

# EVOLUCIÓN DE LA VEGETACIÓN HELÓFITA Y LEÑOSA EN DOS TRAMOS DEL RÍO TURIA

Máster en Restauración de Ecosistemas

Trabajo Fin de Máster

Autora: D<sup>a</sup> María Sánchez Murciano

Tutor: D. Diego García de Jalón

Universidad Politécnica de Madrid

30/09/2020



Universidad  
Complutense  
Madrid



Universidad  
Rey Juan Carlos



POLITÉCNICA



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer al Dr. Diego García de Jalón, catedrático de la Escuela Técnica Superior de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid, director de este estudio, su tiempo y dedicación, interés y esfuerzo por posibilitar la realización de este trabajo. Sus conocimientos a la hora de plantear y enfocar el estudio, el análisis y tratamiento de los datos, y la caracterización en campo del área de estudio, han sido fundamentales para poder llevarlo a cabo.

Al Dr. Carlos Alonso, docente e investigador de la Escuela Técnica Superior de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid, por su colaboración y ayuda prestadas en este trabajo.

Al Dr. Ricardo Garilleti, catedrático de la Facultat de Farmàcia de la Universitat de València, por compartir conmigo sus conocimientos acerca de la vegetación de ribera autóctona y potencial del río Turia, por su libro “Vegetación ribereña de los ríos y ramblas de la España meridional (península y archipiélagos)”, y por su apoyo al estudio.

A D. Isaac Muedra, técnico de VAERSA en el Centro de Visitantes del Parque Natural del Turia, por toda la información brindada acerca de la gestión de la vegetación realizada en los tramos de estudio, así como el interés y apoyo que ha mostrado durante todo el tiempo que ha durado la realización de este trabajo y todos los proyectos anteriores.

A la Dra. Ester Carbó, investigadora del CIDE (Centre d'Investigacions sobre Desertificació) y docente de la Facultat de Farmàcia de la Universitat de València, por el apoyo en el inicio de mis estudios sobre *Arundo donax*, así como animarme a continuarlos con el presente trabajo.

A la asociación valenciana Un Voluntario Un Árbol, quien me brindó la plataforma y los medios legales para llevar a cabo todos los proyectos técnicos de control y erradicación de *Arundo donax* en el río Turia, así como de revegetación con especies ribereñas durante tantos años, y que marcaron mi trayectoria en los estudios de la especie.

Por último, a mi familia y amigos por el apoyo incondicional.

## ABSTRACT

Los ríos han sufrido modificaciones en su estructura y funcionamiento debido a la presión antrópica sobre estos ecosistemas, principalmente por los usos del suelo agrarios y actividades extractivas. Pero a partir de la década de los 50 la construcción de las grandes presas fue lo que reguló el flujo hídrico, afectando a todo el ecosistema.

Este estudio se centra en la evolución de la vegetación riparia en el río Turia, situado al este de la Península Ibérica, en la provincia de Valencia, en los últimos 70 años, haciendo uso de imágenes aéreas y los datos de las estaciones de aforo. Además, se identifican y analizan todas las coberturas del suelo, interpretando así su evolución a lo largo del período de tiempo estudiado. El área de estudio comprende dos zonas del río Turia: en Bugarra se observa el aumento de la ocupación antrópica y de pastizal, en detrimento de la vegetación; en Vilamarxant, es la caña común (*Arundo donax*) junto con los cultivos, quienes aumentan con el paso del tiempo.

La tendencia de la ocupación del uso categorizado como cauce es descendente en ambos tramos, siendo además el de menor extensión. En el caso del segundo tramo, representativo de gran parte del río Turia, *Arundo donax* ha colonizado por completo la ribera, problema generalizado en la mayoría de los ríos de la región Mediterránea. El análisis visual y de caudales parece relacionar la regulación del régimen hídrico con el aumento de *Arundo donax*, ya que el descenso de caudal favorecería la expansión de la especie, en detrimento de la vegetación autóctona. El análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre los parámetros analizados. En este trabajo se propone una actuación de tipo hidro-geomorfológico actuando directamente sobre el cauce, lo que evitaría una intervención directa sobre la vegetación.

**Palabras clave:** *Arundo donax*, ecosistema fluvial, bosque ripario, especies exóticas, presas, Valencia.

## ABSTRACT

Rivers have suffered structural and functional modifications due to anthropogenic pressures, caused mainly by agricultural land uses and extractive activities. From the 50's the construction of big dams regulated rivers' flow, affecting the whole ecosystem.

This study focuses on the evolution of riparian vegetation of the Turia river, located to the east of the Iberian Peninsula, Valencia province, using aerial photographs and data from gauging stations. In addition, land cover has been identified and analysed, assessing its evolution through the period of time considered in the study. The study area comprises two areas of the Turia river: at the Bugarra site we can appreciate an increase of anthropogenic land uses and pasture, at the expense of natural vegetation; at the Vilamarxant site, there is an increase over time of *Arundo donax* and crops areas.

There is a declining trend of the land use categorized as riverbed in both areas, and this use represents the smallest area. In the second section, representative of most of the Turia river, *Arundo donax* has colonized the riverbank, which is a common problem in most of the Mediterranean rivers. The visual analysis links the regulation of the hydric regime with the increase of *Arundo donax*, since the decrease of the river Flow benefits the spread of this species, at the expense of the natural vegetation. The statistical analysis didn't show any significant differences. This work suggests a hydro- geomorphological intervention directly on the river flow, which would avoid direct actions on vegetation.

**Keywords:** *Arundo donax*, river ecosystem, riparian forest, alien species, dams, Valencia.



## Índice

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.   | Introducción .....   | 7  |
| 1.1. | Ecosistemas fluviales.....                                 | 7  |
| 1.2. | El río Turia .....   | 8  |
| 1.3. | <i>Arundo donax</i> (caña común, giant reed).....          | 9  |
| 2.   | Justificación y objetivos.....                             | 10 |
| 3.   | Descripción de la zona de estudio.....                     | 11 |
| 4.   | Metodología .....  | 17 |
| 4.1. | Análisis de caudales.....                                  | 17 |
| 4.2. | Análisis de la estructura de la ribera .....               | 18 |
| 4.3. | Evaluación del dinamismo fluvial .....                     | 19 |
| 4.4. | Interpretación de la evolución de la ribera .....          | 20 |
| 5.   | Resultados .....   | 21 |
| 5.1. | Análisis de caudales.....                                  | 21 |
| 5.2. | Interpretación de las imágenes aéreas .....                | 25 |
| 5.3. | Análisis de la evolución de las coberturas del suelo ..... | 36 |
| 5.4. | Relación de las variables estudiadas .....                 | 39 |
| 6.   | Discusión .....  | 44 |
| 7.   | Conclusiones.....  | 50 |
| 8.   | Bibliografía .....   | 51 |
| 9.   | Anexos.....  | 57 |
| 9.1. | Anexo I.....   | 57 |
| 9.2. | Anexo II.....  | 58 |
| 9.3. | Anexo III.....   | 60 |
| 9.4. | Anexo IV .....   | 62 |
| 9.5. | Anexo V .....  | 63 |

## 1. Introducción

### 1.1. Ecosistemas fluviales

La Directiva Marco del Agua considera que un río se encuentra en “buen estado ecológico” cuando no ha sufrido perturbaciones, o de haberlas sufrido, han sido mínimas, por parte de la acción humana. En otras palabras, cuando mantiene sus funciones y servicios ecosistémicos, su estado natural, casi inalterado. La realidad es que la mayoría de estos espacios naturales se han visto alterados por las presiones humanas, modificando así su funcionamiento y estructura (Fazelpoor et al., en prensa). Esta situación responde al concepto de Antropoceno, propuesto por Crutzen en 2002 (Piégay et al., 2019).

Históricamente, los ríos han sido uno de los ecosistemas más alterados, principalmente en cuanto a los usos del suelo, debido a las ventajas que ofrece el agua como recurso (Arizpe et al., 2008). De hecho, desde los años 50, estos espacios naturales han sido modificados notablemente en España (Martínez-Fernández et al., 2017).

Han sido muchos los estudios que han señalado al humano como principal agente de cambio de los ecosistemas de ribera, por distintos motivos: regulación del régimen por la construcción de presas, extracción de agua y gravas, usos del suelo y ocupación del territorio, y en los últimos años, el cambio climático (Fazelpoor et al., en prensa).

Como dice Arizpe et al. (2008), el agua es el principal agente transformador de los ecosistemas fluviales. La estructura y forma de los cauces y de las riberas se deben en mayor medida al régimen de caudales (cauces frecuentes y las avenidas extraordinarias). Las grandes avenidas provocan cambios en los paisajes fluviales, modificando la disposición de la vegetación, los materiales acumulados, e incluso la propia morfología del río en el tramo afectado. En cambio, las pequeñas y más frecuentes avenidas tienen efectos más suaves en el medio, y también necesarios, como es la erosión, transporte y sedimentación de partículas, limos, arcillas, cantos rodados, etc.

Mantener el régimen natural de caudales es una de las medidas de mayor repercusión en los ambientes fluviales. La construcción de grandes embalses y presas han regulado estos caudales hasta el punto de que se ha visto modificada la estructura hidrogeomórfica, dependiente de las comunidades vegetales (González et al., 2010) aguas abajo de estas construcciones. En España se tiene registro de más de 1200 grandes presas, a lo que se debe sumar los cambios en el uso del suelo (Martínez-Fernández et al., 2017). Uno de los



efectos directos de esta actuación es la modificación de la vegetación de ribera, siempre de forma diferente en cada río.

Esto provoca la pérdida de calidad y biodiversidad en el ecosistema, puesto que la variedad de comunidades vegetales de los ecosistemas riparios, localizadas en las llanuras de inundación, está directamente relacionada con el régimen fluvial (González et al., 2010). No obstante, las presiones humanas a través de prácticas como la agricultura o la tala de bosques también afectan a estos espacios naturales (Gordon et al., 2006).

El resultado actual son unos ríos simplificados, canales de mayor o menor tamaño y capacidad por los que discurre un flujo de agua (Díaz-Redondo et al., 2018). Esta situación es aceptada socialmente, ya que se desconoce la complejidad de estos ecosistemas. Un río va mucho más allá de un canal único y estable que conduce agua hacia el mar (García et al., 2018). De hecho, en muchos se manifiesta una desconexión entre el cauce y la llanura de inundación, a lo largo de cientos de kilómetros (Díaz-Redondo et al., 2018), lo cual afecta directamente a las funciones y procesos ecológicos del ecosistema.

A su vez, vivimos un momento clave a nivel social en el que la conciencia ambiental aumenta día a día, y la población exige un medio ambiente de calidad y unos ecosistemas sanos. Citando a Rosgen D. L. y colaboradores (2006), “La sociedad ha invertido los últimos 200 años en modificar los paisajes: ahora, quieren sus ríos de vuelta”.

## 1.2. El río Turia

El estudio se realiza en dos tramos fluviales del río Turia. Este río se sitúa en la Cuenca Hidrográfica del Júcar, al este de la Península Ibérica. Ésta tiene unas dimensiones de 42.989 km<sup>2</sup>, y dentro de ella, la cuenca del río Turia tiene unas dimensiones de 6.913 km<sup>2</sup>, siendo la segunda más grande dentro de esta administración (Andreu et al., 2009). Nace en Montes Universales, Teruel, recibiendo el nombre de Guadalaviar hasta que se incorpora a la provincia de Valencia.

Tiene una longitud de 280 km, y desemboca apenas unos kilómetros al sur de la ciudad de Valencia, en el mar Mediterráneo (Ruiz-Pérez et al., 2019). Históricamente recorría la ciudad, pero tras la riada de 1957, que fue la última gran inundación en la llanura aluvial litoral del río (Carmona et al., 2010), se construyó un nuevo cauce que rodeaba la capital, canalizándolo fuera del municipio, conocido como Plan Sur (Carmona, 1997).

Actualmente, el flujo de agua no llega al nuevo tramo, pues se desvía principalmente a los regadíos, hecho habitual en la mayoría de reserva de agua dulces del planeta, llegando en la región mediterránea a dedicarse hasta el 75% de las mismas (Cosentino et al., 2014). En cuanto a la demanda de agua urbana, el área metropolitana de Valencia es la que destaca con un consumo de 30 hm<sup>3</sup>/año provenientes del Turia (Andreu et al., 2009).

Son muchos los ríos mediterráneos que han sufrido este descenso de sus caudales, y no únicamente debido a las presas y embalses, sino también a cambios en el clima y en el territorio (Salmoral et al., 2015). En el caso del Turia, encontramos que el cambio en los caudales ha provocado una modificación en la vegetación propiciando el establecimiento de especies exóticas invasoras que con el tiempo ha desplazado a las autóctonas, es el caso de *Arundo donax*.

### 1.3. *Arundo donax* (caña común, giant reed)

La caña común (*Arundo donax*), es una especie exótica con un marcado carácter invasor, proveniente de Asia (Angelini et al., 2005; Consentino et al., 2006; Marini et al., 2010), que hoy en día domina las riberas del río Turia en sus tramos medio y bajo. Esta especie está incluida en la lista de las 100 especies exóticas más perjudiciales a nivel global (Boland, J. M., 2006), y su distribución ha alcanzado los 5 continentes, perjudicando gravemente el funcionamiento, estructura y servicios de los ecosistemas de ribera (Wijte et al., 2015; Velasco et al., 2019).

La caña común es una especie de la familia de las gramíneas (*Poaceae*) y de la subfamilia *Arundinoideae* (Fernando et al., 2016). Dentro de su género, *A. donax* es la especie de mayor tamaño, alcanzando alturas de entre 4 y 6 metros (Rüggeberg et al., 2010), además de ser una de las gramíneas más grandes del mundo. Tiene un crecimiento muy veloz (Moore et al., 2010), por lo que una vez se establece en un lugar, lo coloniza en un período muy breve de tiempo. Además, tiene la capacidad de expandirse rápidamente gracias al desarrollo horizontal de su rizoma, que tiene lugar en el subsuelo (Boland, 2006), lo que provoca una ocupación total del suelo desplazando así a las especies autóctonas (Sánchez et al., 2017).

Puede permanecer verde todo el año, pero en lugares con estacionalidad como la región mediterránea expresan esta coloración en primavera y verano, perdiéndola en otoño y

obteniendo un color amarillento hasta el final del invierno, cuando la especie se encuentra en parada vegetativa (Sánchez et al., 2017).

Su reproducción es mayoritariamente asexual, puesto que la especie es capaz de enraizar a partir de distintas partes de su estructura, principalmente a partir de trozos del rizoma, de forma que la mayoría de individuos que encontramos en los ecosistemas colonizados son clones (Boland, 2006; Saltonstall et al., 2010).

En cuanto a su hábitat, se establecen principalmente en zonas húmedas, y resisten a todo tipo de suelos, además de tener una fuerte tolerancia a la salinidad (Lewandowski et al., 2003).

En el siguiente estudio se va a proceder al análisis y evaluación de la evolución de la vegetación helófito y leñosa en dos tramos del río Turia.

## 2. Justificación y objetivos

Los ecosistemas fluviales son de alta importancia debido a la elevada biodiversidad que albergan, y a sus funciones, especialmente destacable la que ejercen como corredor ecológico.

Son ecosistemas que se han visto muy afectados por las actividades antrópicas como la extracción de gravas y la ocupación de las riberas para cultivos y plantaciones madereras, principalmente de *Populus nigra x canadensis*. Y otros como la modificación de los regímenes hídricos debido a la construcción de presas y embalses, así como otras actuaciones como los drenajes.

Además, existe el concepto de “Evaluación Económica Ambiental”, que persigue darle un valor monetario a los bienes y servicios de los que nos proveen los ecosistemas, y poder utilizarlo como una herramienta en la gestión política del medio ambiente (Herruzo, 2002). De hecho, un estudio realizado por la Universidad Politécnica de Valencia cifra el valor de estos bienes y servicios del Parque Natural del Turia entre 163.946.752€ y 481.549.597€ (Estruch-Guitart et al., 2018).

Este trabajo pretende comprobar si los cambios de caudal que han tenido lugar en el río Turia desde la construcción de las dos grandes presas que le afectan, modificando a partir

de su puesta en marcha los regímenes hídricos y afectando de forma directa a la dinámica geomorfológica y a la vegetación riparia del ecosistema, favoreciendo la expansión de *Arundo donax*.

Así, los objetivos del estudio son:

- Objetivo general:
  - o Evaluación de la evolución de la vegetación de ribera en dos tramos del río Turia en los últimos 70 años.
- Objetivos específicos:
  - o Análisis de la evolución de los caudales del río Turia en las zonas de estudio.
  - o Estudio de la evolución de la vegetación de ribera autóctona en los márgenes del río Turia del 1945 al 2015.
  - o Evaluación de la aparición y evolución de la caña (*Arundo donax*) en los márgenes del río Turia del 1945 al 2015.
  - o Comprobación de la existe relación causal y cómo afecta la regulación de caudales a las coberturas de la vegetación en la llanura de inundación.

