamaño muestral o número de cuadrículas obtenido, eligiendo la primera en una dirección aleatoria y las tres siguientes formando noventa grados con la anterior, completando así una circunferencia. Una vez inventariadas las primeras 5 cuadrículas, se busca un punto alejado para repetir el proceso con objeto de asegurar la independencia de observaciones y aleatoriedad de las muestras.

   e) Se considera una densidad total δ_T para cualquier cañaveral de 30 $\frac{\text{cañas}}{\text{m}^2}$, la cual incluye tanto jóvenes, como adultas y muertas.

   f) En las estimaciones de proporciones se toma el caso más desfavorable en cualquier caso, es decir, una proporción $p = q$ del 50 %.

   g) En las estimaciones de medias se consideran varianzas del 50 % del valor de la media.

   De acuerdo con estas consideraciones, se obtiene el tamaño muestral o número de cuadrículas a evaluar n_C para cada tipo de variable:

   a) Para las densidades, se toma como estimador la proporción $p(X) = X/n$, siendo X las observaciones positivas y n el número de individuos o cañas. Al considerar cada medición como independiente, p sigue una distribución binomial, por lo que el número mínimo de cuadrículas n_C a medir en un cañaveral de superficie S se puede calcular mediante:

   $$n_C|_\delta = \frac{0.25 \cdot S \cdot \delta_T}{S_C \cdot \delta_T \cdot \left[\left(S \cdot \delta_T - 1\right) \cdot \dfrac{\beta^2}{z^2_{\alpha/2}} + 0.25\right]} \quad (1)$$

   siendo S_C la superficie de la cuadrícula considerada, δ_T la densidad total de cañas, β el error de tipo II asumido y $z^2_{\alpha/2}$ el valor del $1-\alpha/2$ percentil de la distribución normal estándar.

   b) Para las dimensiones, se toma como estimador la media $\overline{X}$. Considerando $\breve{\mu}$ y $\breve{\sigma}$ la estimación de la media y la desviación típica de la población, el tamaño mínimo de la muestra n_C para un cañaveral de superficie S se puede obtener según:

   $$n_C|_{\text{dim}} = \left[S_C \cdot \delta_T \cdot \left(\frac{\breve{\mu}^2 \cdot \beta^2}{z^2_{\alpha/2} \cdot \breve{\sigma}^2} + \frac{1}{S \cdot \delta_T}\right)\right]^{-1} \quad (2)$$

   Una vez calculados ambos, se toma como tamaño muestral a realizar en cada parcela el máximo de los dos $n_C = \max\left(n_C|_\delta, n_C|_{\text{dim}}\right)$, de forma que la medición de cualquier variable se realiza sobre las mismas cuadrículas.

2. En segundo término, se ha realizado el muestreo *in situ* de los cañaverales según la metodología y el tamaño de muestra calculado previamente, midiendo las variables especificadas con anterioridad. Paralelamente, se ha revisado la distribución real de estos cañaverales con respecto la cartografía inicial, incluyendo y modificando, en su caso, las superficies predefinidas. Análogamente, se han verificado los accesos preestablecidos y se han añadido otras posibles entradas para la realización de los trabajos. En su caso, también se ha anotado la presencia de especies de flora de alto valor ecológico y de otras especies invasoras.

3. Finalmente, se han tratado los datos recogidos para obtener las densidades de los cañaverales según la edad y

la mortalidad de los individuos. Por último, se ha añadido la cartografía temática relativa a la titularidad de los terrenos al resto de datos cartográficos obtenidos.

Recopilando las variables medidas y calculadas a lo largo del proceso, se obtiene para cada parcela:

(I) Densidad de cañas jóvenes δ_j [$\frac{\text{cañas}}{\text{m}^2}$]: Número de cañas de primer año por metro cuadrado.
(II) Densidad de cañas adultas δ_a [$\frac{\text{cañas}}{\text{m}^2}$]: Número de cañas de dos o más años por metro cuadrado.
(III) Mortalidad δ_m [$\frac{\text{cañas}}{\text{m}^2}$]: Número de cañas muertas por metro cuadrado.
(IV) Diámetro de la caña d [mm]: Tomado a 1.5 m de altura con respecto el suelo.
(V) Altura de la caña h [cm]: Tomada desde la base hasta el ápice.
(VI) Pendiente del terreno m [%].
(VII) Titularidad del terreno: pública o privada.
(VIII) Tipo de cañaveral: monoespecífico o mixto. El primero se refiere a la formación de masas puras de *Arundo donax* L., mientras que el segundo se corresponde con cañaverales en los que existe una proporción significativa de vegetación nativa.
(IX) Accesibilidad para la maquinaria.
(X) Cercanía al cauce. Tomada como distancia máxima y mínima del cañaveral a éste.

2.3.2. *Sectorización*

Una vez caracterizados los cañaverales, se han seleccionado aquellas variables que permiten discriminar sectores atendiendo a criterios de actuación y gestión. En virtud de este objetivo, se han descartado aquellas variables que no son determinantes en la elección de los métodos de erradicación, tomando sólo aquellas que se consideran concluyentes en la selección de dichos métodos.

Una vez seleccionadas estas variables críticas, se procede a agrupar las parcelas con características homogéneas, generando sectores uniformes donde aplicar métodos únicos de actuación en toda su extensión. Asimismo, se agrupan los sectores similares pero separados espacialmente en tipos, donde las metodologías a aplicar son las mismas.

2.3.2.1. *Clasificación de los métodos de eliminación.*

A pesar de que las metodologías más efectivas ya han sido descritas por diferentes organismos, los resultados obtenidos pueden estar por debajo de las expectativas, ya que cada cañaveral, aunque se puede tipificar, tiene características únicas debido a la gran variabilidad que la naturaleza presenta.

Los métodos existentes se pueden clasificar en cuatro grupos:

1. 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.

2. Físicos: hacen uso de coberturas opacas que impiden que la caña realice la fotosíntesis y provocan su muerte por agotamiento de las reservas del rizoma.

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

4. Fomento de la 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.

De entre los métodos expuestos, se descarta la utilización de químicos debido a que la proximidad al cauce conlleva un elevado riesgo de contaminación de las masas de agua.

2.3.2.2. *Métodos recomendados.*

Considerando la gran variabilidad que presentan los cañaverales observados en la zona de estudio, se ha realizado una selección de los métodos descritos por Deltoro-Torró et al. (2012) y Godé et al. (2008) que más se adecuan a sus características. Primero, se enumeran las opciones o combinaciones contempladas, sintetizadas en la tabla 2. Posteriormente, se realiza una breve descripción de cada uno de ellos.

Opción 1: Desbroce mecanizado + desbroce reiterado + plantación.
Opción 2: Desbroce mecanizado + cobertura opaca + plantación.
Opción 3: Desbroce mecanizado + inundación + plantación.
Opción 4: Desbroce mecanizado + extracción rizoma + plantación.

Desbroce reiterado: Este método consiste en someter al cañaveral a una serie de desbroces con el objetivo de debilitar las reservas del rizoma, forzándolo a una reposición constante de los tallos. Para asegurar el debilitamiento del rizoma, a partir del primer desbroce es necesario hacer un seguimiento quincenal extrayendo los rebrotes a ras de suelo.

Para esta metodología se recomienda que la naturaleza de los trabajos sea manual. En masas continuas el desbroce inicial puede realizarse mediante motodesbrozadora manual con cabezal de disco. Para núcleos de baja extensión, independientemente de la accesibilidad, se recomienda la utilización de tijeras de poda para reducir el impacto sobre el medio. Los desbroces quincenales deben realizarse con tijeras de poda o a mano, ya que el rebrote es fácil de eliminar.

Una vez completado el desbroce inicial, es necesario hacer un repaso manual para evitar que los tocones de las cañas tengan grandes dimensiones y aristas punzantes, así como asegurar la total eliminación de los restos de poda del medio para facilitar las operaciones posteriores.

Esta fase debe empezar al inicio de la actividad vegetativa (marzo-abril) y continuar hasta la plantación de especies de ribera (enero-febrero).

Desbroce mecanizado: Esta fase consiste en la eliminación total del vuelo de las masas de *Arundo donax* L. Para su ejecución se recomienda el uso de dos tipos de maquinaria, en función de la accesibilidad y biodiversidad de los cañaverales.

Ante masas monoespecíficas consolidadas de gran extensión y fácil acceso se recomienda el uso de medios mecánicos,

	Desbroce mecanizado	Desbroce reiterado	Extracción rizoma	Cobertura opaca	Inundación	Plantación
Opción 1	■	■				■
Opción 2	■			■		■
Opción 3	■				■	■
Opción 4	■		■			■

Tabla 2: Síntesis de los métodos recomendados

mediante cabezal desbrozador acoplado a retroexcavadora de 150 CV sobre oruga.

Para masas pluriespecíficas, independientemente de la accesibilidad, el desbroce se deberá efectuar con medios manuales mediante motodesbrozadora con cabezal de disco, con objeto de preservar la vegetación autóctona y facilitar el establecimiento de la futura masa forestal.

Cobertura opaca: Este método consiste en la cubrición total del área de actuación con una manta geotextil opaca fijada al sustrato mediante piquetas de modo que se prive al rebrote de luz, reduciendo notablemente su productividad. La muerte del rizoma se producirá por agotamiento de sus reservas, debido a la reposición constante de nuevos brotes. Este método minimiza el riesgo de erosión desde su implantación. Para un óptimo resultado es recomendable realizar el desbroce a finales de marzo y fijar inmediatamente la cobertura.

En esta metodología es necesario realizar las labores de desbroce evitando las aristas punzantes, ya que la perforación de la cobertura permite que la luz llegue al suelo y, a su vez, favorece el desarrollo de orificios cada vez mayores, comprometiendo su eficacia. Para asegurar esta condición, se recomienda que un operario realice una revisión del desbroce, repasando con una tijera de poda aquellas aristas que puedan dañar la malla. Se recomienda el nivelado previo a colocación de la cobertura del talud de forma que se asegure el contacto entre el suelo y el geotextil.