### 3. Descripción de la zona de estudio

Este trabajo se realiza en dos tramos del río seleccionados por dos motivos principales:

En primer lugar, la existencia de estaciones de aforo con una serie casi completa de caudales de los últimos 100 años, información de gran utilidad para poder llevar a cabo el estudio. Las partes incompletas coinciden con el periodo de la Guerra Civil Española, pero gracias a modelos matemáticos de correlación se ha podido completar la serie.

En segundo lugar, la existencia en la actualidad de una gran extensión de terreno colonizada por *Arundo donax*, junto con información cartográfica de los últimos 70 años que muestra su aparición y evolución.

Es interesante añadir que las similitudes de fauna, flora, clima y suelos que existen en estas zonas, junto con la diversidad hidrogeomorfológica que afecta al río en ambos

tramos, hace complementario el estudio de ambas. Por ejemplo, en el tramo de Bugarra el río se encuentra mucho más encajonado que en el de Vilamarxant.

Estos factores permiten que las zonas escogidas sean representativas del curso medio del río y de su problemática, pudiendo utilizarse como referencia en estudios y actuaciones futuras de restauración de la vegetación riparia.

Cabe destacar la necesidad de esta investigación en esta área natural no sólo por la importancia que tienen en sí mismos los ecosistemas fluviales, sino que uno de los tramos, el perteneciente al término municipal de Vilamarxant, se encuentra incluido en el Parque Natural del Turia, declarado en 2007. Además, en el año 2019, se aumentó la protección aguas arriba, incluyendo esta zona dentro de la Red Natura 2000, abarcando el segundo tramo de estudio escogido, en el término municipal de Bugarra.

Los tramos escogidos se encuentran en los términos municipales valencianos de Vilamarxant y Bugarra. Ambos se encuentran en la hoja 695 (Liria) a escala 1:50.000, con una distancia de 12 kilómetros y medio en línea recta entre ambos tramos, algo más de 17 kilómetros siguiendo el cauce del río. En la tabla 1 se presentan unos datos de ambos tramos.

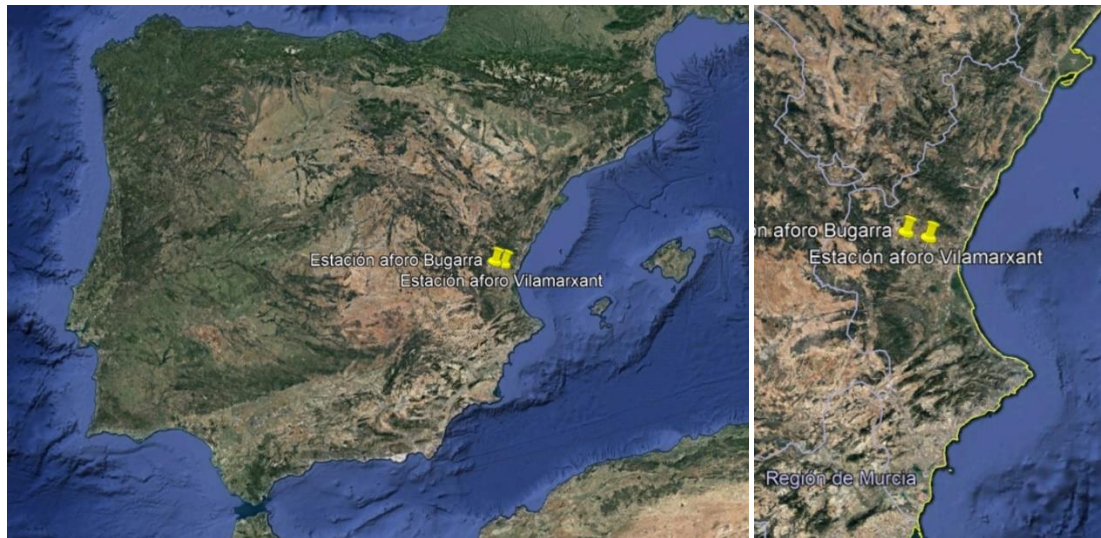
Tabla 1. Datos geográficos de las dos zonas de estudio.

|  | <b>Bugarra</b>                             | <b>Vilamarxant</b>  |
|--|--|---|
| <i>Coordenadas de la estación de aforo</i> | 39.605639° latitud,<br>-0.783294° longitud | 39.564922° latitud,<br>-0.600693° longitud                      |
| <i>Coordenadas del inicio del tramo</i>    | 39.606137° latitud,<br>-0.773906° longitud | 39.584998° latitud,<br>-0.635255° longitud                      |
| <i>Coordenadas del final del tramo</i>     | 39.607491° latitud,<br>-0.766859° longitud | 39.580390° latitud,<br>-0.620849° longitud                      |
| <i>Kilómetros de río</i>                   | 0.8 km                                     | 1,5 km  |
| <i>Hectáreas del tramo</i>                 | 17.1 ha                                    | 36.3 ha   |
| <i>Desnivel</i>                            | Desnivel de 0m<br>(159msnm)                | Desnivel 5m (inicio del tramo 96 msnm, final del tramo 91 msnm) |

## Estudio de la evolución de la vegetación helófito y leñosa en dos tramos del río Turia

En la figura 1 se presenta un mapa de España, y en la figura 2 uno de la Comunidad Valenciana, con la localización de las estaciones de aforo seleccionadas, y por tanto la ubicación de los tramos de estudio.

En las figuras 3 y 4 podemos ver una fotografía de los tramos de Bugarra y Vilamarxant, respectivamente. En ambas se observa una parte del cauce el río, y cómo las riberas están ocupadas por completo por *Arundo donax*.



Figuras 1 y 2. - Mapas de España (izquierda) y Comunidad Valenciana (derecha) con la localización de las estaciones de aforo utilizadas en el estudio. Fuente: Google Earth.

Estudio de la evolución de la vegetación helófito y leñosa en dos tramos del río Turia



Figura 3. - Fotografía del río Turia en el tramo de Bugarra.



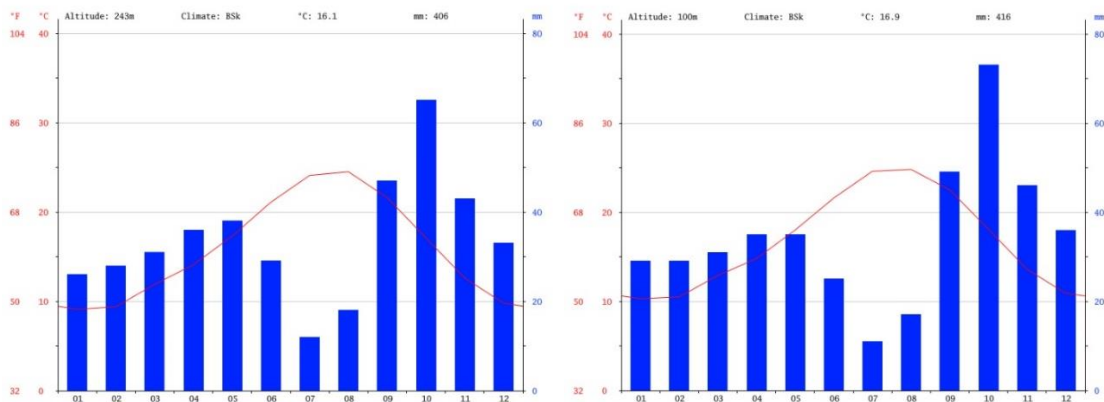
Figura 4. - Fotografía del río Turia en el tramo de Vilamarxant.

## Climatología

En ambos municipios, que se encuentran en la provincia de Valencia, encontramos unos datos propios del clima mediterráneo. Veranos calurosos y con escasas precipitaciones, e inviernos suaves. No se aprecian diferencias significativas ni en las temperaturas ni en las precipitaciones de ambos municipios.

Encontramos que las temperaturas mínimas de Bugarra se encuentran por debajo de los 10°, mientras que en Vilamarxant están un poco por encima de este valor. Las máximas están alrededor de 30° en ambas localidades.

En cuanto a las precipitaciones, en ambas estaciones se han registrado valores mínimos poco superiores a los 10 l/m<sup>2</sup> en julio, mientras que las máximas se han recogido en octubre. En el caso de Bugarra, el municipio que se encuentra más hacia el interior de la provincia, entre los 60 y 70 l/m<sup>2</sup>. En el caso de Vilamarxant, más hacia el este y por tanto más próximo al litoral mediterráneo, los valores máximos se encuentran entre 70 y 80 l/m<sup>2</sup>. En los climogramas que encontramos en las figuras 5 y 6 se puede observar lo explicado anteriormente.



Figuras 5 y 6. - Climograma de Bugarra (izquierda) y de Vilamarxant (derecha). Fuente: Climate-data.

## Vegetación y Fauna

La vegetación autóctona que se encuentra en la zona es principalmente vegetación de ribera. Destaca el *Populus nigra* (chopo), seguido del *Populus alba* (álamo), siendo las especies de ribera más abundantes en las zonas de estudio. Se identifican otras, con menor frecuencia, como son los sauces (*Salix purpurea*, *Salix fragilis* y *Salix alba*), y ejemplares



de *Celtis australis* (almez), *Fraxinus angustifolia* (fresno), *Rhamnus alaternus* (aladierno) y *Arbutus unedo* (madroño) (Garilleti et al., 2012).

Es importante destacar que no existe un bosque de ribera, sino formaciones de ambos *Populus*, mientras que el resto de especies se encuentran repartidas y con muy pocos individuos. Muy probablemente, debido a la distribución y al escaso número, han sido los supervivientes de actuaciones de reforestación en años anteriores.

Por último, destacan diferencias botánicas entre ambos tramos. La zona de Bugarra es un lugar recreativo, con infraestructuras para ello, por lo que se encuentra mucha vegetación ornamental, introducida, con el objetivo de ajardinar la zona. Encontramos por ejemplo *Morus alba* (morera).

El tramo de Vilamarxant en cambio fue objeto de varias reforestaciones por parte de la administración pública cuando fue declarado parque natural (en abril de 2007) y la vegetación introducida fue vegetación forestal: *Pinus halepensis* (pino carrasco) y *Quercus Illex* (carrasca) y *Quercus coccifera* (coscoja). Esta vegetación tampoco pertenece a este ecosistema. También se introdujo en esas plantaciones, pero esta sí está más relacionada con ese espacio, *Nerium oleander* (baladre o adelfa).

La diversidad vegetal que encontramos en la zona fluvial provoca que haya una diversidad faunística importante. Se han catalogado 166 vertebrados, de los cuales el grupo con mayor cantidad de especies son las aves, después los mamíferos, peces, reptiles y por último los anfibios (La Universitat de València i els seus entorns naturals, 2008).

### Litología y Suelos

En el tramo de Bugarra encontramos en primer lugar el suelo aluvial (arenas y cantos redondeados), directamente relacionado con los espacios fluviales. Junto con este, encontramos dolomías negras, arenas, limos, cantos, y bloques y cantos de fondo de rambla.

En el tramo de Vilamarxant encontramos los mismos suelos, excepto las dolomías negras, que en su lugar encontramos calizas lacustres con suelos de algas.

En las dos zonas de estudio predominan las arenas, limos, cantos y bloques, y claro está, suelos aluviales en el cauce del río (Mapa geológico incluido en el Anexo I).

## Usos del suelo

Los usos del suelo tradicionales han sido el cultivo de cítricos y la conocida “huerta mediterránea”. En la cartografía expuesta más adelante se observa cómo la agricultura ha retrocedido dejando paso principalmente a áreas de pastos, arbustos y bosques, aunque en la actualidad la mayor parte del territorio está ocupado por la caña (*Arundo donax*).

## 4. Metodología

### 4.1. Análisis de caudales

Los datos de los caudales de las estaciones de aforo se encuentran en la página web del CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas), en el apartado de *Anuario de aforos* (<https://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>).

Se realizó una búsqueda de las estaciones de aforo situadas en el tramo medio – bajo del río Turia, encontrando dos zonas próximas entre sí de gran interés:

La estación situada en el término municipal de Bugarra con una serie casi completa de los datos de caudal del río desde la década de 1910, lo que nos aporta información de los caudales de los últimos 100 años, imprescindible para la realización de un buen estudio sobre la modificación del régimen fluvial.

Y la estación situada en el término municipal de Vilamarxant, con una serie mucho más breve, pero con una superficie ampliamente ocupada por *Arundo donax*, situación que no se daba de forma tan exagerada en la primera estación, y que por tanto complementa el estudio.

Debido a que no hay registros de canales ni afluentes entre ambas estaciones, hemos asumido que los datos de la estación de Vilamarxant son similares a los de Bugarra.

Añadir que a su vez se hizo una búsqueda de las estaciones de aforo de los canales que pudieran afectar a esos tramos, pero no se han encontrado.

Los datos descargados del CEDEX eran caudales diarios, en m<sup>3</sup>/s, por lo que se llevó a cabo un tratamiento previo de los datos, ordenándolos primero por año hidrológico (del 1 de octubre del primer año, al 30 de septiembre del año siguiente), y colocando estos datos en columnas anuales, una tras otra.

Así fue posible calcular una serie de valores estadísticos anuales (valores máximos, mínimos, media, mediana, P90, P75, P10, número de ceros y número de crecidas), importantes para el posterior tratamiento de los datos.

El resultado en este punto del estudio fueron las gráficas (figuras 7 - 10), tanto de las estaciones de aforo de los tramos como de las salidas de los embalses, con los datos de los caudales a lo largo de los años, y en las que se observa la evolución de los regímenes hídricos.

#### 4.2. Análisis de la estructura de la ribera

Se ha realizado una búsqueda de fotografías aéreas y ortofotos de los dos tramos de estudio seleccionados, encontrando material válido de los años 1945, 1956, 1980-1986 (no se especifica el año en el que se tomaron las fotografías), 2006, 2008, 2015. Las fuentes de las que se han extraído las imágenes son el centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>) y la plataforma Iberpix 4, perteneciente al Instituto Geográfico Nacional (<https://www.ign.es/iberpix2/visor/>).

Una vez obtenidas, se identificaron diferentes unidades de cobertura en la ribera: agua, substrato desnudo, vegetación helófito, caña, vegetación arbórea, vegetación herbácea, suelo desnudo (gravas y arenas) y zonas antrópicas (caminos, construcciones y cultivos) con los que se elaboró una cartografía específica para el posterior estudio de los tramos seleccionados, tanto de forma individual, haciendo una interpretación de las imágenes, como de forma conjunta, relacionando las distintas coberturas .

En el proceso de creación de esta cartografía, se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica, en concreto el software ArcMap 10.4.1, perteneciente a ArcGis.

El tratamiento de las imágenes ha sido diferente en función de si eran fotografías aéreas u ortofotos. Las fotografías aéreas ha sido necesario georreferenciarlas mediante triangulación.

En segundo lugar, se ha creado una capa shape por cada cobertura del suelo en cada una de las imágenes georreferenciadas. El dibujo de estos polígonos se ha hecho de forma manual.

Mediante la tabla de atributos se ha obtenido la superficie en hectáreas de cada uno de los polígonos dibujados, para así poder calcular la superficie total que ocupa cada tipo de cobertura en cada una de las imágenes aéreas, y proseguir con el estudio.

Por último, tras el estudio de las fotografías aéreas (figuras 11 - 22), se han interpretado visualmente los procesos de cambios de las distintas coberturas que se han sucedido a lo largo del tiempo, y se han plasmado en las tablas 3 y 4 (Anexo V). Se ha decidido dividir estos procesos en 4 grandes grupos, tomando como referencias estudios anteriores que han utilizado la misma metodología (Díaz-Redondo et al., 2018; Fazelpoor et al., en prensa).

#### 4.3. Evaluación del dinamismo fluvial

En septiembre del año 2018 se realizó una salida al campo en la que se visitaron los dos tramos de estudio para conocer la situación actual de las zonas. Las últimas imágenes aéreas estudiadas son del año 2015, por lo que se encontró cierta variación, aunque no determinante para los resultados y conclusiones del estudio. Además, se realizó la comprobación y verificación de todo el trabajo anterior, sobre todo en referencia a la cartografía realizada.

Se obtuvieron los datos necesarios, así como la caracterización de las características de las zonas que no se pueden obtener a través de las

imágenes aéreas y satelitales. Además, se llevó a cabo un inventario de las especies de flora presentes en los tramos. Se realizaron también las fotografías de la zona de estudio presentadas en este trabajo en las figuras 3 y 4.

Por último, se comprobó en campo el alcance de la caña (*Arundo donax*) en cuanto a superficie de territorio ocupado, y por tanto el desplazamiento que provoca sobre las especies autóctonas.

Con respecto a la caña, se buscó información en prensa y se contactó con la oficina técnica del Parque Natural del Turia, además de revisar las memorias de gestión del Parque, para encontrar información acerca de las actuaciones de eliminación de esta especie que se habían llevado a cabo.

#### 4.4. Interpretación de la evolución de la ribera

Por último, se ha creado una tabla de cada zona representando los valores de superficie obtenidos de las imágenes georreferenciadas trabajadas, y de esta se ha obtenido una gráfica gracias a la cual se observa de forma muy visual cómo ha sido la evolución de las distintas coberturas del suelo en los dos tramos de estudio.

Y para finalizar, se han retomado los valores de las variables matemáticas extraídas del análisis de caudales, creando 6 intervalos acorde a la evolución del flujo y a los años de la cartografía trabajada. Se ha hecho una media de cada variable estadística en cada intervalo, y se han creado gráficos de dispersión juntando los datos anteriores con los obtenidos de las superficies de las coberturas del suelo. Así, se ha tratado de encontrar una relación lineal, mediante la ecuación de la recta para obtener, matemáticamente, cuáles eran las coberturas del suelo cuya evolución estaba directamente relacionada con el cambio en el régimen hídrico del cauce del río Turia.

## 5. Resultados

### 5.1. Análisis de caudales

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de los datos de las estaciones de aforo de Vilamarxant y Bugarra de los últimos 100 años, con la cartografía de estos tramos en los últimos 70 años.

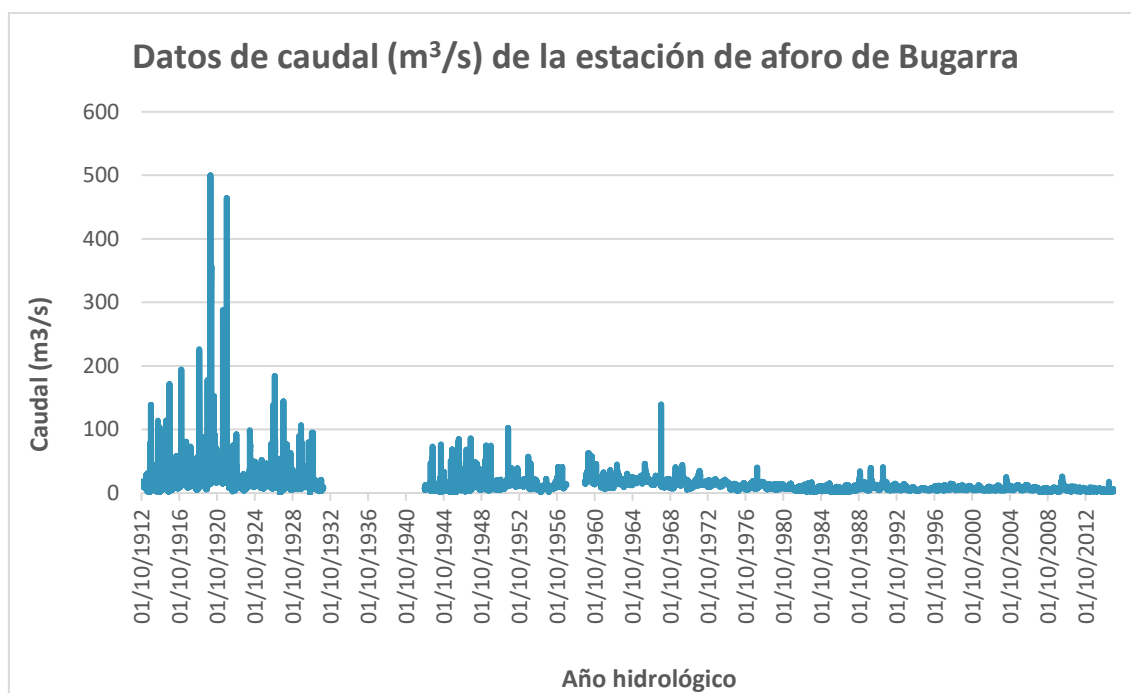


Figura 7. - Datos de caudal (m<sup>3</sup>/s) de la estación de aforo de Bugarra en el río Turia.

De las dos estaciones de aforo seleccionadas en el estudio, la localizada en el término municipal de Bugarra es la más completa, representada en la figura 7, pues nos ofrece datos desde 1912 hasta 2015, aunque también encontramos dos grandes espacios vacíos, del 32 al 42 y del 57 al 59. En el primer caso la ausencia de datos es común a la mayoría de estaciones de aforo registradas, puesto que el periodo coincide con el de la Guerra Civil Española.

Analizando los caudales, podemos observar cómo hasta 1932 teníamos un régimen irregular, con datos que variaban desde casi 0 m<sup>3</sup>/s hasta 500 m<sup>3</sup>/s en las avenidas más fuertes. A partir del 42 se observa un descenso importante, superando sólo en una ocasión los 100 m<sup>3</sup>/s, y a partir del 59 los caudales son cada vez son menores y están más regulados. Esto coincide con la puesta en marcha del embalse de Benagéber, el más

importante de la zona, que afecta directamente a esta estación de aforo y que se puso en marcha en el año 1944, aunque los datos de salida de la presa se recogen a partir del 1958.

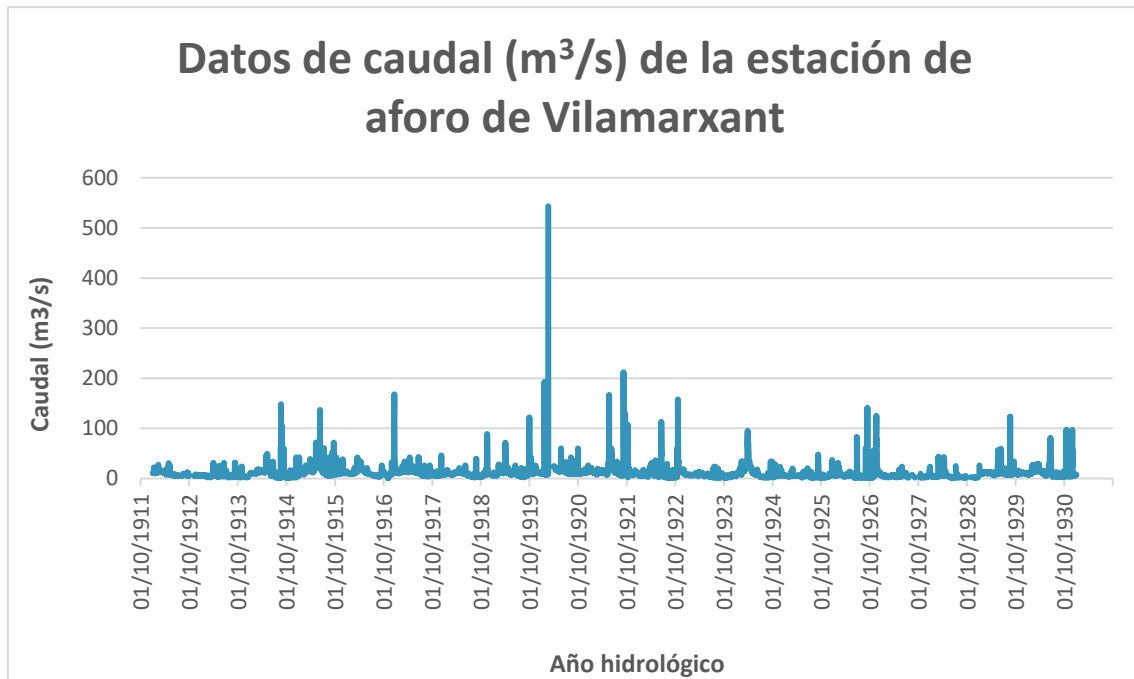


Figura 8. - Datos de caudal (m<sup>3</sup>/s) de la estación de aforo de Vilamarxant en el río Turia.

La segunda estación de aforo estudiada se sitúa en el término municipal de Vilamarxant. Sólo contamos con información desde 1911 hasta 1930, como se observa en la figura 8. A pesar del número reducido de datos, podemos ver cómo el régimen era bastante similar al observado en la estación de Bugarra, y por tanto se ha decidido utilizar esos valores para poder estudiar los cambios que han tenido lugar en el tramo correspondiente al término municipal de Vilamarxant.

A continuación, se presentan los gráficos con los datos de caudal de la salida del embalse principal de la zona (figura 9) y de los dos embalses secundarios (figuras 2 y 3, Anexo II) principales embalses de la zona, que afectan directamente a los tramos de estudio.

El embalse de mayor tamaño e importancia es el de Benagéber, con un volumen de 221,3 hm<sup>3</sup>, con su puesta en marcha en el año 1944, aunque los datos facilitados por la estación empiezan en el 1958. Aguas abajo, encontramos muy próximo el embalse de Loriguilla, con casi la mitad de su capacidad (75,3 hm<sup>3</sup>), y con un inicio posterior, en el 1968.

Por último, el embalse más pequeño es el de Buseo, localizado en el término municipal de Sot de Chera, con una capacidad de apenas 7,5 hm<sup>3</sup>, y también de construcción antigua,

en el 1944, aunque como ocurre con el de Benagéber, los primeros datos de salidas aparecen en el año 58.

Este último embalse no está construido en el mismo Turia, sino en un afluente, el río Sot, que se encuentra con el Turia aguas abajo del embalse de Loriguilla, y aguas arriba de la estación de aforo de Bugarra.

A continuación, se presenta la gráfica de los datos de caudal de la salida de la presa de Benagéber.

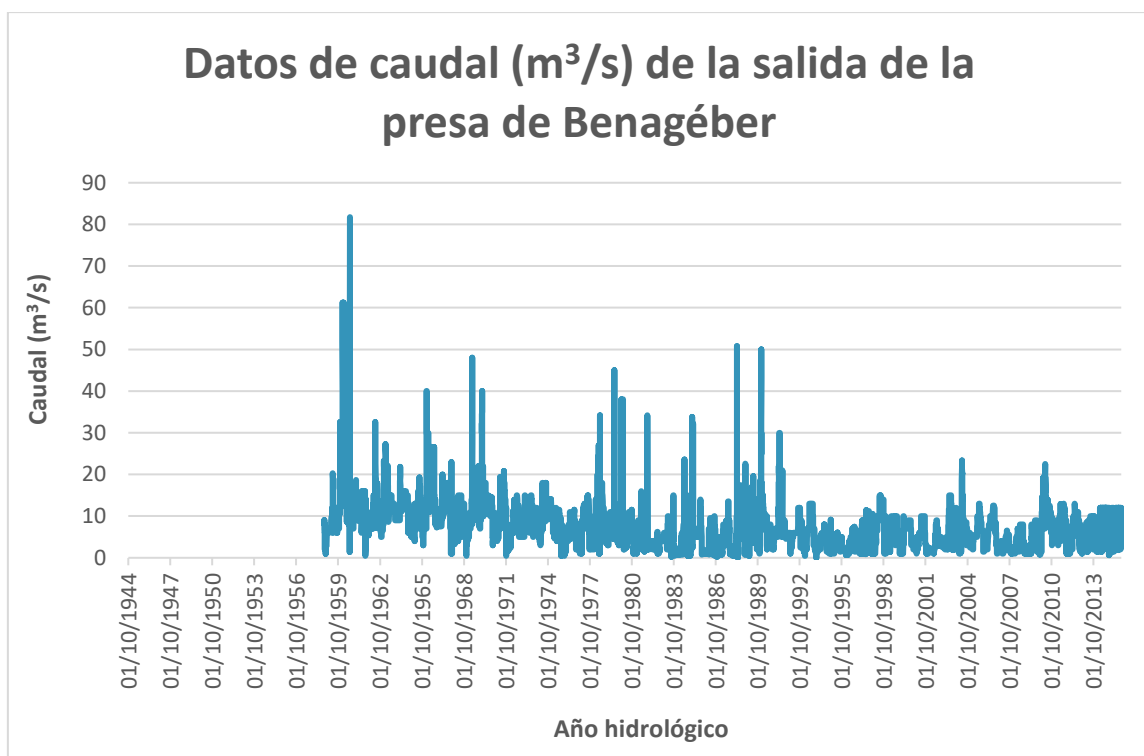


Figura 9. - Salidas medias diarias ( $m^3/s$ ) del embalse de Benagéber.

En la figura 9 se observa que la tendencia de la cantidad de agua liberada por la presa es descendente. También se observa como los picos de caudal liberado se van reduciendo con el paso del tiempo, tanto en cantidad de caudal como en frecuencia.

Vemos así que en el año 59 se superaron los  $80 m^3/s$ , desde el 62 hasta principios de los 90 los datos más elevados se encuentran entre los 30 y los  $50 m^3/s$ , y a partir de principios de los 90 sólo en 2 ocasiones se han superado los  $20 m^3/s$ .



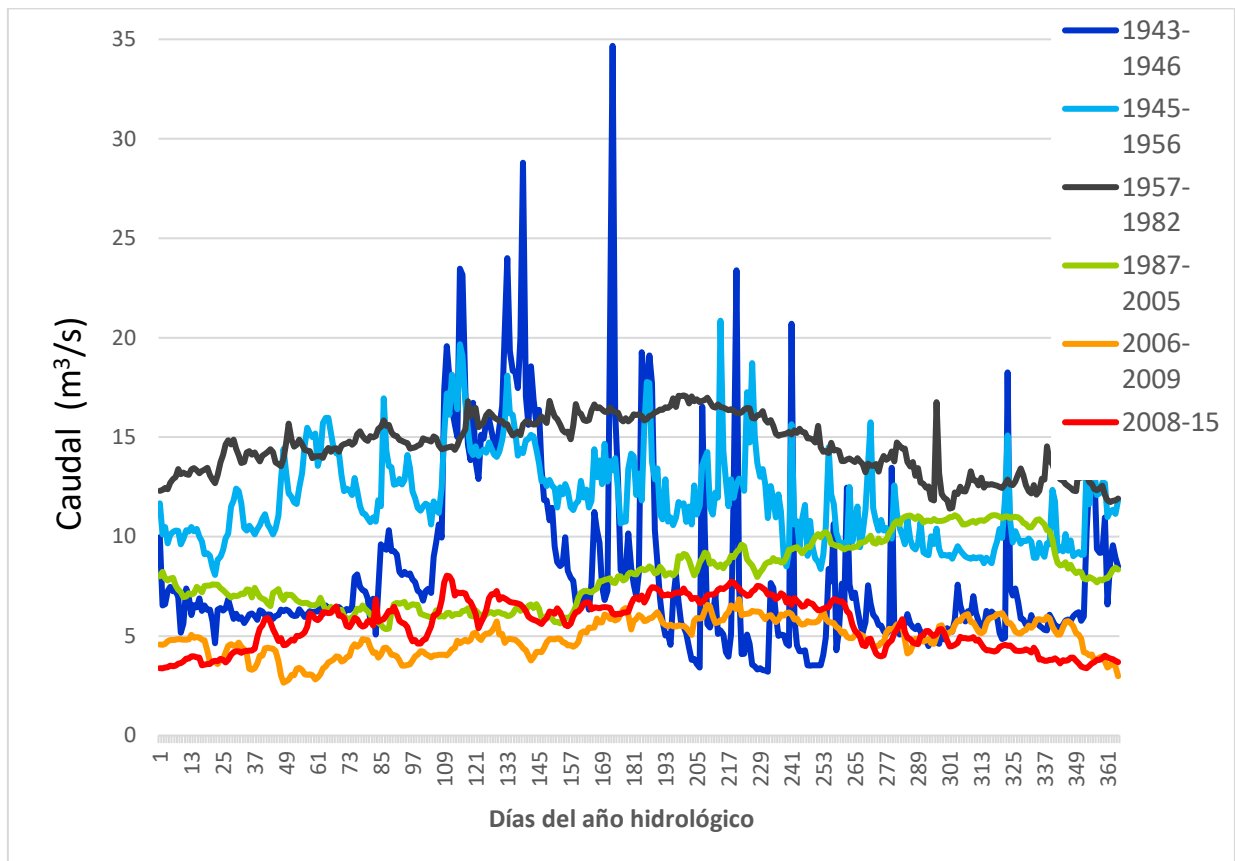


Figura 10. - Medias diarias de caudal (m<sup>3</sup>/s) de distintos intervalos de los años estudiados.

En la figura 10 se observa la comparación a lo largo del año hidrológico de las medias diarias de los periodos seleccionados: de 1943 al 1946, del 1945 al 1956, del 1957 al 1982, del 1987 al 2005, del 2006 al 2009 y del 2008 al 2015.

Los periodos se han seleccionado acorde a las imágenes de coberturas del suelo realizadas y a las variaciones en los regímenes de caudales que se han observado.