El montaje de la cobertura se iniciará desde coronación, con la correcta fijación de ésta mediante grapado, con un despliegue vertical sobre el talud. A fin de evitar la entrada de luz y la acción hidrodinámica del propio río, se asegurará un solape en sentido descendente al flujo de al menos 30 cm. Además, la cobertura deberá tener un resguardo de al menos 45 cm respecto al perímetro de vuelo. Para una buena fijación superficial se utilizarán grapas de acero corrugado de 8 mm de grosor y con unas dimensiones aproximadas de 40x10x40 cm formando un marco de 1x1m. Para una correcta sujeción del extremo inferior, se procederá la colocación de elementos de contención como son los gaviones flexibles, anclados correctamente al lecho fluvial.

Una vez concluida la colocación de la cobertura se debe evitar, en la medida de lo posible, el tránsito por encima de la misma para evitar posibles roturas del tejido. Para asegurar el éxito de la técnica, se debe mantener la cobertura durante dos periodos vegetativos (18 meses), siendo necesaria una revisión periódica y, en su caso, la reparación de aquellos puntos donde se haya perforado el geotextil.

Los tipos de cobertura recomendados se centran en la utilización de plástico de polietileno negro de 500 micras (2.000 galgas), geotextiles no tejidos a base de polietileno o poliéster y mallas antihierbas. Por el contrario se descarta el uso de coberturas constituidas a base de materiales biodegradables, como las fibras vegetales de coco y yute.

Inundación: El campo de aplicación de esta metodología se centra en aquellos cañaverales que se encuentren a una cota poco superior a la del cauce y de mínima pendiente. Esta técnica consiste en la inundación permanente de las áreas que ocupa el rizoma mediante la construcción de motas perimetrales que aseguren, durante un periodo de al menos 3 meses, un calado mínimo de 20 cm, consiguiendo de esta manera la muerte del rizoma por anoxia.

Según Deltoro-Torró et al. (2012), la inundación se debe efectuar durante el invierno, aprovechando los caudales medios característicos del régimen natural en dicha estación. Sin embargo, debido al carácter torrencial del río, al uso agrícola de la cuenca del Serpis y a la existencia de la presa de Beniarrés es necesario un estudio del régimen de caudales circulantes en el tramo de estudio, con el doble objetivo de asegurar una inundación continua y evitar crecidas torrenciales que puedan causar daños a las motas (Sanchis-Ibor and Segura, 2016).

Extracción rizoma: Esta técnica consiste en la extracción del rizoma mediante métodos mecánicos. Como indica Deltoro-Torró et al. (2012) “el órgano subterráneo de la caña se concentra en los 15 cm superficiales del sustrato, si bien se han localizado hasta 50 cm de profundidad”, por lo que para una correcta ejecución se debe extraer la totalidad de suelo comprendido en esta franja, acción que genera un alto impacto sobre el medio. Con objeto de minimizar este impacto, y de acuerdo con Deltoro-Torró et al. (2012), “se deben utilizar cazos modificados con agujeros de luz adaptados al tamaño medio del rizoma, para el cribado de las tierras”, acoplado a retroexcavadora de 150 CV sobre orugas. Esta modificación permite la recuperación de parte del suelo que está adherido al rizoma mediante el agitado del cazo, obteniéndose mejores rendimientos en suelos no cohesivos y con bajo contenido en humedad.

Debido a la abundancia de gravas en el lecho fluvial y sus riberas, es recomendable que los trabajos estén supervisados por operarios cualificados que efectúen manualmente la recuperación de este material.

Una vez extraído el rizoma es necesario efectuar una nivelación del terreno para reducir el riesgo de erosión del sustrato por acción del viento o lluvia. Según la extensión de la zona de actuación se recomienda hacerlo de forma manual o con la misma maquinaria empleada en las labores de extracción.

Plantación: Tras la eliminación de la masa de *Arundo donax* L. se debe proceder a restaurar con especies riparias nativas

con el fin de reducir la productividad del rizoma creando una fuerte competencia por los recursos.

Esta restauración se realizará en dos bandas diferenciadas paralelas al cauce. En la banda más próxima se empleará el método de cobertura de ramas vivas, mientras que en banda más alejada se realizará una plantación de estaquillas vivas. Esta diferenciación responde a las necesidades hídricas que cada metodología requiere.

En cualquier caso, para la restauración de la cobertura vegetal se aplicará el método o combinación de métodos que se prevean más eficaces para su enraizamiento y consolidación, adaptando la ejecución a las características concretas del cañaveral: morfología del terreno, nivel freático, riesgo de inundación, presencia de especies riparias autóctonas, etc. teniendo en cuenta los dos factores críticos que reducen la competitividad de la *Arundo donax* L. : recursos y espacio.

(I) *Cobertura de ramas vivas*. Consiste en el establecimiento de una sauceda de alta densidad que compita por espacio y recursos con el cañaveral. Para su ejecución se cubrirá la superficie del talud de la ribera con ramas vivas de especies dotadas de una gran capacidad de reproducción vegetativa.

En este método se provee de una rápida protección contra la erosión a las riberas expuestas al hidrodinamismo fluvial, además de asegurar la recuperación de la cobertura vegetal que puede servir como planta madre para futuras actuaciones. Se desaconseja en zonas inundables y en zonas de arrastre de sólidos.

Las especies a emplear deben pertenecer al género Salix, exceptuando *Salix caprea* L., aunque es recomendable introducir algunas estaquillas de chopo, avellano y aliso para aumentar la diversidad vegetal. Para la obtención del material vegetal, es condición necesaria que éste proceda del mismo cauce fluvial con el fin de evitar la contaminación genética. Las estaquillas deben tener una longitud mínima de 120 cm, entre tres y cuatro centímetros de diámetro y un mínimo de cuatro savias.

Para su correcta ejecución será necesaria la nivelación del talud con una pendiente menor a 35°, se excavará una zanja a pie de talud que se rellenará con elementos naturales, como troncos o piedras, sirviendo éstos como base y refuerzo del talud. El material vegetal se dispondrá de forma paralela a la línea de máxima pendiente y la cobertura deberá ser continua cubriendo la máxima superficie. Para asegurar la permanencia de las ramas, se colocarán perpendicularmente hilos de alambre de 3 mm, anclados al terreno mediante piquetas, construyendo un marco de 80x100 cm. Con el objetivo de facilitar la propagación de raíces, se añadirá una cobertura de 5 cm de tierra vegetal que ocupe al menos un 50 % de la superficie del talud. Una vez se haya conseguido el enraizamiento y establecimiento de la sauceda, en busca de un modelo más heterogéneo de la ribera, se realizarán clareos sucesivos cada cuatro años en los que se extraerá un 30 % del vuelo.

(II) *Estaquillas vivas*. Como se ha explicado con anterioridad, cualquier método que comporte la utilización de material vegetal vivo requiere de la nivelación previa y defensa frente al hidrodinamismo. A partir de este punto y a diferencia de la cobertura de ramas vivas, este método implica la introducción de las estaquillas en el sustrato mediante una barrena metálica. Esta plantación es una técnica de bajo coste, fácil ejecución y no conlleva una exhaustiva preparación del terreno.

En líneas generales, la elección de especies es la misma que en el método anterior, aunque es recomendable combinar estaquillas con plantas con raíz provenientes de vivero para asegurar una rápida colonización de la zona de actuación y así acelerar la estabilización del talud. Las estaquillas deben tener entre 50 y 100 cm de largo y entre 3 y 10 cm de grosor. El extremo basal debe estar cortado en ángulo para facilitar el contacto del cambium con el sustrato y el corte en el extremo superior debe formar un ángulo recto para facilitar la cicatrización.

Las plantas que se recomiendan para este método son: *Celtis australis* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Fraxinus aungustifolia* Vahl., *Populus alba* L. y *Populus nigra* L.

En caso de utilizar material vegetal de *Populus* spp. no será necesario utilizar planta con raíz, ya que este género posee gran capacidad de enraizamiento.

Para su correcta ejecución será necesaria la perforación del talud mediante barrena de punta metálica, con un ángulo respecto la horizontal menor a 30° y una densidad media de 3-5 hoyos/m^2. La colocación del material vegetal en lo hoyos se hará respetando la polaridad de la planta, asegurando que al menos un 75 % de su longitud se encuentre enterrada. Con el objetivo de mejorar la sujeción de las estaquillas, se realizará una pequeña compactación del terreno adyacente a cada hoyo. Para asegurar la eficiencia del método, se deberá rechazar cualquier estaquilla dañada y realizar controles periódicos, donde se evaluará la salud de la plantación, obteniéndose información aplicable a futuras actuaciones.

2.4. *Efecto de las riadas*

Como se ha comentado, en ocasiones, las lluvias en el entorno del área de estudio son especialmente intensas, provocando grandes avenidas y las consiguientes inundaciones. Este fenómeno es, junto a la acción humana, el principal vector de dispersión de la especie, ya que su parte aérea se arranca con facilidad debido a la fuerza del agua y los sólidos que arrastra, perviviendo en origen gracias a la fijación del rizoma y colonizando nuevos emplazamientos a través de la diseminación de fragmentos de rizoma y tallos. Además, su arrastre provoca obturaciones en canalizaciones, puentes y pasos subterráneos llegando, incluso, a destruirlos.

Para evaluar los efectos de las riadas sobre las poblaciones de *Arundo donax* L. del área de estudio, se ha analizado la última, producida en diciembre de 2016, la cual fue especialmente

intensa. De hecho, de acuerdo con AEMET (2017), se registraron lluvias *de intensidad muy fuerte*, con acumulaciones de entre 30 y 60 mm/h durante los días 18 y 19, llenando el pantano de Beniarrés en apenas 48 horas. Para cuantificar sus consecuencias sobre la distribución de las masas de caña común, se ha comparado la cartografía actual (2017) con el periodo de referencia (2015), a partir de las ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). En base a estos mapas, se ha obtenido la diferencia de superficie cubierta por *Arundo donax* L. en el área de estudio.