Así, podemos diferenciarlos en tres grandes grupos:

- Del 43 al 56, donde los caudales no estaban regulados, y podemos apreciar tanto una mayor cantidad de agua como unas máximas mucho mayores, así como mayor amplitud entre las máximas y las mínimas, además de destacar los picos de las avenidas, principalmente en el periodo del 1943 al 1946.
- Del 1957 al 1982. En este caso es únicamente un intervalo, pero se ha decidido destacarlo puesto que tiene unos caudales mucho mayores que el siguiente grupo de intervalos, pero sin embargo ya se encontraban claramente regulados, reduciendo la diferencia entre los valores máximos y mínimos entre 12 y 17 m<sup>3</sup>/s.

## Estudio de la evolución de la vegetación helófito y leñosa en dos tramos del río Turia

- Por último, del 1987 al 2015. Se observa cómo los caudales están completamente regulados, y además la cantidad de agua ha descendido mucho, encontrando la mayoría de valores por debajo de los 10m<sup>3</sup>/s. Destaca el periodo entre el 1987 y el 2005, por tener unos valores de caudal superiores, y a partir del 2005 se observa que la tendencia es claramente a la baja, manteniendo constante el flujo de agua, pero con unos valores entorno a 5m<sup>3</sup>/s.

En el Anexo III se incluyen unos gráficos (figuras 4-9) del caudal anual en distintos años, que al igual que la figura anterior, muestran esa evolución de los caudales a lo largo del tiempo.

### 5.2. Interpretación de las imágenes aéreas

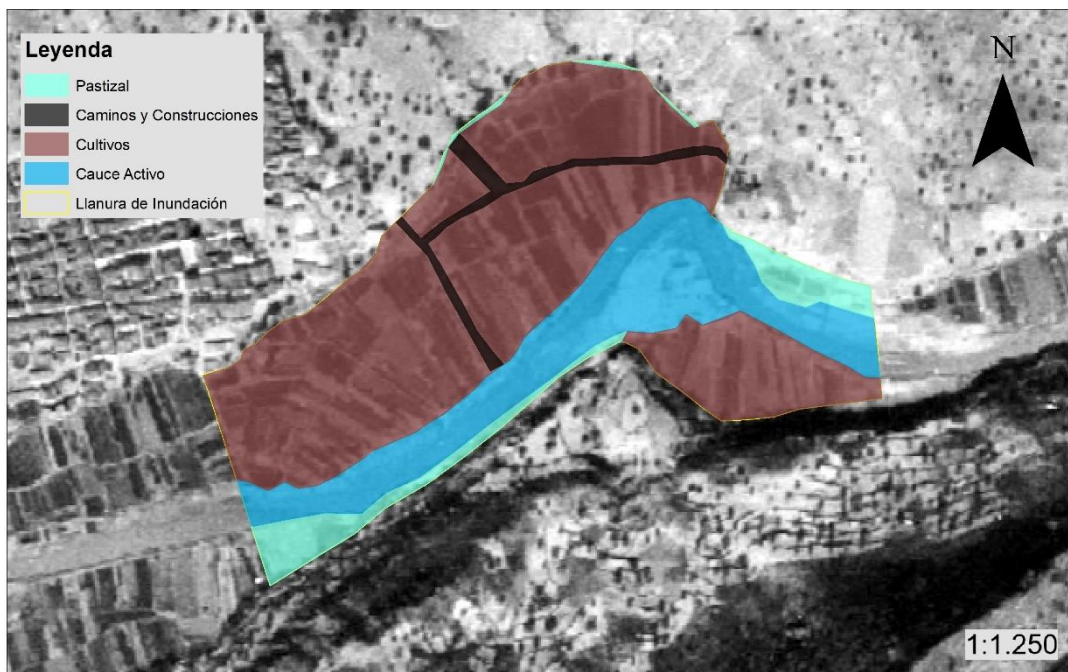


Figura 11. - Fotografía aérea del tramo de Bugarra de 1945, señalando los tipos de coberturas analizados.

El tramo de Bugarra, en 1945, se expone en la figura 11, donde se puede observar cómo la mayor parte del territorio está ocupada por campos de cultivo, siendo la superficie de pastizal muy escasa, y sin encontrar vegetación arbórea en el territorio estudiado.

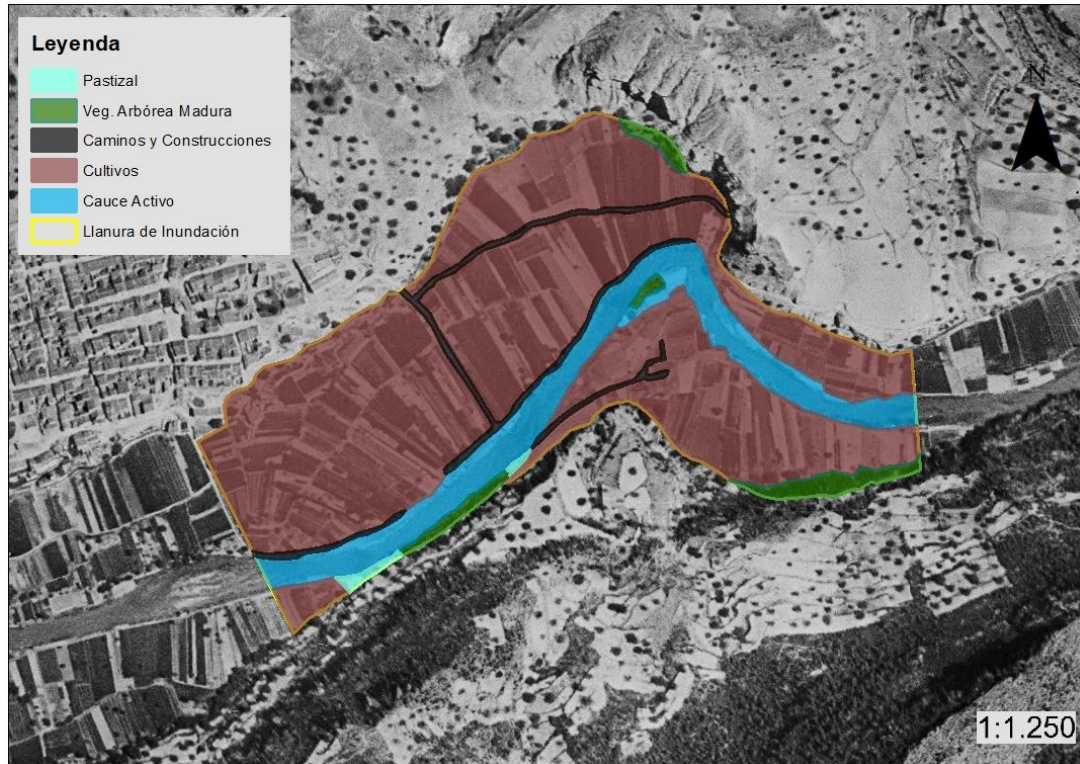


Figura 12. - Fotografía aérea del tramo de Bugarra de 1956, señalando los tipos de coberturas analizados.

La imagen aérea del tramo de Bugarra, en 1956, se expone en la figura 12, donde observamos un descenso notable del área de pastizal, ocupada por campos de cultivo. Es en esta imagen en la que aparece la vegetación arbórea, previsiblemente autóctona, y en zonas que o bien pertenecían a pastizal o a cultivos. En ambos casos, esta vegetación aparece principalmente en el borde del talud que delimita la llanura de inundación del tramo por la zona sur.

El área de cultivos ha aumentado, ocupando por un lado zona de pastizal, y por otra del cauce activo del río, en el meandro más cerrado del tramo, que pertenecía a una zona de gravas.

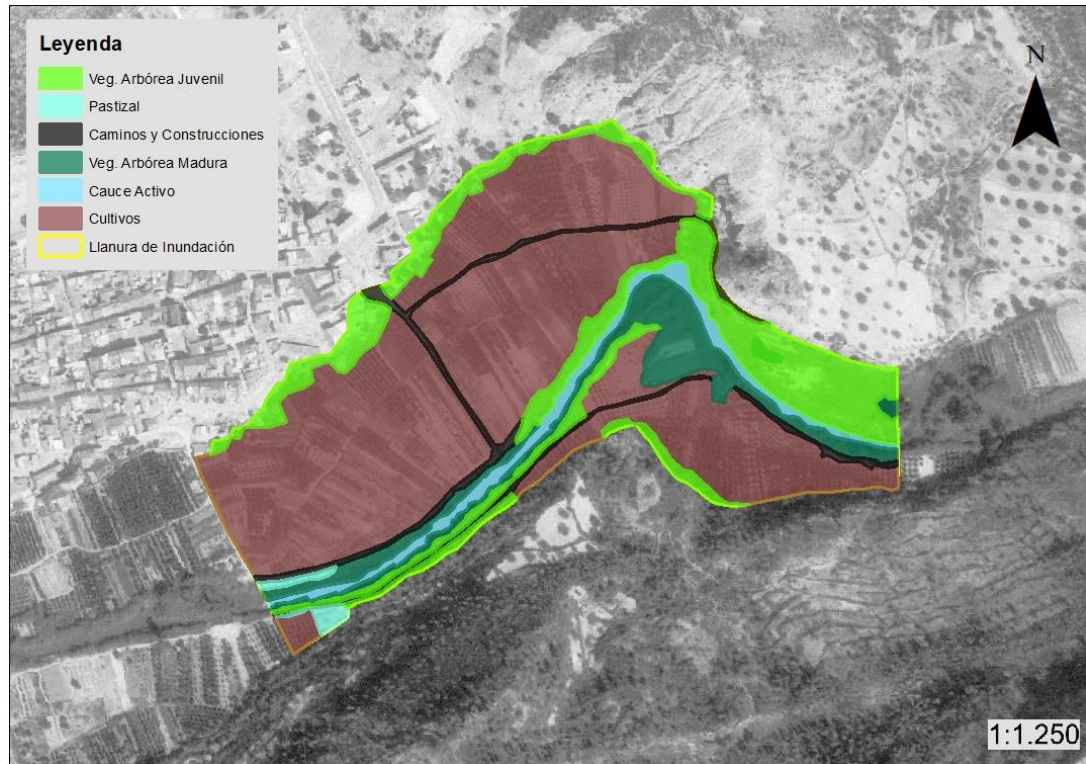


Figura 13. - Fotografía aérea del tramo de Bugarra del 1980 – 1986, señalando los tipos de coberturas analizados.

El tramo de Bugarra, en la década de los 80, se expone en la figura 13, donde tras un salto de entre 15 y 20 años, encontramos cómo la vegetación arbórea comienza a colonizar la zona de estudio. El área de cultivo desciende, aunque sigue ocupando la mayor parte del tramo, pero el descenso principal viene por parte del cauce activo, que pierde prácticamente todo su territorio. En este punto, la ribera del río está ocupada en su totalidad por vegetación autóctona, madura o juvenil.

Es en este punto en que se puede observar el cambio en el cauce, y como corrobora su gráfico, también en el caudal, previsiblemente por la aparición de los embalses, que regularon el régimen natural del río.

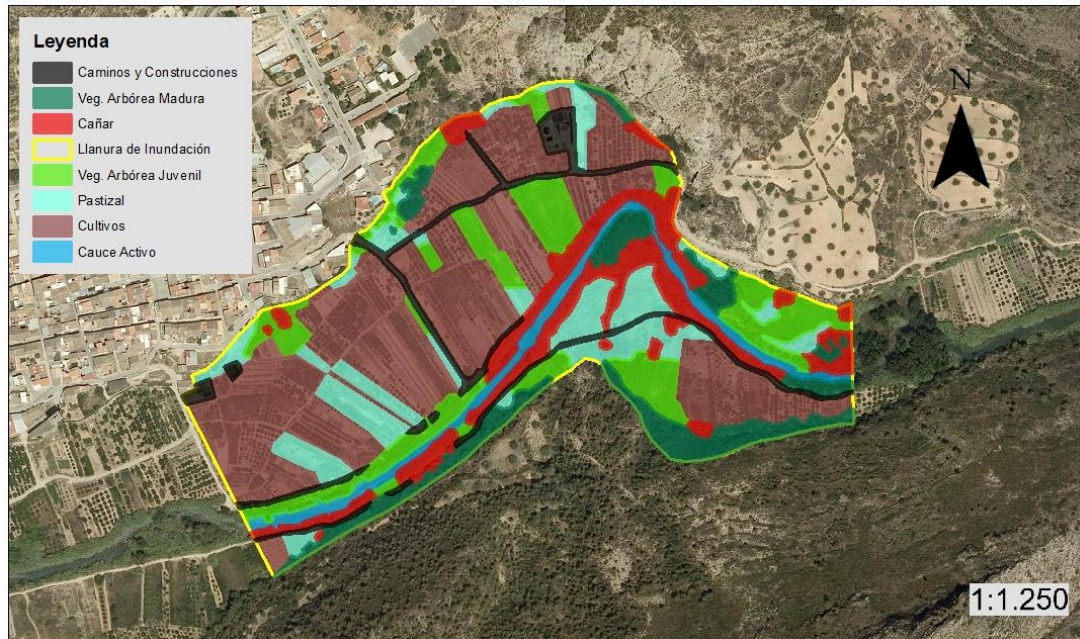


Figura 14. - Fotografía aérea del tramo de Bugarra de 2006, señalando los tipos de coberturas analizados.

La imagen aérea del tramo de Bugarra, en 2006, se expone en la figura 14. En esa década es cuando se aprecia el abandono de los cultivos, reduciéndose su extensión, pero siendo todavía el tipo de cobertura del suelo mayoritario en este tramo. El cauce activo se ha reducido todavía más, y es ahora cuando aparece por primera vez la caña (*Arundo donax*), especie exótica e invasora, que como se aprecia en la imagen, coloniza casi por completo la ribera del río, desplazando a la vegetación arbórea autóctona, tanto juvenil como madura, que en la década de los 80 se había establecido en el territorio.

Vemos cómo la vegetación arbórea todavía se encuentra en la zona de estudio, pero queda relegada a los márgenes de la llanura de inundación, en el talud o en la frontera con el municipio, pero ya prácticamente desaparecida de la ribera.

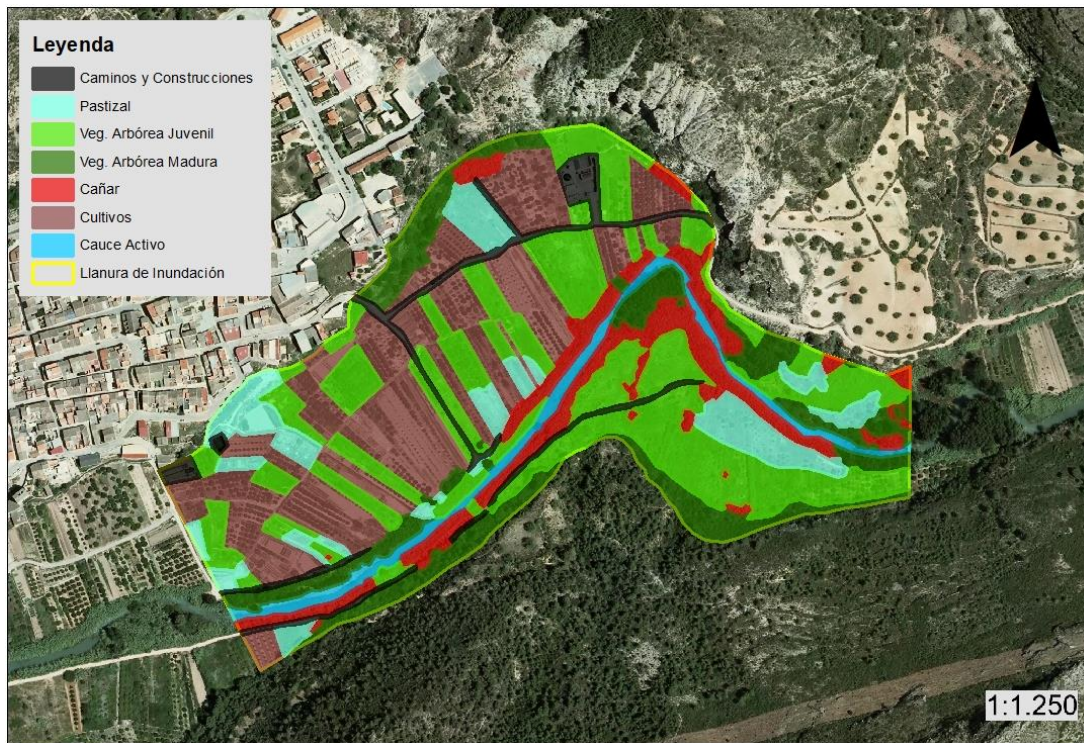


Figura 15. - Fotografía aérea del tramo de Bugarra de 2008, señalando los tipos de coberturas analizados.