2.5. *Consumo de agua*

Se considera la evapotranspiración de referencia (ET_0) calculada de acuerdo con el método Penman-Monteith descrito en Allen et al. (1998):

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot m_p \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T+273} \cdot u_2 \cdot (e_a - e_s)}{m_p + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)} \quad (3)$$

$$e_a = \frac{RH}{100} \cdot \frac{e(T_{max}) + e(T_{min})}{2} \quad (4)$$

$$m_p = \frac{4098 \cdot 0.6108 \cdot \exp(\frac{17.27 \cdot T_{mean}}{T_{mean}+237.3})}{(T_{mean} + 237.3)^2} \quad (5)$$

con ET_0 medido en mm/día, R_n radiación neta en la superficie de la planta (MJ/(m^2·día)), G flujo térmico en el suelo (MJ/(m^2·día)), γ constante psicrométrica (kPa/°C), Δ pendiente de la Curva de Presión de Vapor (kPa/°C), u_2 velocidad del viento medida a 2 m de altura (m/s), e_s presión de vapor de saturación (kPa), e_a presión de vapor (kPa), RH humedad relativa media (%), T_{max} temperatura máxima diaria (°C), T_{min} temperatura mínima diaria (°C), T_{mean} temperatura media diaria(°C), $e(T)$ presión de vapor saturada a la temperatura T (kPa).

Los valores diarios necesarios para el cálculo se adquieren a través de la Red de estaciones agrometeorológicas del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR), mantenido por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

Para el cálculo la evapotranspiración (ET_c) se considera el coeficiente de cultivo ($k_c = \frac{ET_c}{ET_0}$) de *Arundo donax* L. en el Mediterráneo, calculado según Triana et al. (2015) y considerando las distintas fases de crecimiento de la planta en condiciones de cultivo (Allen et al., 1998; Jensen et al., 1990), ya que los únicos estudios que evalúan las necesidades hídricas de *Arundo donax* L. lo hacen bajo estas condiciones. En estas investigaciones, los cañaverales son cosechados al finalizar su actividad vegetativa anual, crecen en condiciones no limitantes de agua y los estratos son enriquecidos con abonos. Sin embargo, aunque en las condiciones del presente estudio no hay un condicionamiento hídrico ni una aplicación de fertilizantes, al tratar con un ecosistema fluvial en un entorno agrario, se puede asumir que la disponibilidad de recursos es similar, ya que la mayoría de masas de *Arundo donax* L. colindan con terrenos agrícolas de regadío emplazados en una cota significativamente superior y donde uso de fertilizantes es generalizado. Además, el riego

	Etapa	k_c	GDD (°C·día)
1	Inicial	0.54	208
2	De desarrollo	1.01	211
3	Intermedia	1.74	1239
4	Tardía	1.18	336

Tabla 3: Valores del coeficiente de cultivo y suma térmica considerados según la etapa de crecimiento, de acuerdo con Sánchez et al. (2017)

de dichos cultivos coincide en el tiempo con la época de actividad vegetativa de *Arundo donax* L. Por lo tanto y en base a estas consideraciones, se puede intuir que la disponibilidad de agua y nutrientes durante la época de actividad vegetativa es semejante a las condiciones de cultivo contempladas.

Los valores del coeficiente de cultivo (k_c) considerados se recogen en la tabla 3, clasificados según las etapas de crecimiento, entre las cuales se diferencian las siguientes:

1. Etapa inicial: Correspondiente al inicio del periodo vegetativo. Para las cañas de primer año incluye el periodo comprendido entre la brotación y el comienzo de la elongación del tallo, mientras que las cañas del segundo año se corresponde con la fase acontecida entre el inicio de la actividad y el comienzo de la elongación de ramas laterales.

2. Etapa de desarrollo: Periodo de elongación del tallo y, en el caso de cañas de dos o más años, de las ramas secundarias.

3. Etapa intermedia: El cual comprende el periodo entre el fin de la elongación y el inicio de la senescencia.

4. Etapa tardía: Correspondiente al periodo entre el comienzo de la senescencia y el fin de la actividad vegetativa.

Para el cálculo de la duración de las distintas fases del ciclo vegetativo se ha considerado la herramienta fenológica denominada suma térmica o *growing degree-day* (GDD), a partir de la cual se predice el crecimiento de la vegetación en términos de energía acumulada (Mcmaster et al., 1997). Como temperatura base se asume 10°C y como fecha de inicio se asume el inicio de la primavera (21 de marzo), de acuerdo con Deltoro-Torró et al. (2012) y los estudios desde los que se obtienen los datos (Triana et al., 2015; Sánchez et al., 2017). Los valores de suma térmica (GDD) de cada fase se toman de acuerdo con Sánchez et al. (2017), válidos para la península ibérica y estimados a partir de las condiciones de estudio de Triana et al. (2015).

En base a estas consideraciones, se evalúa la evapotranspiración (ET_c) diaria para un periodo de 10 años (2006-2016), aplicando la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_0 \cdot k_c \quad (6)$$

Una vez obtenida la serie resultante, se estima la media y desviación típica para cada cada etapa s de las siguientes variables: duración T_s, fecha de inicio, evapotranspiración de referencia acumulada $\sum ET_{0s}$ y evapotranspiración acumulada $\sum ET_{cs}$, así

como el consumo medio mensual de agua por unidad de superficie W. Dicho consumo se multiplica por la superficie cubierta por las masas de *Arundo donax* L. en el periodo de referencia (2015), obteniendo así una estimación del consumo anual de agua atribuible a la presencia de esta especie invasora en el área de estudio.

Por otra parte, se considera el consumo de agua propio de un bosque de ribera autóctono con objeto de obtener una estimación del ahorro de agua que supondría la recuperación de la vegetación potencial en las zonas ocupadas por *Arundo donax* L. Para ello, se toma como ecosistema de referencia el valle del río Cabriel situado aguas abajo del Embalse de Contreras, amparado bajo la figura de protección de Lugar de Interés Comunitario (LIC) de la Red Natura 2000 de la Unión Europea, considerado el de mejor estado de conservación dentro del ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar (Aguilella et al., 2005) y donde se encuentran los bosques de ribera mejor conservados de toda la Comunitat Valenciana (DOGV, 2005). Para el cálculo de la evapotranspiración ET_c se ha utilizado el procedimiento presentado por Nagler et al. (2005), en el que se utilizan los índices de vegetación EVI (*Enhanced Vegetation Index*) obtenidos a partir de los datos del sensor *Moderate Resolution Imaging Spectrometer* (MODIS) a bordo del satélite Terra (EOS AM-1) de la NASA (DAAC, 2016), y datos meteorológicos terrestres, aplicando la ecuación:

$$ET_c = 0.471 \cdot (1 - e^{-2.28 \cdot EVI^*}) \cdot (T_{mean} - 15) + 0.77 \qquad (7)$$

Considerando la normalización $EVI^* = \frac{EVI_{max} - EVI}{EVI_{max} - EVI_{min}}$ del índice de vegetación mejorado medio del ecosistema de referencia, ET_c medido en $\frac{\text{mm}}{\text{día}}$ y T_{mean} la temperatura media del área de estudio. Los datos MODIS escogidos tienen una resolución temporal de 16 días y una resolución espacial de 250 m por pixel, por lo que los estadísticos relativos al índice de vegetación y de temperatura se han tomado de acuerdo con esta resolución temporal. El periodo considerado se toma de forma coherente con el cálculo de la evapotranspiración del área de estudio, es decir, entre el 2006 y el 2016.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización y Sectorización

Tras el estudio de campo y el proceso de los datos, se han determinado qué variables son críticas para establecer las líneas de actuación, descartando aquellas que no son determinantes para ello. Como resultado, se ha obtenido que las variables concluyentes en la selección de los métodos de erradicación son: la pendiente del terreno, el tipo del cañaveral y la cercanía al cauce. Las variables de densidad, mortandad y dimensiones no han sido determinantes a la hora de realizar las agrupaciones, dado que estas características son uniformes para un tipo de cañaveral concreto. Por lo que respecta a la titularidad del terreno se ha observado que la mayor parte de las masas se emplazan en áreas públicas. Sin embargo, en muchos casos los bordes de los cañaverales pertenecen a parcelas privadas. Por lo tanto, se concluye que un plan de control y erradicación debe contemplar los permisos pertinentes de todas las parcelas privadas colindantes a los cañaverales, ya que carece de sentido abordar la porción de las masas situadas en territorio público y dejar parte de éstas sin tratar.

Consideradas estas variables críticas, se han agrupado las parcelas formando sectores según la homogeneidad y continuidad de las masas, obteniéndose el plano del Apéndice F. Por último, se han clasificado estos sectores según su tipología, entre los que se diferencia:

A) Cañaverales tipo A. Esta tipología de sector se caracteriza por encontrarse en las zonas de acumulación de material aluvial arrastrado por los fenómenos de crecida, como son las barras de gravas, siendo su topografía prácticamente llana. Los cañaverales que se desarrollan en estos sectores son de tipo pluriespecífico, formando agregados localizados en pequeñas masas aisladas. Debido al dinamismo que caracteriza a estas zonas, se encuentran masas de *Arundo donax* L. no consolidadas, con una fuerte competencia de especies autóctonas. Al estar ligadas al medio acuático la capa freática se encuentra muy próxima a la superficie por lo que, de no hacer un control sobre estas masas, se prevé una rápida expansión de las mismas. Dada la baja densidad observada en estos enclaves, se les atribuye una alta prioridad de actuación en base a la alta probabilidad de éxito.

B) Cañaverales tipo B. Esta tipología de sector se caracteriza por situarse en el propio cauce permanente, formando islas que presentan una pendiente muy baja o nula y una cota poco superior a la de la lámina de agua por lo que, al situarse en zonas permanentemente inundadas, son vectores potenciales de propagación de material vegetal con capacidad de rebrote. Las masas de *Arundo donax* L. presentes en este tipo de sector se caracterizan por no presentar una alta densidad, ser de tipo monoespecífico y por lo general, ser cañaverales jóvenes. La disposición de las mismas en el medio es de forma discontinua en agregados no encontrando, en ningún caso, cañaverales continuos consolidados. Estas masas están estrechamente ligadas al medio acuático por lo que no tienen limitación hídrica y de no hacer un control inmediato, se prevé una rápida expansión. Debido a las características previamente citadas, la probabilidad de éxito es elevada, por lo que se establece una prioridad de actuación alta.

C) Cañaverales tipo C. El establecimiento de esta tipología de sector se basa en la necesidad de actuar sobre las masas de *Arundo donax* L. arraigadas en las propias obras de defensa hidráulica existentes en el tramo de estudio. Estas infraestructuras discurren de forma paralela al cauce, conformando áreas alargadas y estrechas y presentando características homogéneas en toda la superficie. La imposibilidad de acceder al sustrato y, por tanto, al propio rizoma constituye una importante limitación para la selección del método de actuación. Esta zona, a pesar de estar próxima al cauce, no tiene contacto con la lámina de agua. Los cañaverales establecidos sobre esta escollera son de tipo monoespecífico continuo consolidado y

Metodología	Eficacia (%)	Impacto	Coste (€/m^2)	Tipología					
				A	B	C	D	E	F
Opción 1	100	Muy bajo	15.8	1	2	-	3	3	3
Opción 2	100	Bajo	21.11	3	4	1	1	1	2
Opción 3	100	Bajo	19.07	-	1	-	-	-	-
Opción 4	100*	Medio	18.66	2	3	-	2	2	1

*La extracción del rizoma tiene una eficacia del 90 %, sin embargo, al incorporar el seguimiento quincenal se asegura el 100 % de eficacia.

Tabla 4: Eficacia, impacto y coste de cada metodología de acuerdo con Deltoro-Torró et al. (2012) y prioridad de los métodos contemplados para cada tipología de sector

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B5	B6	B7	C1
Superficie (m^2)	25337	914	3480	2000	2316	2231	150	114	3055	440	88	895	1260
Cobertura (%)	10	30	60	5	40	70	70	100	75	85	100	75	85
n_C	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Coste (k€)	40.03	4.33	32.99	1.58	14.64	24.67	1.99	2.17	43.70	7.13	1.67	12.80	22.60

	D1	D2	D3	D4	D5	E1	E2	E3	E4	E5	F1	F2	Total
Superficie (m^2)	6483	2938	479	1614	928	4911	8737	7247	1756	319	708	1235	79633
Cobertura (%)	95	100	100	100	100	95	90	95	80	100	100	100	59.52
n_C	10	9	9	9	9	10	10	10	9	9	9	9	230
Coste (k€)	130.00	62.02	10.12	34.08	19.59	98.48	165.99	145.33	29.66	6.76	13.21	23.04	948.56

Tabla 5: Superficie total, porción cubierta de *Arundo donax* L., número de unidades muestrales tomadas y coste del método prioritario para cada sector

presentan una densidad media. Se ha observado una gran mortandad, a la vez que una alta tasa de reposición de tallos. Aunque la presencia de la escollera hace imposible la remoción del rizoma, se prevé una tasa de éxito muy elevada si se emplea el método recomendado en la tabla 4.

D) Cañaverales tipo D. Los sectores de este tipo son los más extendidos por la zona de estudio, discurriendo de forma paralela al cauce, con una cota muy variable y una pendiente no muy pronunciada. La banda más próxima al cauce está en contacto directo con la lámina de agua, por lo que el sustrato está húmedo todo el año, mientras que la parte más externa no tiene contacto directo con el cauce. Los cañaverales que pertenecen a este sector son principalmente monoespecíficos de tipo continuo consolidado, aunque también se han observado masas pluriespecíficas con una fuerte competencia con especies autóctonas de ribera. La densidad observada ha sido la más elevada de toda el área de estudio, encontrando las masas más densas en la parte más cercana a la lámina de agua y existiendo un gradiente decreciente de densidades muy marcado conforme aumenta la distancia al cauce. Debido a la extensión y variabilidad que presentan estas masas, se prevé un éxito medio en la actuación, siendo necesario un seguimiento periódico para asegurar la completa eliminación de las mismas.

E) Cañaverales tipo E. El factor limitante de estos sectores reside en la alta pendiente del terreno, llegando a superar el 25 % de media, condicionando la elección del método de actuación. Estos enclaves no están en contacto directo con la lámina de agua, condición que facilita las labores de eliminación de la masa.

Los cañaverales consolidados sobre estos sectores son mayoritariamente de tipo monoespecífico continuo consolidado, habiéndose observado pequeñas parcelas con una alta competencia interespecífica con arbolado autóctono. Al ser cañaverales situados en zonas de alta pendiente, se prevé un incremento considerable de la erosión superficial debido a la escorrentía, por lo que se deberá tomar la máxima precaución en las tareas de eliminación de estas masas.

En base a estas características, se prevé un éxito medio en la actuación por lo que es necesario, una vez eliminados los cañaverales, hacer seguimientos periódicos para evitar el restablecimiento de estas masas.

F) Cañaverales tipo F. Estos sectores se localizan fuera del propio cauce y de la zona de encajamiento, distribuyéndose de forma paralela al cauce pero sin contacto directo con la lámina de agua. Son zonas con una pendiente muy baja o nula y de fácil acceso que se localizan sobre sustratos franco-arenosos con un posible uso previo agrario.

Los cañaverales asentados en este tipo de sector son de tipo monoespecífico continuo consolidado, con una alta densidad. Si no se realizan actuaciones de control, se prevé una rápida expansión de los mismos al ser zonas colindantes con campos de cultivo.

Dada la fácil accesibilidad y el tipo de sustrato observado en estos enclaves, se le atribuye una alta prioridad de actuación considerando alta su probabilidad de éxito.

Una vez descritos los métodos de control contemplados y la tipología de los cañaverales presentes en la zona de actuación, se construye, en la tabla 4, la matriz en la que se establece el método más eficiente para cada sector y sus alternativas, así como el coste por unidad de superficie cubierta de *Arundo donax* L. para cada metodología, su impacto y su eficacia, de acuerdo con los valores recogidos en Deltoro-Torró et al. (2012).

Por último, se genera la tabla 5, donde se recoge para cada sector, su superficie total, la porción cubierta por *Arundo donax* L., el número de muestras recogidas y el coste del método prioritario.

De acuerdo con estos resultados, se estima que el coste total de las actuaciones es de 948560 €, interviniendo sobre 7.96 ha de las cuales el 59.5 % están cubiertas por *Arundo donax* L.

3.1.1. Recomendaciones generales

Por otra parte, se describen a continuación una serie de recomendaciones generales para la actuación.

En base a lo mencionado en el apartado 2.4 en relación a los mecanismos de dispersión de *Arundo donax* L., se recomienda que las actuaciones para su eliminación se ejecuten en sentido descendente del río. Debido a la presencia de infraestructuras que seccionan la continuidad longitudinal del ecosistema fluvial, como lo son la presa de Beniarrés y los azudes, se recomienda el inicio de los trabajos desde estos puntos singulares, evitando la llegada de nuevos fragmentos de *Arundo donax* L.

En el mismo sentido, entendiendo la alta capacidad de propagación y crecimiento de *Arundo donax* L. a partir de pequeños fragmentos, se debe prestar especial atención a los residuos generados de origen vegetal en los trabajos de erradicación, ya que si estos son arrastrados por el curso de agua pueden originar nuevos focos de invasión.

En el estudio de campo realizado para este trabajo se han detectado otras especies exóticas invasoras diferentes a *Arundo donax* L., aunque la problemática generada por éstas es diferente a la especie en cuestión, también poseen un carácter invasivo por lo que es recomendable su eliminación del medio. Las especies observadas son: *Agave americana* L., *Ricinus communis* L., *Ipomoea indica* (Burm), *Acacia farnesiana* (L.) Willd. y *Opuntia máxima* Miller.

Se ha observado gran cantidad de residuos de origen antrópico, principalmente provenientes de la agricultura. Estos residuos contaminan el medio acuático en el proceso de descomposición, a la vez que provocan un grave impacto visual. Se recomienda la eliminación de dichos residuos del medio.

En aquellos cañaverales pluriespecíficos se deberá respetar la vegetación autóctona, en la medida de lo posible, para fomentar la recuperación del bosque de ribera.

Según Viteri and Valasateguí (2014) y Barahona Rosales et al. (2009) se ha demostrado que *Arundo donax* L. realiza funciones de fitorremidación en los medios que ocupa, absorbiendo el exceso de nutrientes y otros contaminantes depositados en el suelo por los efluentes. Por lo que durante el proceso de erradicación debe reducirse simultáneamente el uso de fertilizantes y otros contaminantes, especialmente en los campos de cultivo próximos al cauce. Una vez eliminados los cañaverales se producirá un aumento de la escorrentía en detrimento de la evapotranspiración y una drástica reducción de la cantidad de nutrientes secuestrados por la vegetación, por lo que la cantidad de contaminantes que llegarán al curso del río aumentará considerablemente. Una vez se realice la replantación de las especies riparias propuestas y éstas se estabilicen, se prevé una mejora en la calidad de las aguas, ya que estos taxones también degradan y secuestran los contaminantes.

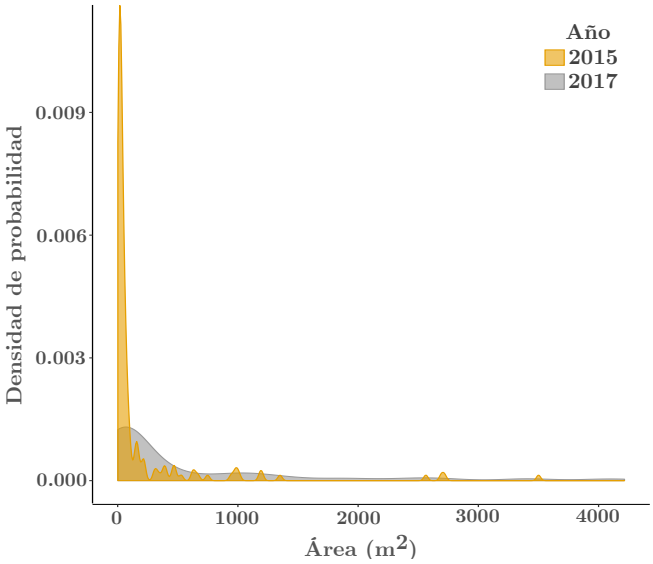


Figura 2: Funciones de densidad de las superficies del conjunto las masas

Debido a que la zona de estudio se encuentra en pleno hábitat fluvial, independientemente del método de control elegido, se deben respetar las épocas de cría de la fauna ligada al medio.

3.1.2. Eliminación residuos generados

De entre los residuos vegetales generados en las labores de eliminación del cañaveral existen dos tipos con capacidad de rebrote: rizomas y tallos lignificados. Para evitar posibles recolonizaciones del sustrato, estos se deben eliminar del medio. Para ello se procederá, según lo establecido en la orden del 10 de Septiembre de 2007 de la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda por la que se aprueban medidas para el control de especies vegetales exóticas en la Comunitat Valenciana, a su adecuado aislamiento y transporte a un centro autorizado de gestión de residuos vegetales.