El tramo de Bugarra, en 2008, se expone en la figura 15, donde se observa cómo los cultivos continúan desapareciendo, pero se observa que la caña tampoco aumenta, por lo que se presupone que se han llevado a cabo acciones de control y erradicación de la especie, puesto que no aumenta, como haría sin intervención humana. El tipo de cobertura que más se incrementa es la vegetación arbórea juvenil, debido principalmente al abandono de los cultivos, parcelas que están siendo colonizadas por la vegetación forestal, siguiendo la sucesión ecológica.

En estas dos últimas imágenes georreferenciadas se aprecia especialmente bien este fenómeno: parcelas de cultivo que habían pasado a ser pastizales en 2006, en 2008 han pasado a ser vegetación arbórea juvenil. En el caso del pastizal, algunas de las zonas que encontramos en 2008, en 2006 pertenecían a cultivos.

Imagen aérea del tramo de Bugarra, 2015:

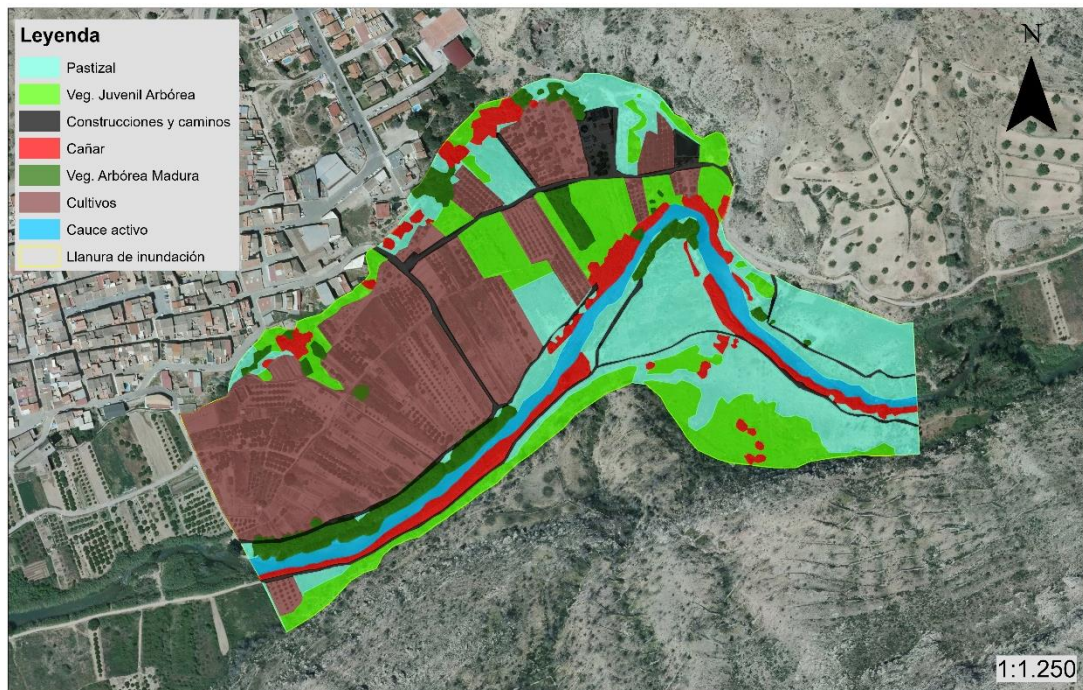


Figura 16. - Fotografía aérea del tramo de Bugarra de 2015, señalando los tipos de coberturas analizados.

La imagen aérea del tramo de Bugarra, en 2015, se expone en la figura 16, última imagen georreferenciada del tramo de Bugarra, y la más reciente, en la que se observa cómo las poblaciones de *Arundo donax* continúan siendo controladas. Se detectan más cambios: por un lado, parcelas de cultivo que habían sido transformadas a pastizal o vegetación arbórea y que han sido recuperadas por la acción antrópica, volviendo a ser parcelas agrícolas. Por otro lado, se observa un crecimiento importante de las zonas de pastizal, áreas que en 2008 pertenían principalmente a la vegetación arbórea juvenil, y también algunas pequeñas parcelas a vegetación arbórea madura.

Por su parte, la vegetación arbórea adulta que se encontraba en el talud ha sido también desplazada, transformada en vegetación arbórea juvenil, por lo que se presupone que en ese tramo se están llevando a cabo actuaciones de gestión de la vegetación que por un lado mantiene el control de la caña, y por otro de la vegetación autóctona.

A continuación, se pasa a interpretar las fotografías aéreas del tramo de Vilamarxant:

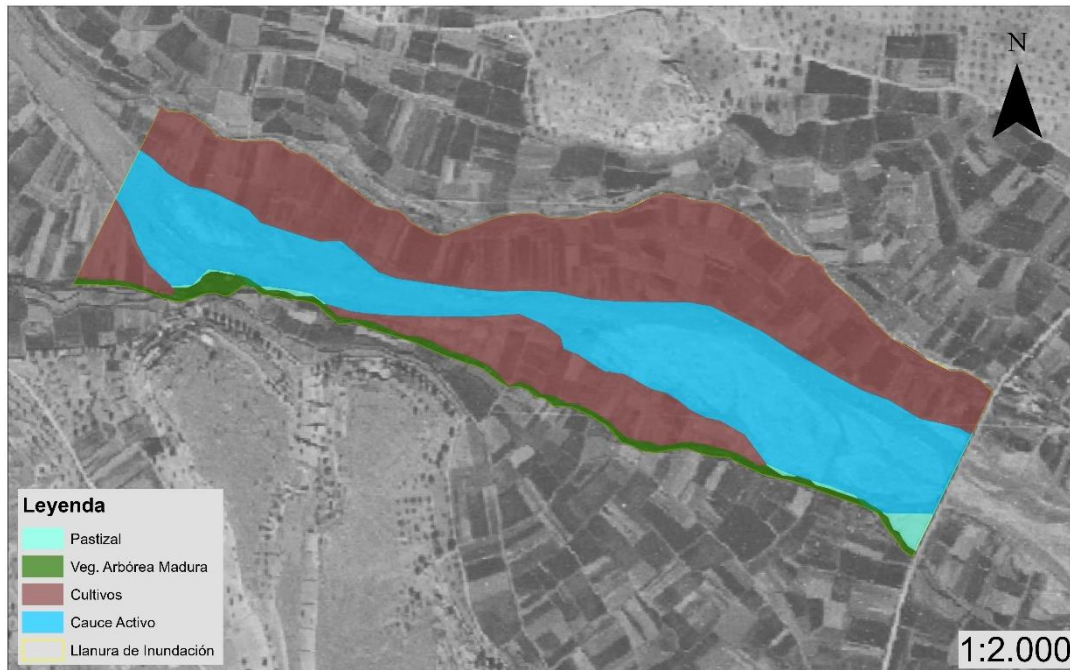


Figura 17. - Fotografía aérea del tramo de Vilamarxant de 1945, señalando los tipos de coberturas analizados.

El tramo de Vilamarxant, en 1945, se expone en la figura 17, donde de igual forma que ocurría con la primera fotografía de Bugarra, encontramos que son los cultivos quienes dominan las coberturas del suelo en esta zona, a excepción de unas pequeñas parcelas de pastizal.

También cabe destacar cómo la parte baja del talud sur está cubierta por un corredor de vegetación arbórea madura, que cumple una función imprescindible para la fauna terrestre y la avifauna.



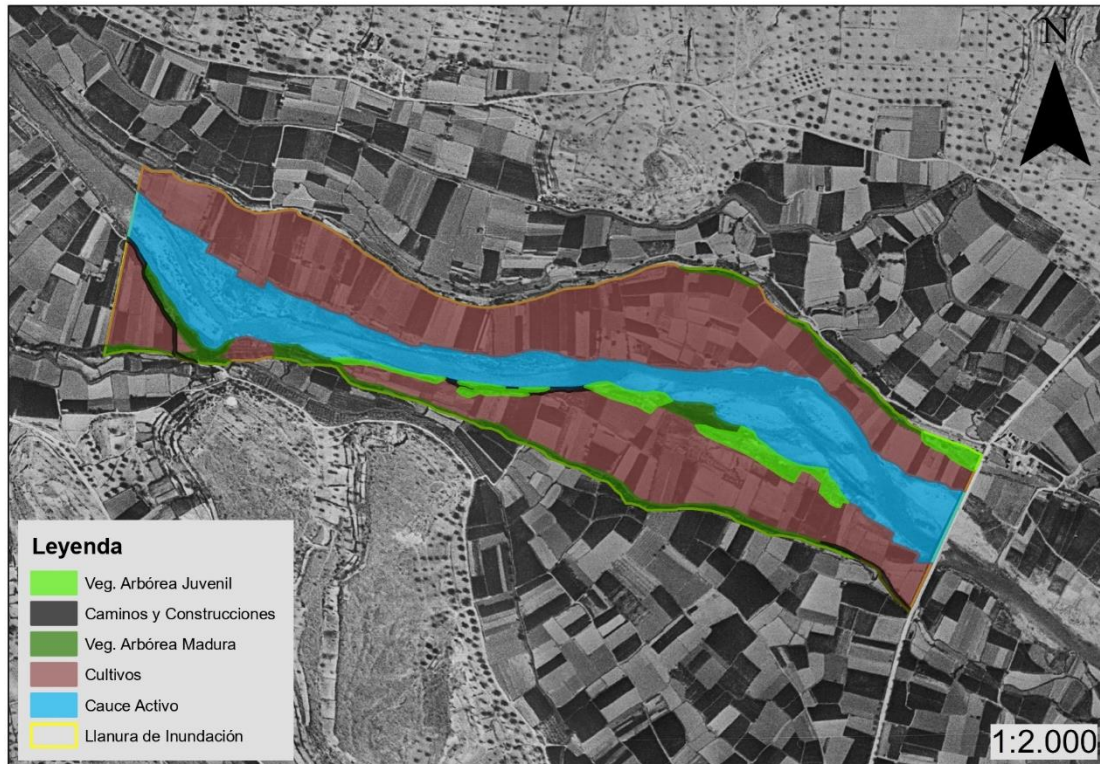


Figura 18. - Fotografía aérea del tramo de Vilamarxant de 1956, señalando los tipos de coberturas analizados.

La imagen aérea del tramo de Vilamarxant, en 1956, se expone en la figura 18, en la que se observa, en primer lugar, cómo el cauce activo del río disminuye ligeramente, las dos parcelas de pastizal desaparecen, y la masa forestal aumenta, tanto madura como juvenil, empezando ya a colonizar parte de las riberas del río.

La mayor parte de la extensión que encontramos continúa siendo dominada por los cultivos.

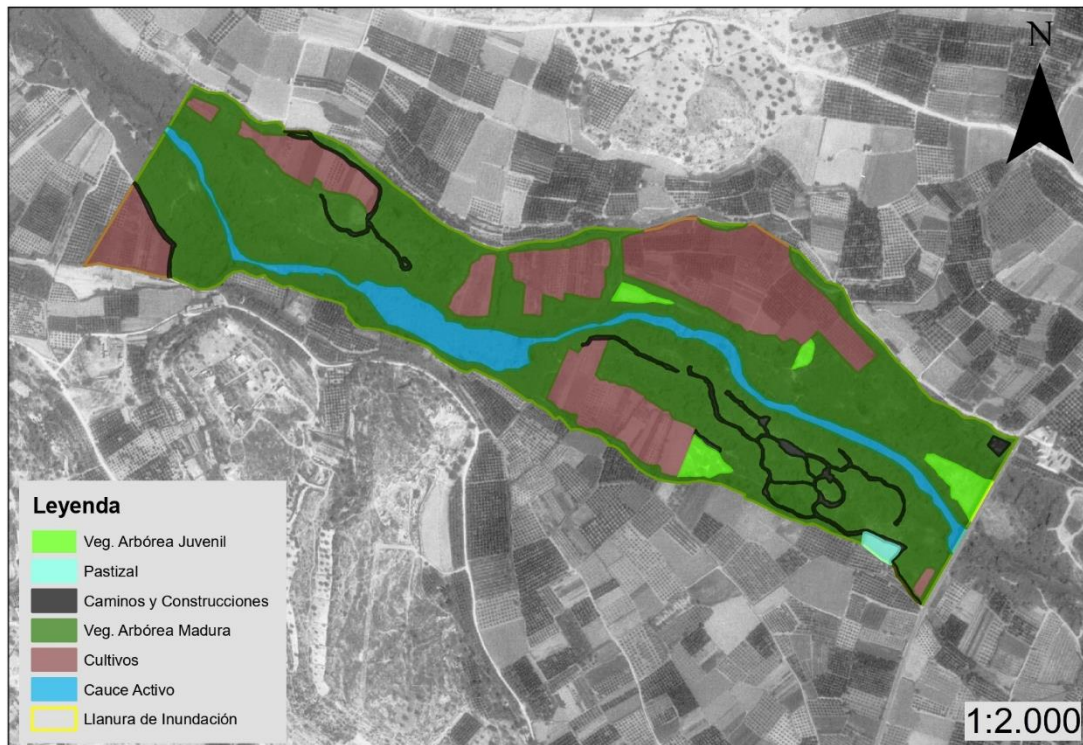


Figura 19. - Fotografía aérea del tramo de Vilamarxant de 1980 – 1986, señalando los tipos de coberturas analizados.

El tramo de Vilamarxant, en la década de 1980, se expone en la figura 19, en la que, como se puede observar, en el tiempo transcurrido entre la imagen anterior y esta misma, el cauce activo pierde prácticamente toda su superficie, manteniendo un estrecho cauce que sólo ensancha debido a una zona de gravas. Coincide de nuevo este periodo de transformación del cauce fluvial con la puesta en marcha de los embalses.

Por otro lado, la mayor parte de los cultivos han desaparecido, transformándose en vegetación arbórea, principalmente madura, la cual domina por completo las riberas del río.

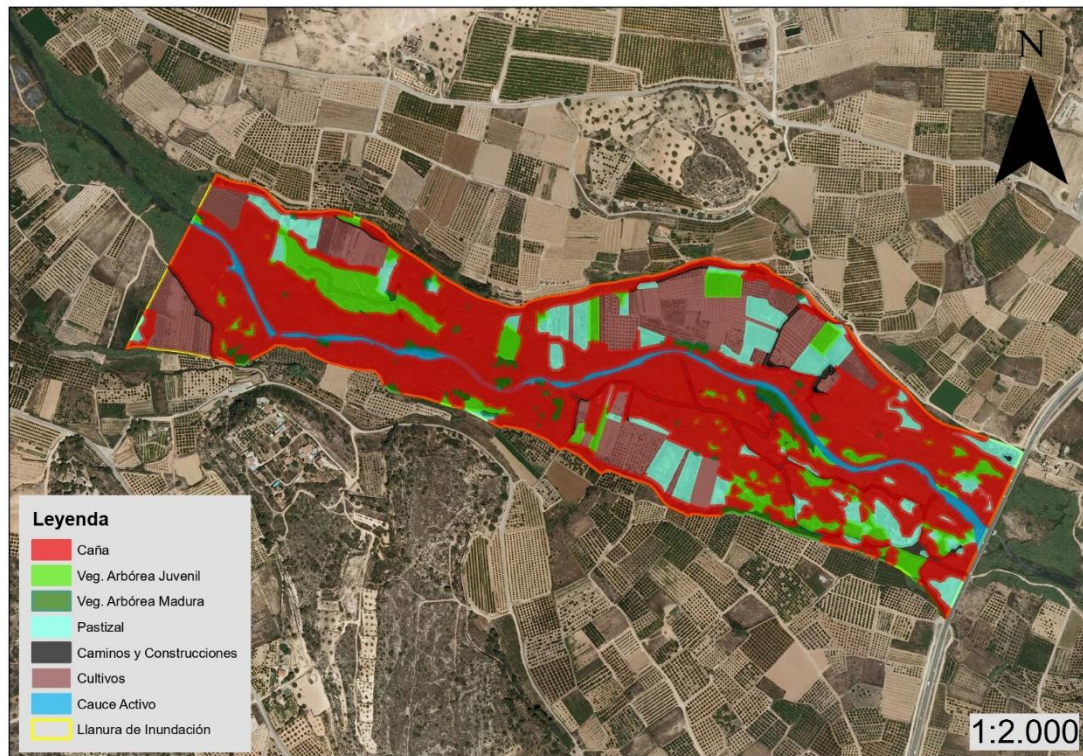


Figura 20. - Fotografía aérea del tramo de Vilamarxant de 2006, señalando los tipos de coberturas analizados.