3.2. Efecto de las riadas

Durante las riadas más intensas, la distribución de los cañaverales puede llegar a modificarse de forma significativa, especialmente en los meandros, donde se intensifican los procesos de erosión y sedimentación.

En este sentido, tal y como se observa en los planos del Apéndice C, Apéndice D y Apéndice E, la riada de diciembre de 2016 provocó cambios importantes en la disposición de las masas de *Arundo donax* L. en el área de estudio. Partiendo de la superficie ocupada por el conjunto de cañaverales durante el periodo de referencia (2015) y comparándolo con el estado de las masas en marzo de 2017, ésta supuso una reducción del

33.73 %, pasando de un total de 4.84 ha a 3.20 ha. Evaluando con más profundidad este efecto, se observa, de acuerdo con la figura 2, una modificación en la continuidad de las superficies, reduciendo su valor medio y aumentando considerablemente la proporción de cañaverales con una superficie inferior a 100 m^2, cuyo incremento se estima en un 86.7 %.

La magnitud de estos cambios se explica teniendo en cuenta la facilidad con la que *Arundo donax* L. se desprende de su tallo que, unido al gran tamaño de las gravas, hace que una gran cantidad de cañas y algunos fragmentos de rizoma se desprendan del sustrato y se transporten con la corriente. Sin embargo, es importante enfatizar que este proceso no conlleva un receso de la población en las zonas donde se han arrancado los tallos, ya que la práctica totalidad del rizoma resiste estas fuerzas de empuje y es capaz de generar nuevos tallos rápidamente, gracias a la gran disponibilidad de agua y nutrientes. De hecho, se ha comprobado que la evolución de los cañaverales desde que finalizó su reposo vegetativo (marzo de 2017) ha sido desmedida, recolonizando la mayor parte del sustrato libre de cobertura y mostrando, en la actualidad, un estado similar al periodo de referencia (2015).

Como consecuencia, aunque aparentemente el efecto de las riadas pueda suponer una reducción significante de la población de *Arundo donax* L., realmente éstas implican un rejuvenecimiento de los cañaverales en los meandros y una dispersión de gran magnitud y recorrido, gracias a la migración y a la fragmentación. Además, la erosión del suelo en los tramos rectos y zonas exteriores de las curvas, donde la velocidad de la corriente es mayor, dejan los rizomas expuestos y debilitan los tallos de las cañas que no se han desprendido favoreciendo, aún más, la dispersión de la especie.

Sin embargo, estos efectos negativos se pueden revertir en un escenario positivo para iniciar las actuaciones de control y erradicación, considerando el debilitamiento temporal de la población y aprovechando la movilización de recursos para la reparación de infraestructuras dañadas. Para beneficiarse de esta situación, se deben plantear los trabajos con la mayor celeridad posible, ejecutando las tareas paralelamente al descenso de las aguas y priorizando las zonas donde la parte aérea ha sido arrancada. La cartografía previa y los modelos digitales de terreno pueden ser herramientas útiles para la planificación de los trabajos, a partir de las cuales se pueden localizar los cañaverales y se puede estimar la evolución de la bajada de las aguas.

3.3. Consumo de agua

Siguiendo la con la metodología propuesta se ha obtenido, para el periodo considerado (2006-2016), el valor medio y la desviación típica de la duración T_s, la fecha de inicio, el sumatorio de la evapotranspiración de referencia $\sum ET_{0s}$ y el sumatorio de la evapotranspiración $\sum ET_{cs}$ para cada etapa de crecimiento. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 6. De acuerdo con estos resultados, se puede observar que el consumo anual medio de agua por unidad de superficie se estima en 976.40 ± 33.48 mm/año. Estos valores coinciden con los resultados obtenidos en la mayoría de estudios hídricos de *Arundo donax* L. en climas mediterráneos (Tzanakakis et al., 2009; Triana et al., 2015; Angelini et al., 2005), los cuales reportan

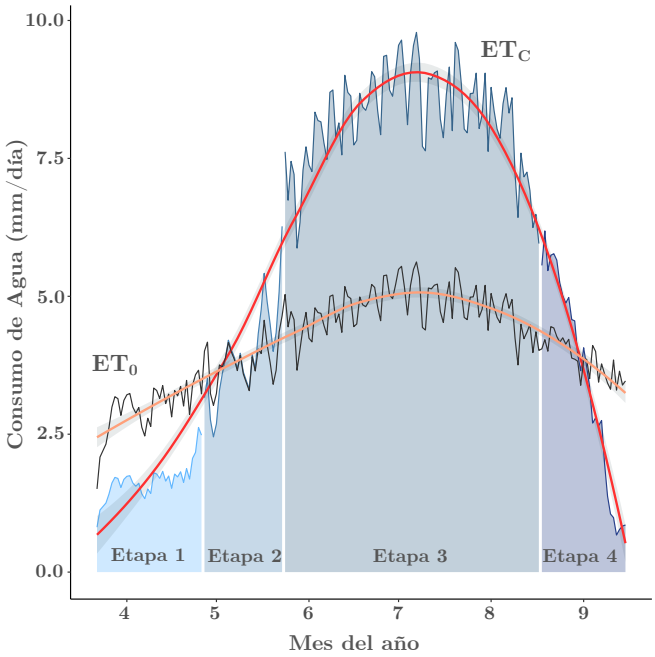


Figura 3: Evapotranspiración media anual para el periodo 2006-2016

magnitudes que oscilan entre 1000 y 1500 mm/año. La mayor parte este consumo se imputa a la fase intermedia de crecimiento (73.52 %), obteniendo para el resto de etapas un consumo muy inferior. La preponderancia de esta etapa se explica en base a unas condiciones ambientales favorables, las cuales se reflejan en un mayor valor medio diario de la evapotranspiración de referencia ET_0, una mayor actividad vegetativa de la planta, que se refleja en el coeficiente k_c, pero sobre todo por la durabilidad de la fase fenológica.

Por otra parte, se ha obtenido el consumo hídrico medio diario W para cada mes del año en el que la actividad vegetativa es significativa. Dichos valores se recogen en la tabla 7 y se representan en el la figura 3, donde se refleja que el mayor consumo sucede durante los meses de junio y julio, con valores superiores a 8 mm/día, mientras que los meses de menor consumo se corresponden con marzo, abril y setiembre. Asimismo, se constata según las estimaciones que, en el área de estudio, *Arundo donax* L. tiene un periodo de reposo vegetativo de una duración aproximada de 6 meses.

De acuerdo con estos resultados y considerando la superficie ocupada por los cañaverales en el periodo de referencia (2015), se obtiene que el consumo anual del conjunto de masas de *Arundo donax* L. en el área de estudio es de 47257.97 ± 1620.61 m^3/año, lo que supone el 1.15 % del régimen de caudal ecológico asignado para el ciclo 2015-2021.

Finalmente, se ha calculado el consumo de agua en el ecosistema de ribera de referencia para el periodo considerado, obteniéndose una media de 662.87 mm/año, resultado que coincide con los valores típicos de este ecosistema. Como consecuencia, se concluye que el conjunto de masas de *Arundo donax* L. consumen una media de un 47.3 % más con respecto a un bosque de ribera autóctono.

	Etapa	Fecha de inicio	T_s (días/año)	$\sum ET_{0s}$ (mm/año)	$\sum ET_{cs}$ (mm/año)
1	Inicial	21 de marzo	37.79 ± 4.18	112.26 ± 11.66	60.62 ± 6.29
2	De desarrollo	27 de abril ± 4 días	26.06 ± 4.25	98.86 ± 10.37	99.85 ± 10.47
3	Intermedia	23 de mayo ± 5 días	86.32 ± 2.98	413.45 ± 15.88	719.41 ± 27.63
4	Tardía	17 de agosto ± 5 días	21.46 ± 2.43	83.22 ± 6.76	98.21 ± 7.98
	Total				976.40 ± 33.48

Tabla 6: Fenología, evapotranspiración de referencia y consumo de agua

Mes	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre
W (mm/día)	1.40	1.92	4.87	8.37	8.73	6.44	2.04

Tabla 7: Consumo hídrico diario medio para cada mes de actividad vegetativa

4. Conclusiones

Tal como se ha comprobado, la caña común es una especie que muestra gran plasticidad a la hora de adaptarse a diferentes medios. Para la elección de un plan de gestión es necesario un estudio individualizado de cada una de las variables condicionantes al medio que busque unidades homogéneas para facilitar las tareas de control, planteando diferentes líneas de gestión para cada caso.

Las riadas que afectan al río Serpis provocan una gran disminución en la extensión que ocupan los cañaverales más cercanos al cauce volviendo a la normalidad pocos meses después. Estas avenidas, al retirar la parte aérea de las masas de *Arundo donax* L., ofrecen un momento óptimo para la implementación de medidas de control y erradicación.

Como se ha demostrado, el consumo de agua de los cañaverales es muy superior al que tiene la vegetación propia de los ecosistemas mediterráneos. La eliminación de este tipo de masas y la posterior recuperación del bosque de ribera autóctono repercute en un aumento del caudal del río Serpis que puede ayudar a paliar los efectos de las sequías.

5. Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Francisco Martínez Capel por servir como nexo de unión entre La Canya Estudis y el Centro de Desarrollo Rural La Safor, además de ofrecernos asesoría científica y ayuda técnica. Al Centro de Desarrollo Rural La Safor, por la financiación del proyecto, sin la cual no podríamos haber concluido este trabajo. A Oscar Peñalver Giner y Robert Llorca Tauste, por evidenciar la problemática asociada a esta especie en la comarca de La Safor y ofrecernos su apoyo incondicional en todo el proceso. Al ayuntamiento de Beniarjó, por atendernos y ofrecernos toda la información a su alcance, agilizando el proceso de creación del presente estudio. A Blanca Llorca Tauste, por depositar su confianza en la asociación facilitando la estancia durante el trabajo de campo.

6. Bibliografía

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. Ph.D. thesis, University of California, Los Angeles.

AEMET, 2017. Avance climatológico de diciembre de 2016 en la Comunidad Valenciana.

Aguilella, A., Riera, J., Gómez-serrano, M. A., Moreyra, E., 2005. Evaluación del estado ecológico de los ríos de la cuenca hidrográfica del Júcar mediante el uso del índice QBR. Tech. rep., Jardí Botànic, Universitat de València, València.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56 FAO Irrigation and Drainage Paper Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements).

Andreu, J., Vilà, M., 2010. Risk analysis of potential invasive plants in Spain. Journal for Nature Conservation 18, 34–44.

Angelini, L. G., Pisa, U., Ceccarini, L., Pisa, U., Superiore, S., Anna, S., 2005. Biomass yield and energy balance of giant reed (Arundo donax L .) cropped in central Italy as related to different management practices. European Journal of Agronomy 22, 375–389.

Aznar-Frasquet, I., Peiró-Gea, J., Monzó-Sanchis, T., 2016. Seguiment de la sequera al serpis al seu pas per potries. Aproximació al greu estat del riu, actuacions de rescat i cens de la fauna aquàtica.

Bañares-Baudet, Á., Blanca, G., Güemesheras, J., Moreno-Saiz, Juan Carlos Ortiz, S., 2004. Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid.

Barahona Rosales, R., Solange Sanchez, M., Pabón, E., 2009. Estudio Piloto para la Recuperación del Cerro de Moravia : Fase I.

Bell, G. P., 1997. Ecology and management of Arundo donax, and approaches to riparian habitat restoration in Southern California. In: J.H. Brock, M. Wade, P. Pyšek, D. G. (Ed.), Plant Invasions: Studies from North America and Europe. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, Santa Fe, New Mexico, USA, pp. 103–113.

Bonanno, G., 2013. Comparative performance of trace element bioaccumulation and biomonitoring in the plant species Typha domingensis , Phragmites australis and Arundo donax. Ecotoxicology and Environmental Safety 97, 124–130.

Bruno, D., Belmar, O., Sa, D., 2014. Environmental determinants of woody and herbaceous riparian vegetation patterns in a semi-arid mediterranean basin. Hydrobiologia 730, 45–57.

CBD, 2014. Global Biodiversity Outlook 4. A mid-term assessment of progress towards the implementation of the Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020.

Coffman, G. C., Ambrose, R. F., Rundel, P. W., 2010. Wildfire promotes dominance of invasive giant reed (Arundo donax) in riparian ecosystems. Biological Invasions 12 (8), 2723–2734.

Costa, M., 1982. Pisos bioclimaticos y series de vegetacion en el área valenciana. Cuadernos de Geografía 31, 129–142.

CPI, 2017. Un estudio de la UPV contribuirá a determinar un nuevo caudal ecológico para el río Serpis.
URL www.cpi.upv.es/area-de-medios/noticias/i/58001/486

DAAC, O., 2016. MODIS Collection 6 Land Products Global Subsetting and Visualization Tool.

Deltoro-Torró, V., Jiménez-Ruiz, J., Vilán-Fragueiro, X., 2012. Bases para el manejo y control de Arundo donax L. (Caña común).

DOGV, 2005. Comunitat Valenciana. Decret 115/2005, de 17 de juny, del Consell de la Generalitat de declaració del Parc Natural de les gorges del Cabriol. [2005/X7213].

Frasquet, I. A., 2015. Serpis, riu viu. Informe per a la sensibilització sobre l'estat del Serpis al seu pas per la Safor.

Garófano-Gómez, V., Martínez-Capel, F., Delgado-Artés, R., 2009. Les riberes del Serpis. Gestió de l'aigua per a la seua conservació. CEIC Alfons El Vell, Gandia.

Godé, L.-X., García, E., Gutierrez, C., Basora, X., March, À., Minguell, J., Comas, E., Sabaté, X., 2008. La gestió i recuperació de la vegetació de ribera. Guia tècnica per a actuacions en riberes.

Haro-monteagudo, D., Solera, A., Andreu, J., 2017. Drought early warning based on optimal risk forecasts in regulated river systems : Application to the Jucar River Basin (Spain). Journal of Hydrology 544, 36–45.

Jensen, M. E., Burman, R. D., Allen, R. G., 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements.

MAPAMA, 2016. Mapas de Seguimiento de los Indicadores de Estado de la Sequía. Enero 2014 - Diciembre 2016. Tech. rep., Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.

Mariani, C., Cabrini, R., Danin, A., Piffanelli, P., Fricano, A., Gomarasca, S., Dicandilo, M., 2010. Origin , diffusion and reproduction of the giant reed (Arundo donax L .): a promising weedy energy crop. Annals of Applied Biology 157 (2), 191–202.

Mcmaster, G. S., Wilhelm, W., Mcmaster, G. S., 1997. Growing degree-days: one equation , two interpretations. Agricultural and Forest Meteorology 87, 291–300.

McNeely, J. A., Mooney, H. A., Neville, L. E., Schei, P. J., Waage, J. K., 2001. Global Strategy on Invasive Alien Species. IUCN, Gland (Switzerland) and Cambridge (UK).

Mostacedo, B., Fredericksen, T. S., 2000. Manual de métodos básicos de muestreos y análisis en ecología vegetal.

Nagler, P. L., Cleverly, J., Glenn, E., Lampkin, D., Huete, A., Wan, Z., 2005. Predicting riparian evapotranspiration from MODIS vegetation indices and meteorological data. Remote Sensing of Environment 94, 17–30.

Perdue, R. E., 1958. Arundo donax: Source of Musical Reeds and Industrial Cellulose. Economic Botany 12 (4), 368–404.

Quinn, L. D., Holt, J. S., 2008. Ecological correlates of invasion by Arundo donax in three southern California riparian habitats. Biological Invasions 10, 591–601.

Rossa, B., Tuffers, A. V., Naidoo, G., Willert, D. J. V., 1998. Arundo donax L . (Poaceae) - a C3 Species with Unusually High. Plant Biology 111, 216–221.

Sánchez, J., Curt, M. D., Fernández, J., 2017. Approach to the potential production of giant reed in surplus saline lands of Spain. Global Change Biology Bioenergy 9, 105–118.

Sanchis-Ibor, C., Segura, F. S., 2016. Cambios morfológicos en el cauce del río Serpis tras la construcción del embalse de Beniarrés. In: Durán Valsero, J. J., Montes Santiago, M., Robador Moreno, A., Salazar Rincón, Á. (Eds.), Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, pp. 1–18.

Sanz-Elorza, M., Dana-Sánchez, E. D., Sobrino-Vesprinas, E., 2004. Atlas de las Plantas Alóctonas Invasoras en España. Dirección General para la Biodiversidad, Madrid.

Show, I., November, E. C., Hook, R., Associates, N. Y. C., Pittenger, D., Shaw, D., 2013. Making Sense of ET Adjustment Factors for Budgeting and Managing Landscape Irrigation. In: Irrigation Show and Education. Red Hook, NY: Curran Associates, Austin, Texas, USA, pp. 369–379.

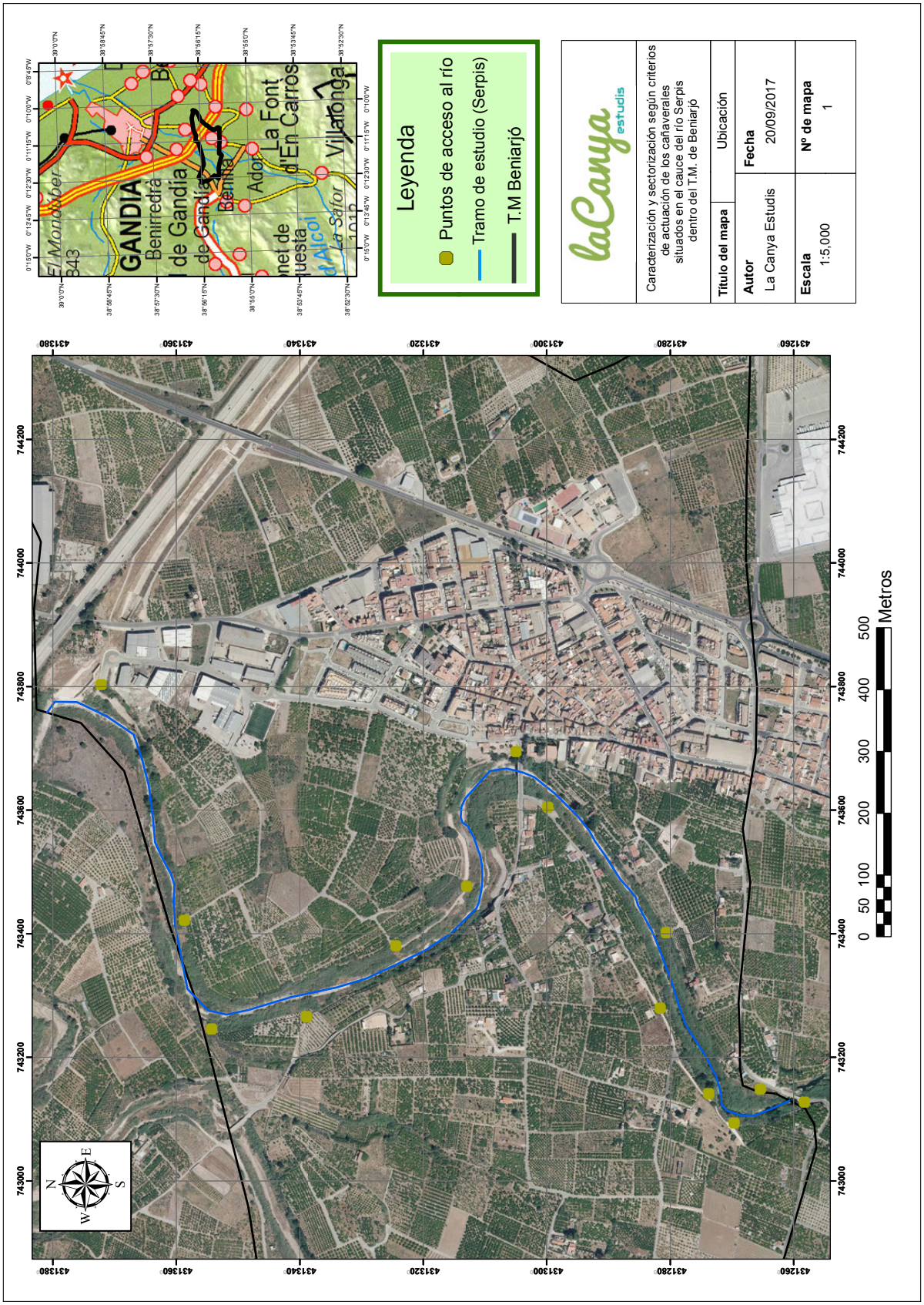
Triana, F., Nassi, N., Nasso, O. D. I., Ragaglini, G., 2015. Evapotranspiration , crop coefficient and water use efficiency of giant reed (Arundo donax L .) and miscanthus (Miscanthus 3 giganteus Greef et Deu .) in a Mediterranean environment . Global Change Biology Bioenergy 7, 811–819.