La imagen aérea del tramo de Vilamarxant, en 2006, se expone en la figura 20, en la que encontramos que casi el 80% del territorio está dominado por la caña (*Arundo donax*), desplazando por completo la vegetación arbórea madura y dejando pequeñas parcelas aisladas de vegetación arbórea juvenil y pastizal. También encontramos unas pocas parcelas de cultivo. Y, por último, el cauce activo ha perdido esa zona de ensanchamiento dominado por gravas, y ha estrechado todavía más su cauce.

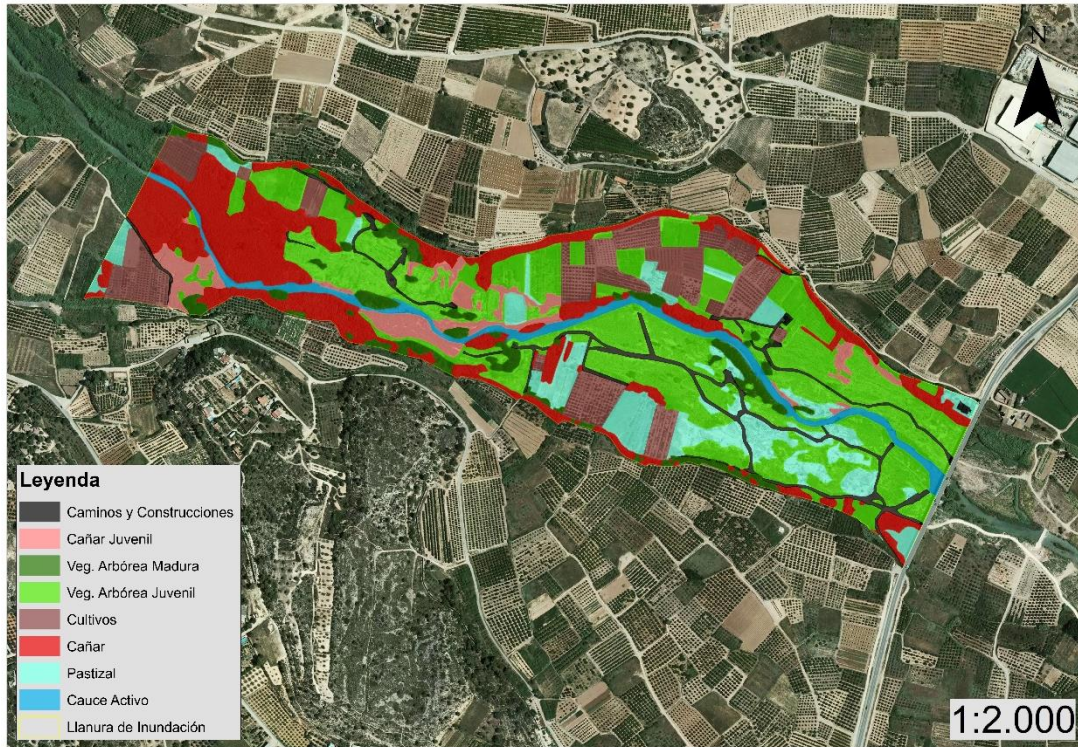


Figura 21. - Fotografía aérea del tramo de Vilamarxant de 2008, señalando los tipos de coberturas analizados.

El tramo de Vilamarxant, en 2008, se expone en la figura 21, en la que dos años después, se observa un paisaje completamente diferente. La caña ha desaparecido de la mayor parte del territorio, siendo sustituida en mayor parte por vegetación arbórea juvenil, y en menor grado por cañar juvenil. En estas parcelas se han llevado a cabo actuaciones de control y erradicación de *Arundo donax*, mediante la extracción mecánica de rizomas, enmarcado dentro del proyecto del Parque Fluvial del Turia y financiados en gran parte por fondos FEDER. Pero debido a una actuación deficiente y la ausencia de mantenimiento, la caña volvió a rebrotar.

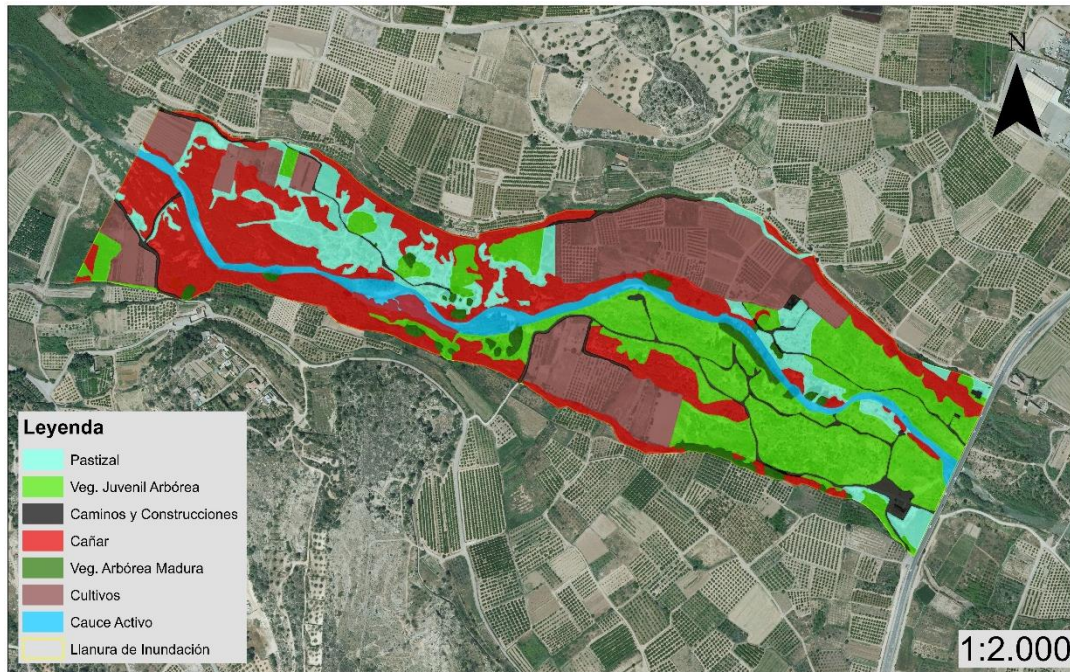


Figura 22. - Fotografía aérea del tramo de Vilamarxant de 2015, señalando los tipos de coberturas analizados.

La imagen aérea del tramo de Vilamarxant, en 2015, se expone en la figura 22, en la que se observa cómo las zonas que pertenecían a cañar juvenil se han transformado en cañar adulto. La vegetación arbórea juvenil ha aumentado invadiendo parcelas antes ocupadas por pastizal, pero sin embargo ha visto reducida su superficie por el avance de *Arundo donax*. En otras zonas del tramo, además, vemos cómo se ha dado el proceso contrario, y ha sido el pastizal quien ha colonizado algunas de las parcelas.

La explicación que se propone a la rápida y efectiva colonización por parte de la caña a la gran extensión de territorio fluvial es que distintas partes de la planta, especialmente los rizomas, son transportados por el río en las avenidas y cuando son depositados, enraízan, creando un nuevo cañaveral, que como se ha descrito en la instrucción, serían individuos idénticos genéticamente hablando.

### 5.3. Análisis de la evolución de las coberturas del suelo

A continuación, se han elaborado dos gráficos (figuras 23 y 24), de forma que se observa claramente la evolución de la vegetación y de la acción humana que ha tenido lugar en el territorio. Los datos de la superficie que ocupa cada una de las coberturas del suelo que se han visto en las fotografías anteriores se encuentran en las tablas 1 y 2 del Anexo IV.

En las imágenes georreferenciadas se han diferenciado más coberturas de las que encontramos en las tablas, puesto que se ha decidido agruparlas, de forma que:

- *Veg. Leñosa* aglutina las hectáreas de vegetación madura y cañar.
- *Antrópico* aglutina las hectáreas de caminos y construcciones, y cultivos.

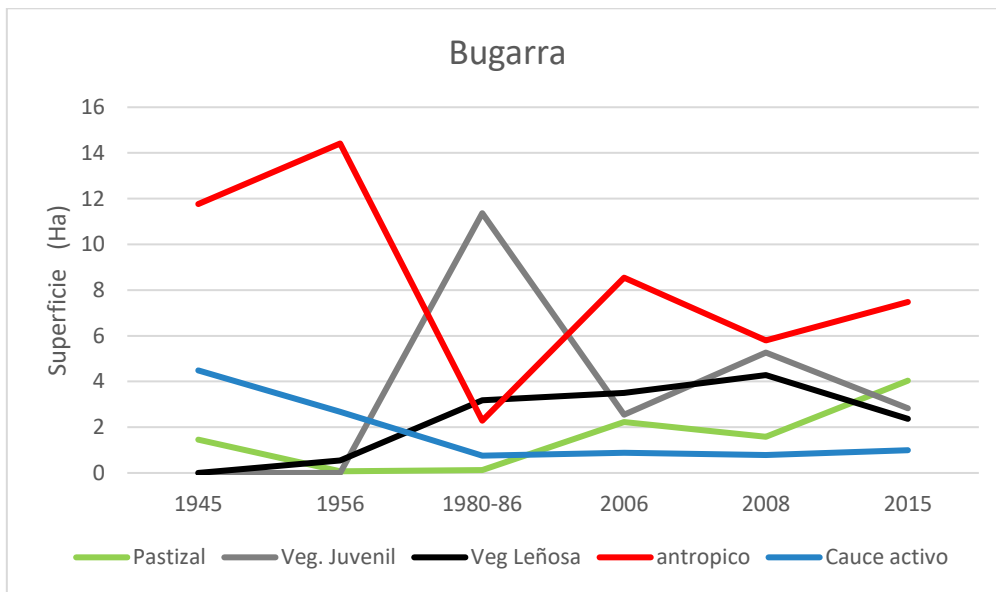


Figura 23. - Evolución de la superficie (ha) ocupada por las distintas coberturas del suelo en el tramo de estudio de Bugarra.

En la figura 23 se observa lo que se ha explicado en las fotografías aéreas del tramo de Bugarra. Vemos las fluctuaciones en cuanto a la ocupación del territorio por parte de las distintas coberturas. La tendencia que parece reflejar el gráfico es que la vegetación leñosa y juvenil caen, mientras el pastizal parece que ocupa el territorio, y el cauce activo está completamente controlado, siendo quien menos espacio ocupa dentro del área de estudio. Por último, son las ocupaciones antrópicas (caminos y construcciones, y cultivos) quienes predominan.

Estudio de la evolución de la vegetación helófito y leñosa en dos tramos del río Turia

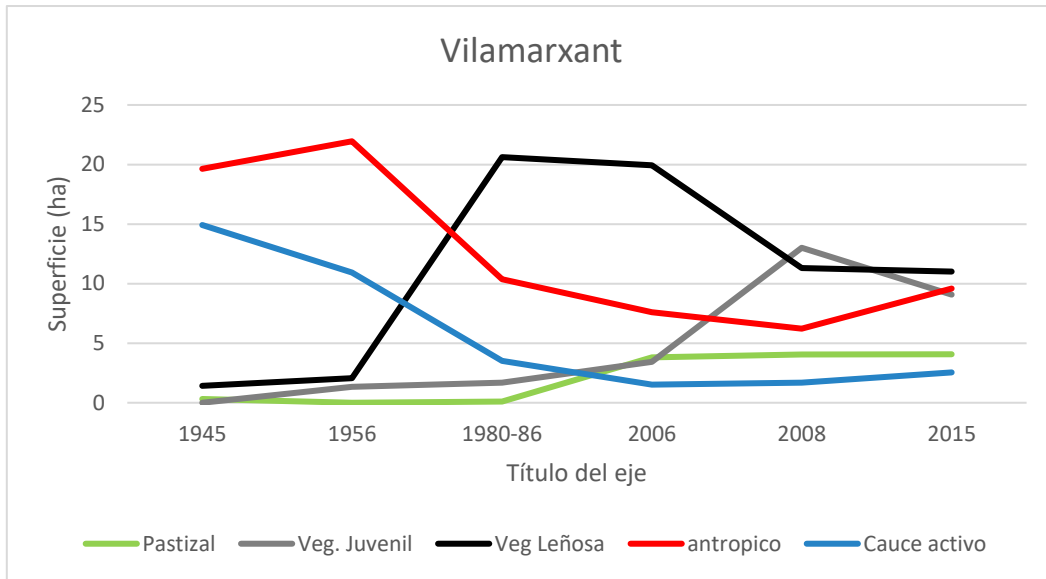


Figura 24. - Evolución de la superficie (ha) ocupada por las distintas coberturas del suelo en el tramo de estudio de Vilamarxant.

En la figura 24, se observa lo explicado anteriormente en las imágenes aéreas correspondientes. El cauce fluvial sigue siendo quien menos ocupa, aunque parece que en este tramo muestra una ligera tendencia de aumento. El pastizal tiene una ocupación mucho menor que en el tramo anterior, y la ocupación antrópica, que tiene una tendencia positiva, supera ligeramente la ocupación de la vegetación juvenil y se aproxima mucho a la de la vegetación leñosa.

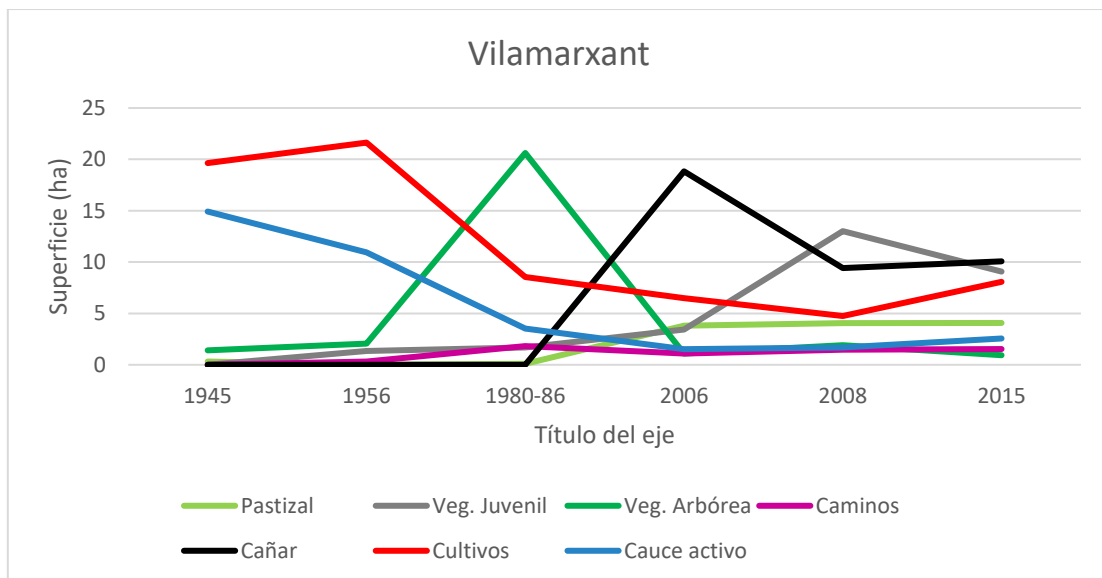


Figura 25. - Evolución de la superficie (ha) ocupada por las distintas coberturas del suelo en el tramo de estudio de Vilamarxant.

En la figura 25 se muestra la evolución de la superficie de las distintas coberturas en el tramo de Vilamarxant debido a que se considera importante reflejar que la elevada ocupación que se reflejaba anteriormente por parte de la vegetación leñosa no es debido a la vegetación arbórea sino a la gran extensión de cañar, como también se observa en las tablas y en las fotografías aéreas, que es la cobertura predominante en el 2015 en dicho tramo.

#### 5.4. Relación de las variables estudiadas

En la tabla 3 se representan los valores obtenidos del análisis estadístico de los caudales, que son los valores que se han utilizado para el posterior análisis de regresión. Estos periodos se caracterizan por (ver figura 10):

- 1943-1956: escasa regulación con crecidas marcadas
- 1957-1982: regulación durante periodo de abundantes precipitaciones (caudales medios - máximos).
- 1987-2005: transición con regulación fuerte. Valores más bajos que los anteriores, pero más altos que los últimos.
- 2006-2015: Regulación muy intensa y caudales muy bajos, debido a la derivación de agua.