Tzanakakis, V. A., Paranychianakis, N. V., Angelakis, A. N., 2009. Nutrient removal and biomass production in land treatment systems receiving domestic effluent. Ecological Engineering 35, 1485–1492.

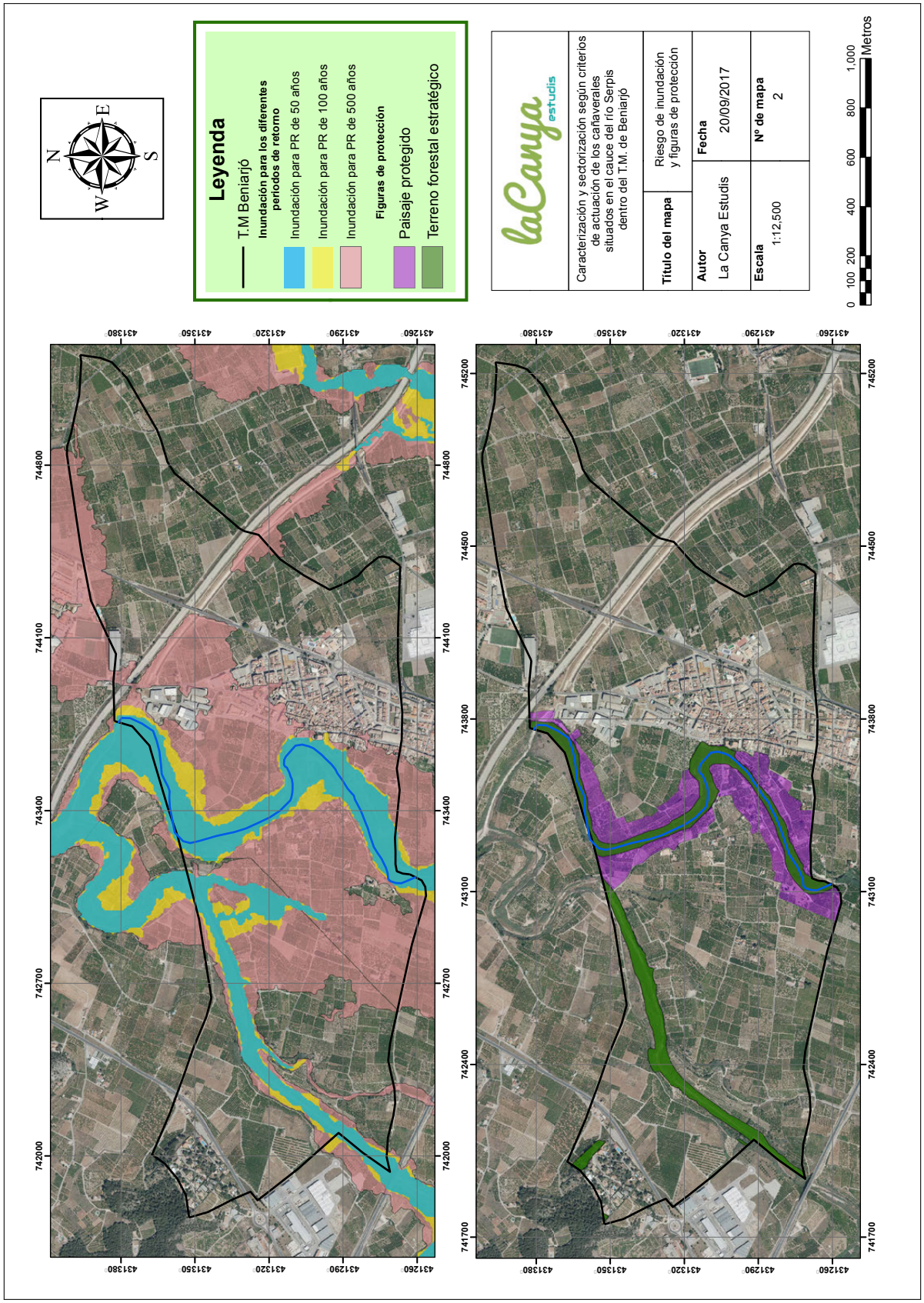
Vicente-serrano, S. M., 2011. Effects of warming processes on droughts and water resources in the NW Iberian Peninsula (1930-2006). Climate Research 48 (2-3), 203–212.

Viteri, M., Valasateguí, R., 2014. Combinación biológica de dos especies en humedales vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la planta de tratamiento .El Peral.ep-emapa Ambato.