Tabla 3.- Medias de cada parámetro estadístico en los distintos periodos estudiados.

|                        | 1943-1946 | 1945-1956 | 1957-1982 | 1987-2005 | 2006-2009 | 2008-2015 |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Qmax</i>            | 75,7      | 55,7      | 33,7      | 16,7      | 8,7       | 11,9      |
| <i>Qmedia</i>          | 8,2       | 11,9      | 14,7      | 8,1       | 4,9       | 5,6       |
| <i>Qmin</i>            | 1,6       | 4,3       | 8,2       | 3,9       | 2,5       | 2,0       |
| <i>P90</i>             | 15,4      | 19,1      | 19,5      | 11,9      | 7,3       | 8,3       |
| <i>P75</i>             | 8,4       | 13,8      | 16,7      | 10,3      | 6,4       | 7,0       |
| <i>Qmediana</i>        | 5,8       | 10,1      | 14,5      | 7,8       | 4,8       | 5,7       |
| <i>P10</i>             | 3,6       | 6,7       | 9,9       | 4,5       | 2,8       | 3,0       |
| <i>Nº crecidas</i>     | 25,5      | 54,5      | 115,2     | 8,1       | 0,0       | 3,4       |
| <i>Coef. Variación</i> | 1,0       | 0,6       | 0,3       | 0,4       | 0,4       | 0,4       |



Se ha pretendido relacionar estos parámetros de caudal con las hectáreas de superficie de las distintas coberturas, para tratar de encontrar una relación entre los cambios en el régimen hídrico y el tipo de coberturas mediante los gráficos de dispersión.

Sólo se han seleccionado las gráficas de los parámetros hidrológicos donde se han encontrado regresiones significativas con las coberturas de la vegetación. En la Tabla 4 se presentan los valores del  $R^2$  ajustado y su probabilidad de significación estadística

Las figuras 26 – 29 corresponden a 4 gráficos de los dos tramos de estudio seleccionados, con relaciones significativas. Los parámetros hidrológicos que han resultado significativos son los valores máximos de caudal y el coeficiente de variación de caudal de ambos tramos.

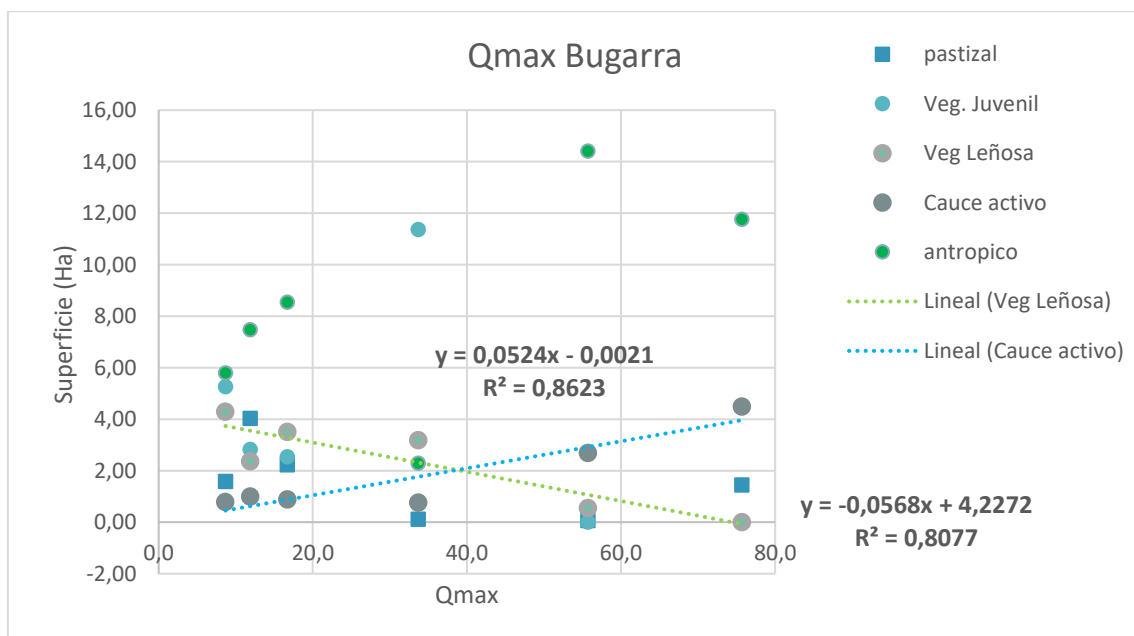


Figura 26. - Relación entre los valores máximos de caudal y la superficie (ha) de las coberturas del suelo en el tramo de Bugarra.

En la figura 26 se relacionan los valores máximos de caudal con la superficie en hectáreas de las distintas coberturas. Tras estudiarlas, se ha visto que hay una elevada relación entre los valores máximos de caudal y el aumento de la superficie del cauce activo ( $R^2 = 0.8623$ ), y la relación a la inversa en lo que respecta a la vegetación leñosa ( $R^2 = 0.8077$ ), por tanto, a mayores valores de caudal, mayor descenso de esta vegetación.

Estudio de la evolución de la vegetación helófito y leñosa en dos tramos del río Turia

Tabla 4.- Significación estadística de las regresiones de los Caudales máximos anuales ( $Q_{max}$ ) y Coeficiente de variación intra-anual (C.V.) con las coberturas del cauce por Pastos, Vegetación juvenil, Vegetación leñosa adulta, actuaciones antrópicas y área del Cauce activo.

| BUGARRA     |                 |                     |                   |                  |                     |
|-------------|-----------------|---------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| <b>Qmax</b> | <b>Pastizal</b> | <b>Veg. Juvenil</b> | <b>Veg Leñosa</b> | <b>Antropico</b> | <b>Cauce activo</b> |
| R2 ajustado | 0.087           | -0.037              | <b>0.759</b>      | 0.223            | <b>0.828</b>        |
| p-Valor     | 0.291           | 0.416               | <b>0.015</b>      | 0.194            | <b>0.007</b>        |
|             |                 |                     | *                 |                  | **                  |
| <b>C.V.</b> |                 |                     |                   |                  |                     |
| R2 ajustado | -0.231          | 0.326               | <b>0.625</b>      | 0.36             | <b>0.957</b>        |
| p-Valor     | 0.815           | 0.138               | <b>0.038</b>      | 0.123            | <b>0</b>            |
|             |                 |                     | *                 |                  | ***                 |
| VILAMARXANT |                 |                     |                   |                  |                     |
| <b>Qmax</b> | <b>Pastizal</b> | <b>Veg. Juvenil</b> | <b>Veg Leñosa</b> | <b>Antropico</b> | <b>Cauce activo</b> |
| R2 ajustado | <b>0.654</b>    | <b>0.545</b>        | 0.326             | <b>0.794</b>     | <b>0.93</b>         |
| p-Valor     | <b>0.032</b>    | <b>0.057</b>        | 0.138             | <b>0.011</b>     | <b>0.001</b>        |
|             | *               | .                   |                   | *                | **                  |
| <b>C.V.</b> |                 |                     |                   |                  |                     |
| R2 ajustado | 0.021           | 0.051               | <b>0.557</b>      | <b>0.457</b>     | <b>0.811</b>        |
| p-Valor     | 0.325           | 0.323               | <b>0.054</b>      | <b>0.085</b>     | <b>0.009</b>        |
|             |                 |                     | .                 | .                | **                  |
| Codigos:    | *** P<0.001     | ** P<0.01           | * P<0.05          | . P<0.1          |                     |

En la figura 27 se muestra la comparación de los valores del coeficiente de variación intra-anual de caudales con la superficie de las distintas coberturas, así, hemos

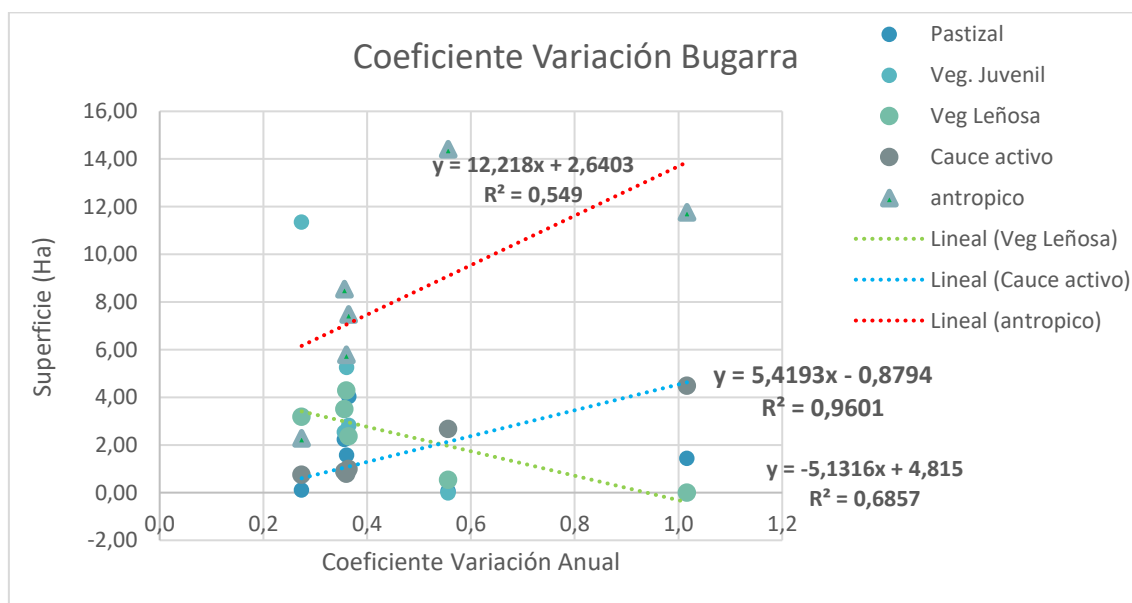


Figura 27. - Relación entre el coeficiente de variación anual y la superficie (ha) de las coberturas del suelo en el tramo de Bugarra.

encontramos una relación directa entre una mayor variabilidad intra-anual de caudales y un aumento de la superficie del cauce activo ( $R^2 = 0.9601$ ).

Se ha destacado también la relación entre un aumento de la variabilidad de caudales y el aumento de la superficie de ocupación antrópica ( $R^2 = 0.549$ ), y un aumento de dicho coeficiente de variación con un descenso de la vegetación leñosa ( $R^2 = 0.6857$ ). Pero se debe remarcar que estas dos últimas relaciones no son tan fuertes.

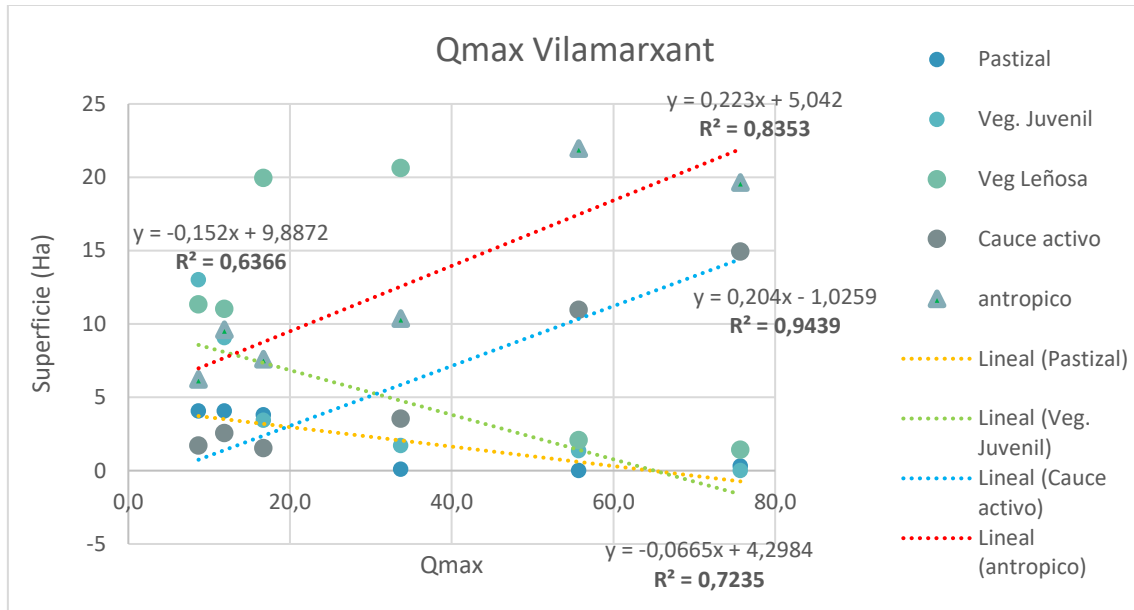


Figura 28. - Relación entre los valores máximos de caudal y la superficie (ha) de las coberturas del suelo en el tramo de Vilamarxant.

En la figura 28 repetimos el procedimiento con el tramo de Vilamarxant. En este caso encontramos una estrecha relación entre el aumento de caudales máximos y el aumento por un lado del cauce activo ( $R^2 = 0.9439$ ), y el descenso por otro lado de la superficie ocupada por el pastizal ( $R^2 = 0.7235$ ). En tercer lugar, se encuentra relación entre el aumento de caudales máximos y el aumento de la superficie ocupada por actividades humanas ( $R^2 = 0.8353$ ), y, por último, se encuentra una relación menos directa entre el aumento de estos datos de caudales y el descenso de la vegetación juvenil ( $R^2 = 0.6366$ ).

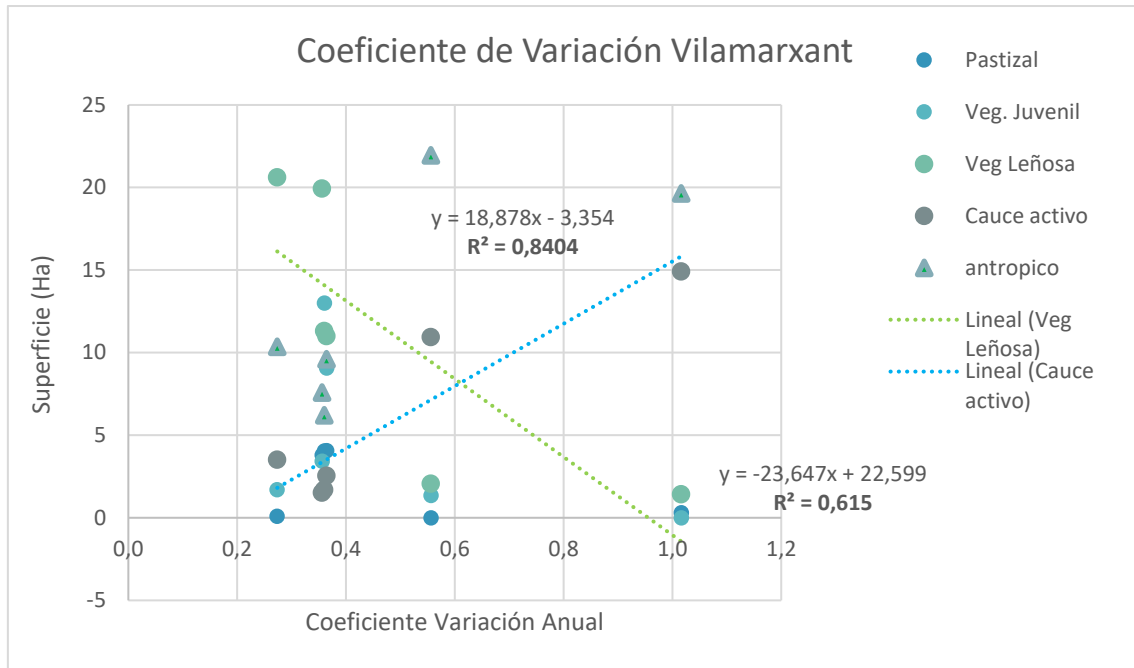


Figura 29. Relación entre el coeficiente de variación anual y la superficie (ha) de las coberturas del suelo en el tramo de Vilamarxant.

En la figura 29 encontramos una relación estrecha entre el aumento del coeficiente de variabilidad intra-anual de caudales del tramo con el aumento del cauce activo ( $R^2 = 0.8404$ ), y una relación menos importante entre el aumento de dicho coeficiente y el descenso de la vegetación leñosa ( $R^2 = 0.615$ ).

Las conclusiones que sacamos del análisis de estos datos y gráficas es que parece demostrado que las avenidas, y un aumento del caudal en general, propician un aumento de la superficie del cauce activo.

## 6. Discusión

La regulación de los caudales de los ríos, principalmente de los países del norte, es un hecho constatado desde la década de los 50. La construcción y puesta en marcha de presas, diques y embalses afecta de forma directa al régimen fluvial, pero de forma indirecta a muchos otros factores y elementos de los ecosistemas riparios, tanto físicos (Boix-Fayos et al., 2007; Nelson et al., 2013) como biológicos (Merritt et al., 2000; González del Tánago et al., 2016). De hecho, en España, las presas y embalses se consideran la principal causa de la modificación de las masas de agua continentales (González del Tánago et al., 2015). Es fácil encontrar gran cantidad de literatura científica al respecto, tanto nacional como internacional.

Este estudio se ha centrado en los datos de caudal, y en la evolución de los distintos usos del suelo y coberturas de vegetación mediante la interpretación de imágenes aéreas y satelitales, pero son muchos los factores que no se han tenido en cuenta bien como vectores de cambio (precipitación, aumento de temperaturas), aumento de la eutrofización de las aguas, o bien como factores modificados (escorrentía superficial, sedimentación).