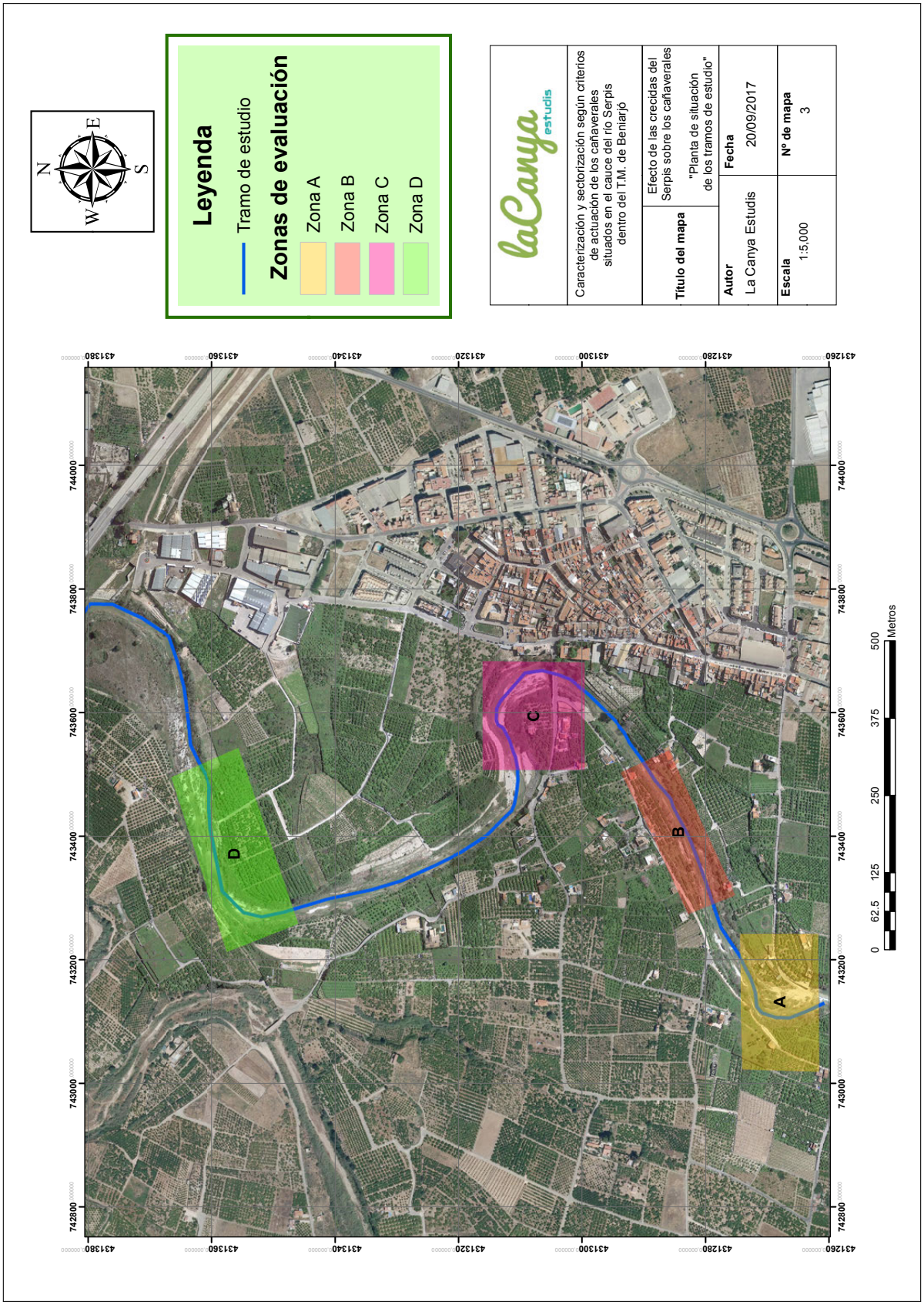
Apéndice A. Plano Ubicación



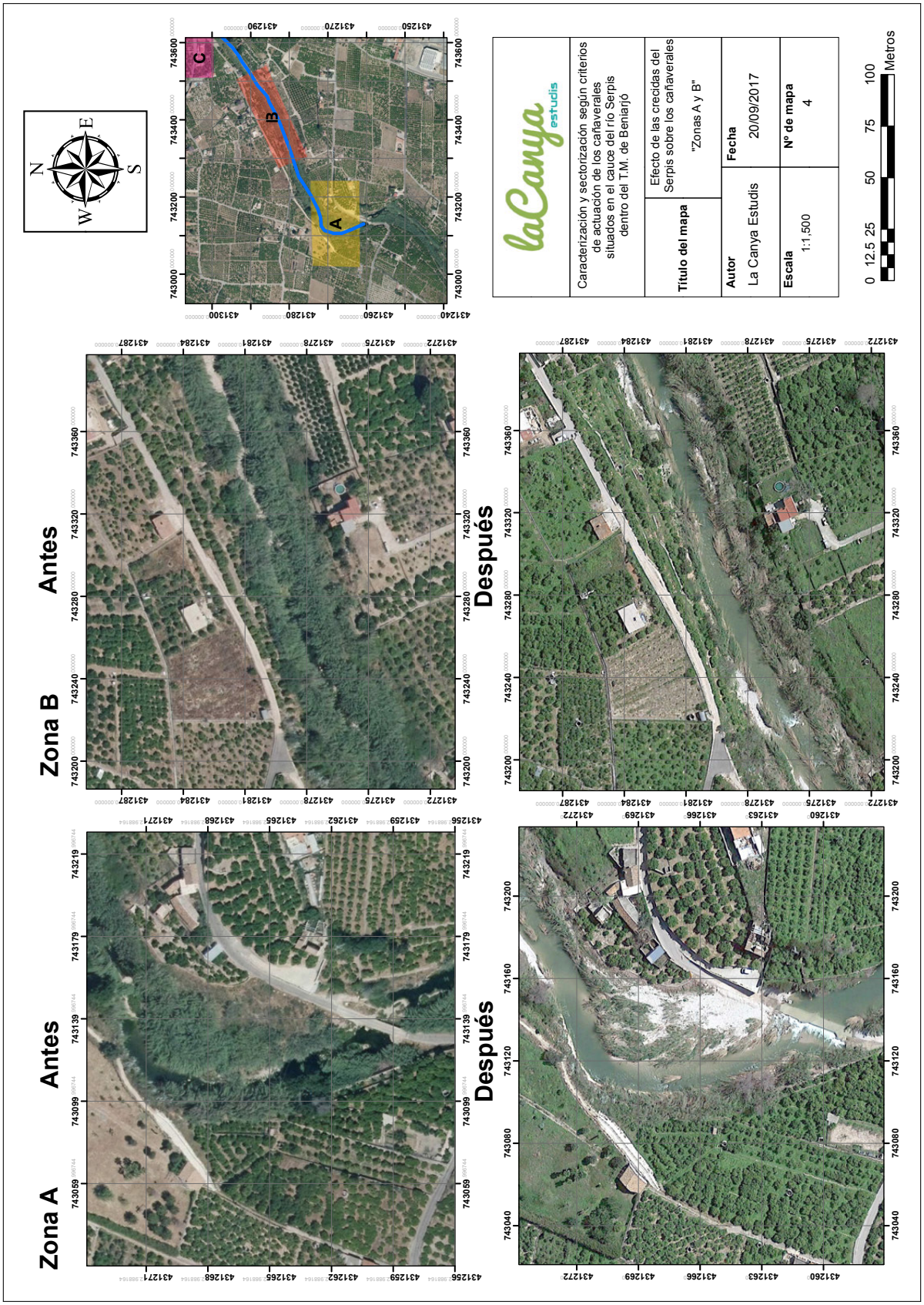
Apéndice B. Plano Riesgo de inundación y figuras de protección



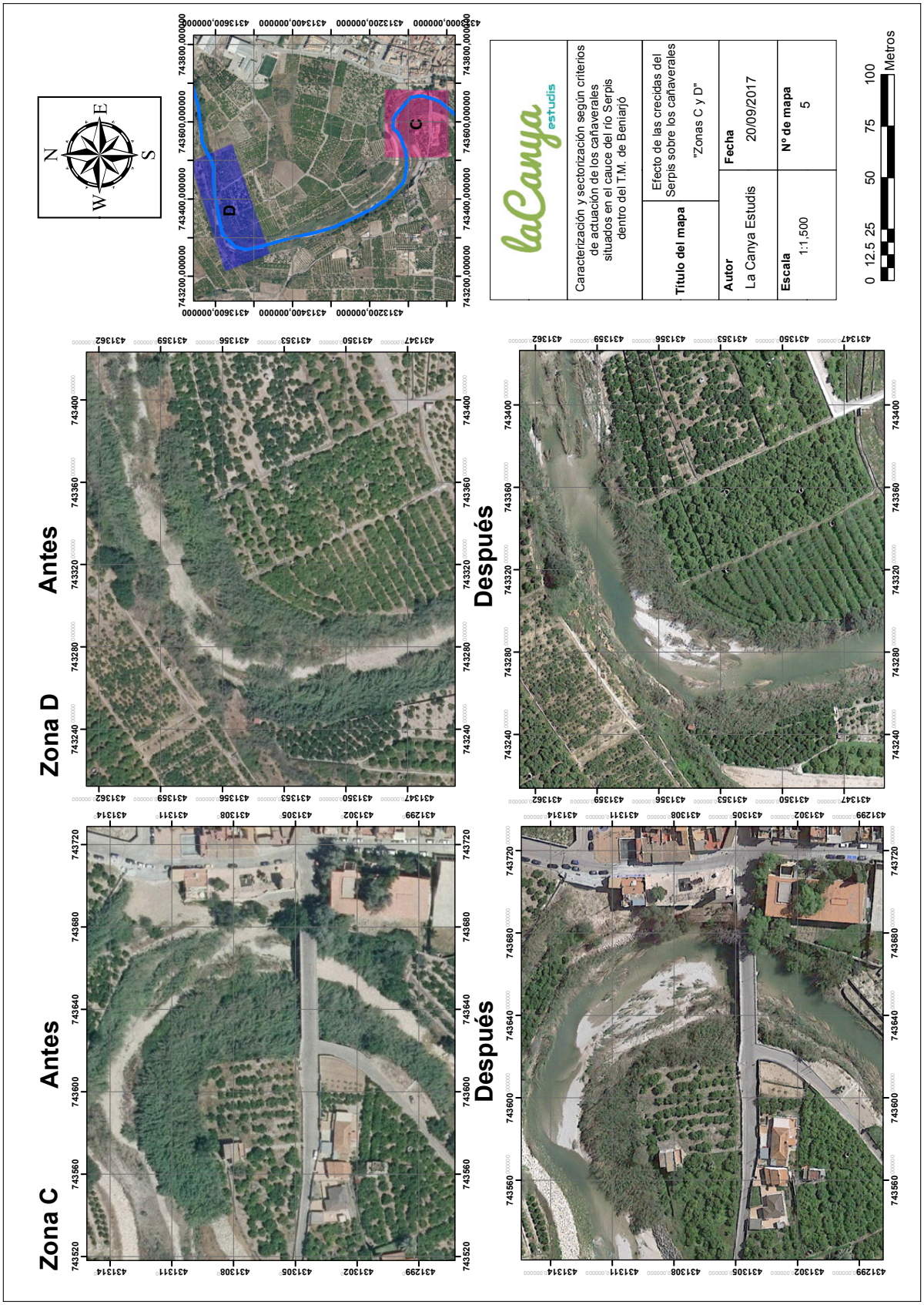
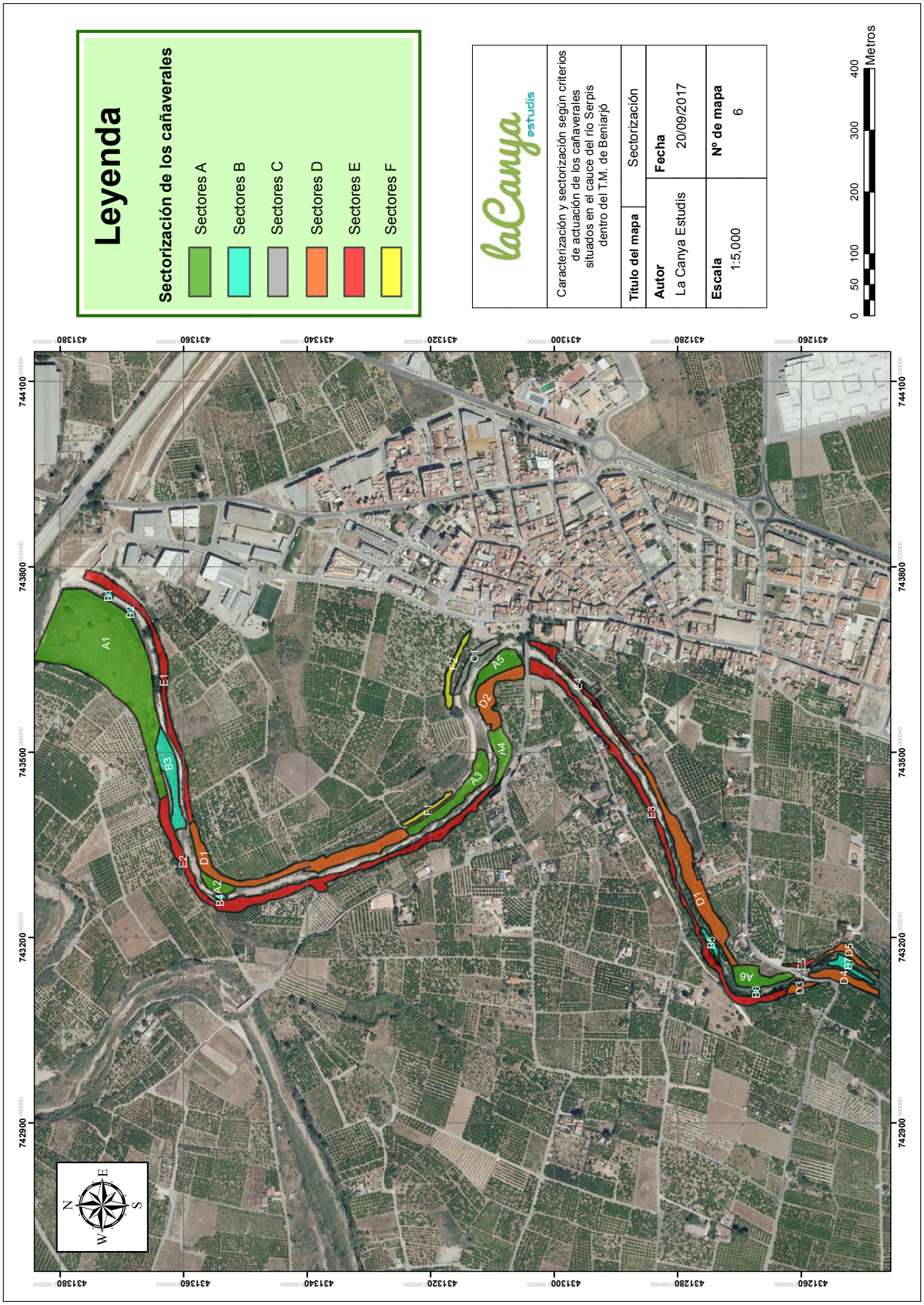
Apéndice C. Plano Efecto de las crecidas del Serpis sobre los cañaverales - Planta de situación de los tramos de estudio



Apéndice D. Plano Efecto de las crecidas del Serpis sobre los cañaverales - zonas A y B



Apéndice E. Plano Efecto de las crecidas del Serpis sobre los cañaverales - zonas C y D



Apéndice F. Plano Sectorización