Debido a que la puesta en marcha de estas barreras artificiales es relativamente reciente, es muy probable que no conozcamos todos los efectos que estas pueden tener sobre la vegetación (González et al., 2010), además de ser mucho más complejos de predecir, a diferencia de otros que han sido muy estudiados, como la modificación de los regímenes fluviales (Merritt et al., 2000).

Son muchos los estudios que se han hecho al respecto, y muchos los autores que hablan de diferentes consecuencias. Así, Gordon et al., (2006), afirma que la desaparición del hábitat ripario en sustitución de otros usos como la agricultura, puede provocar un aumento de la escorrentía superficial, que puede tener como consecuencia la desestabilización de los cauces y la llegada de sedimentos finos que pueden afectar a las puestas de la ictiofauna y aumentar los compuestos orgánicos disueltos.

Nuestros resultados detectan una clara disminución del cauce activo del río Turia a lo largo del periodo estudiado, tanto en el tramo de Bugarra como el de Vilamaxant. Esta disminución del cauce activo de los ríos ya ha sido citada por otros autores (García de Jalón et al., 2020). Además, hemos visto que la disminución del cauce del Turia está

relacionado significativamente con la disminución de los caudales máximos anuales y la variabilidad intra-anual de los caudales.

Por el contrario, la cobertura de pastos dentro del cauce del Turia ha aumentado en ambos tramos, aunque sólo en el caso del tramo de Vilamarxant está relacionado con la disminución de los caudales máximos anuales.

La vegetación leñosa aumenta su cobertura del cauce a lo largo del tiempo en el de Bugarra, y en este tramo está claramente relacionado con la disminución de caudales máximos. En el caso de Vilamarxant encontramos que la vegetación leñosa inicialmente también aumenta, pero luego disminuye. Si observamos la figura 26 donde separamos la vegetación arbórea del cañizar, vemos que la primera se desarrolla inicialmente hasta 1986 y a partir de entonces es sustituida por un denso cañizar. Las campañas para la erradicación de la caña hacen que a partir de 2008 la vegetación leñosa se haya reducido, y quizás es por ello por lo que no encontramos esa relación con los caudales máximos.

La cobertura de la vegetación juvenil muestra una respuesta diferente en ambos tramos, fluctuando en Bugarra, mientras que en Vilamarxant aumenta y en este tramo su aumento está relacionado con la disminución de los caudales máximos.

La superficie del cauce ocupada por actividades antrópicas también muestra una respuesta diferente en ambos tramos, fluctuando en Bugarra, mientras que en Vilamarxant disminuye con el tiempo. En Bugarra la fluctuación es inversa a la de la vegetación juvenil y muestra una relación inversa con la variabilidad de caudales. Por el contrario, en Vilamarxant las zonas antrópicas curiosamente muestran una relación directa con los caudales máximos, aunque entendemos que esta no es causal y lo atribuimos a que en las últimas décadas el tramo está protegido con una figura de conservación.

En la literatura revisada no hemos encontrado artículos que ratifiquen nuestros resultados, pero sí algunos relacionados, como podría ser el aumento de la vegetación juvenil debido al descenso de los caudales (Geerling et al., 2016); el aumento de especies arbustivas pioneras debido al aumento de la regulación del caudal (Bejarano et al., 2012); el aumento de la vegetación ribereña y el declive de la vegetación herbácea debido a la fluctuación en el caudal del río (Stromberg et al., 2007); o el aumento de la variabilidad de especies en parcelas afectadas por regímenes fluviales naturales frente a las parcelas afectadas por regímenes fluviales regulados (Rivaes et al., 2015).

En lo que respecta a las especies exóticas, y en concreto a *Arundo donax*, la regulación del flujo por las infraestructuras de control de caudal provoca una alteración en la morfología del canal y en la comunidad vegetal, pudiendo afectar a la evolución de la vegetación de ribera, facilitando un mayor éxito en la colonización de las especies alóctonas, reduciendo así la biodiversidad (García et al., 2018). Por otro lado, la aparición e invasión de la caña puede afectar a las comunidades de fauna terrestre, como es el caso de la presencia de invertebrados y sus consecuencias en la cadena trófica (Herrera et al., 2003; Maceda-Veiga et al., 2016).

La evolución reseñable, principalmente en el tramo de Vilamarxant, es precisamente el éxito en la ocupación por parte de la vegetación de las zonas ocupadas por el ser humano. Esta evolución se posibilita gracias al éxodo rural, proceso social vivido en España a partir de los años 50 del siglo pasado, en el cual un porcentaje muy elevado de los habitantes de los municipios más pequeños y rurales pasaron a vivir a las ciudades. Esto provocó el abandono de las tierras de cultivo que, con el tiempo, tal y como se ha podido ver en las fotografías aéreas y en las gráficas, fueron ocupadas por la vegetación. De esta forma, los ecosistemas fluviales (y tantos otros) vivieron un proceso de cambio desde un sistema simple, con características como la escasa vegetación natural y biodiversidad junto con una elevada presencia y presión antrópica, a un sistema complejo, en el que la presión humana disminuyó hasta el punto de que la vegetación pudo colonizar ese terreno.

Este es un proceso positivo. Hay una renaturalización de los ecosistemas de ribera. Pero debido a la regulación de los caudales, este proceso no se ha podido completar, puesto que no se han recuperado las funciones y procesos fluviales existentes antes de la intervención humana, por ejemplo, la de corredor ecológico.

Por otro lado, y a pesar de que se ha incluido en el estudio como un proceso de progresión, y por tanto positivo, a partir de finales de los 90 y principios de los 2000, es *Arundo donax* quien se adueña por completo de parte de estos espacios fluviales, y aunque se considera una renaturalización, puesto que no es un uso antrópico, imposibilita muchos otros procesos del ecosistema debido a que es una especie exótica invasora con unos efectos en el sistema biótico muy diferentes a los que tendría un bosque ripario, que sería la vegetación autóctona correspondiente a ese espacio.

Es importante destacar que donde el bosque ripario se encuentra en buenas condiciones, la caña no se establece (Sánchez et al., 2017). Esto puede deberse a diferentes motivos,

como por ejemplo la proyección de la sombra, la ocupación del suelo, o la competencia por los recursos. En este caso, el bosque de ribera se ve degradado tras la regulación del flujo, probablemente por la falta de este recurso, facilitando así el establecimiento de la caña.

De hecho, *Arundo donax* no tolera el encharcamiento. De hecho, uno de los métodos propuestos para su erradicación es la inundación del rizoma (Deltoro Torró et al., 2012). La eutrofización también podría haber contribuido a su expansión. En este caso sería conveniente realizar un estudio de la evolución de los nutrientes del agua del río Turia para comprobarlo.

Esta especie ya existía en el lugar debido a que los agricultores de la zona mediterránea la utilizaban como un recurso en su parcela agrícola (tutores de tomatas, por ejemplo), pero las fotos aéreas antiguas demuestran que ocuparían un área muy limitada.

Además, se encuentra muy presente en la cultura valenciana, pues con las cañas se construían los tejados de las casas típicas de la huerta, las barracas. Incluso en la literatura se encuentran referencias, por ejemplo, en el libro “Cañas y barro” del escritor valenciano Vicente Blasco Ibáñez. De hecho, hay autores como Francesco Barreca (2012) que proponen darle actualmente ese uso a la especie.

Para completar la hipótesis acerca de la colonización de *Arundo donax*, los datos obtenidos de las estaciones de aforo demuestran que, en condiciones naturales, el río Turia no sufre reducciones importantes de caudal durante el periodo de estiaje, por lo que se descarta que la caña invadiera, al menos de forma tan agresiva, el cauce del río en estas condiciones.

Es importante destacar que, aunque las presiones humanas mencionadas anteriormente hayan menguado, están apareciendo otras como el descenso de las precipitaciones, o el aumento de temperatura y el cambio climático, que podrían tener efectos en estos ecosistemas, todavía desconocidos.

Como se ha mencionado anteriormente, los ecosistemas riparios son muy complejos y representan unos sistemas abiertos y asimétricos, por lo que un análisis completo de todos los factores requeriría de un estudio mucho más extenso, para facilitar la comprensión de qué ha ocurrido hasta ahora y predecir de forma más exacta las consecuencias en el futuro. Sería sin duda interesante continuar esta línea de investigación, profundizando en los



aspectos antes nombrados para conseguir una visión global y a su vez más concreta y detallada de la evolución del sistema biótico y abiótico de la zona.

En lo que respecta a la eliminación de *Arundo donax*, se encuentran muchas referencias sobre las experiencias en España en la erradicación de esta especie. En el propio tramo de Vilamarxant en el río Turia, desde la dirección del Parque Natural del Turia, se han desarrollado campañas de eliminación (como queda reflejado en las memorias de gestión del Parque Natural del Turia), principalmente mediante la extracción del rizoma, y tanto en las imágenes aéreas como en las fotografías actuales se puede observar cómo no han tenido éxito.

Otras experiencias como la de Velasco et al., (2019), demuestran que otros métodos como el cubrimiento son efectivos a corto plazo. Lo que está pendiente de evaluar es si tras la actuación vuelve a brotar o cuáles deberían ser las medidas de monitoreo y mantenimiento necesarias para frenar su expansión.

Diversos estudios, recalcan el posible aprovechamiento de *Arundo donax* como fuente de biomasa (Angelini et al., 2004; Mohd Idris et al., 2012; Bosco et al., 2016; Bonfante et al., 2017). Sería muy interesante valorar económicamente este aspecto, pues de resultar rentable podría ser la clave para el control definitivo de la especie en lugares donde su población está totalmente descontrolada. En concreto, Bosco y colaboradores (2016), propone el cultivo de la misma para la obtención de dicha biomasa. También tiene un uso importante en la fabricación de instrumentos musicales (Zecca et al., 2020). Sería muy interesante valorar económicamente estos aspectos, pues de resultar rentable podría ser la clave para el control definitivo de la especie en lugares donde su población está totalmente descontrolada, aunque sabiendo que es una especie con un alto potencial colonizador, el proceso de gestión de dicha plantación debería estar meticulosamente controlado, para evitar que se propagara y causar la degradación ambiental de la zona.

Otro posible aprovechamiento de la especie es utilizarla en proyectos de fitorremediación en suelos contaminados (LIFE11/ENV/IT/275, 2014; Fernando et al., 2016) debido a su facilidad para crecer en ellos (Fiorentino et al., 2010). En este caso, se hace la misma crítica en cuanto a la necesidad de una minuciosa gestión de la caña. Se ha demostrado que *Phragmites australis*, el carrizo, especie autóctona de la región mediterránea, también puede llevar a cabo esta acción (Mohd Idris et al., 2012), por lo que a la hora de elegir sería conveniente sopesar las dos opciones, puesto que el carrizo conlleva un riesgo

mucho menor de causar un perjuicio a las zonas naturales del entorno en caso de una expansión de la especie.

Por otro lado, existe la posibilidad de llevar a cabo un control biológico sobre *Arundo donax*. Se descarta el uso de especies herbívoras puesto que no son capaces de alimentarse de ésta (Spencer et al., 2005). Sin embargo, diversos estudios apuntan a una avispa, *Tetramesa romana*, autóctona de la región mediterránea, como posible candidata para el control de las poblaciones de la caña (Goolsby et al., 2009; Goolsby et al., 2009; Moore et al., 2010).

En cuanto a una actuación en la zona de estudio, se propone enfocarla desde el punto de vista de la restauración hidrogeomorfológica. Con la recuperación de los caudales naturales, y los procesos y funciones ecológicos del ecosistema, muy probablemente la vegetación se recuperaría sola, sin necesidad de actuar sobre ella, aunque quizás a muy largo plazo.

Para finalizar este apartado, se destaca que se ha llevado a cabo una amplia búsqueda bibliográfica, y no se ha encontrado ningún trabajo en el que se haya estudiado el establecimiento y colonización de *Arundo donax* en un sistema fluvial en concreto. Como se ha visto, los estudios se han centrado en la propia especie, su comportamiento invasor, los métodos de erradicación y su posible explotación como recurso.

Lo que sí se ha podido confirmar, con los estudios de Saltonstall y colaboradores (2010) y Boland (2006), es que *Arundo donax* se desplaza a través de los ecosistemas fluviales aprovechando las avenidas de los ríos, que transportan porciones de rizomas y los reparten a lo largo del cauce, provocando la expansión de la especie que enraiza con facilidad en cualquier tipo de terreno.

## 7. Conclusiones

Las conclusiones que se han encontrado tras la realización del estudio son:

- La regulación de los caudales por grandes presas ha modificado la estructura del cauce (reduciendo el cauce activo), favoreciendo inicialmente el desarrollo del bosque ripario maduro, y a largo plazo facilitando la colonización del territorio por parte de la especie invasora *Arundo donax*, que ha dificultado el desarrollo de la vegetación leñosa autóctona.
- La evolución en las coberturas del suelo ha significado que la vegetación leñosa ha colonizado muchos de los espacios ocupados anteriormente por el ser humano y por el cauce activo.
- Se ha encontrado una relación directa entre la reducción de valores máximos de caudal y de la variabilidad intra-anual de su régimen de caudales con la disminución de la superficie ocupada por el cauce activo. Por otro lado, estas mayores avenidas y mayor variabilidad de caudales coinciden con las etapas de régimen de caudal más natural, cuando la vegetación leñosa ocupaba áreas muy reducidas. Esto se debe a que las crecidas y variabilidad del régimen natural inhibían la ocupación antrópica, mientras que la regulación de caudales, y por tanto la homogenización y disminución de los caudales, afecta favorablemente al establecimiento y expansión de *Arundo donax*.
- Para finalizar, sería interesante continuar con esta línea de investigación, con el fin de llevar a cabo una actuación de recuperación de los caudales naturales que posibilitara la restauración de los procesos y funciones ecológicas del ecosistema previas a la regulación antrópica de los regímenes fluviales.

## 8. Bibliografía

- Andreu, J., Ferrer-Polo, J., Pérez, M. A., Solera, A. (2009). Decision support system for drought planning and management in the Jucar River Basin, Spain. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009.
- Angelini, L., Ceccarini, L., Bonari, E. (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.
- Arizpe, D., Mendes, A., Rabaça E, J. (2008). Áreas de ribera sostenibles. Una guía para su gestión. Generalitat Valenciana.
- Barreca, F. (2012). Use of giant reed *Arundo Donax L.* in rural constructions. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(3):46-52.
- Bejarano, M. D., González del Tánago, M., García de Jalón, D., Marchamalo, M., Sordo-Ward, A., Solana-Gutiérrez, J. (2012). Responses of riparian guilds to Flow alterations in a Mediterranean stream. *Journal of Vegetation Science*, 23: 443-458.
- Boix-Fayos, C., Barberá, G. G., López-Bermúdez, F., Castillo, V. M. (2007). Effects of check dams, reforestation and land-use changes on river channel morphology: Case study of the Rogativa catchment (Murcia, Spain). *Geomorphology*, 91:103-123.
- Boland, J. M. (2006). The importance of layering in the rapid spread of *Arundo donax* (giant reed). *Madroño*, 54(4): 303-312.
- Bonfante, A., Impagliazzo, A., Fiorentino, N., Langella, G., Mori, M., Fagnano, M. (2017). Supporting local farming communities and crop production resilience to climate change through giant reed (*Arundo donax L.*) cultivation: An Italian case study. *Science of the Total Environment*, 601-602:603-613.
- Bosco, S., Nassi o Di Nasso, N., Roncucci, N., Mazzoncini, M., Bonari, E. (2016). Environmental performances of giant reed (*Arundo donax L.*) cultivated in fertile and marginal lands: A case study in the Mediterranean. *European Journal of Agronomy*, 78:20-31.
- Carmona, P. (1997). La dinámica fluvial del Turia en la construcción de la ciudad de Valencia. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 31: 85-102.
- Carmona, P., Ruiz, J. M. (2010). Historical morphogenesis of the Turia River coastal flood plain in the Mediterranean littoral of Spain. *Catena*, 86: 139-149.

- Cosentino, S. L., Copani, V., D'Agosta, G., Sanzone, E., Mantineo, M. (2006). First results on evaluation of *Arundo donax L.* clones collected in Southern Italy. *Industrial Crops and Products*, 23: 212–222.
- Cosentino, S. L., Scordia, D., Sanzone, E., Testa, G., Copani, V. (2014). Response of giant reed (*Arundo donax L.*) to nitrogen fertilization and soil water availability in semi-arid Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy*, 60:22-32.
- 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.
- Díaz-Redondo, M., Marchamalo, M., Egger, G., Magdaleno, F. (2018). Toward floodplain rejuvenation in the middle Ebro river (Spain): from history to action. *Geomorphology*, 317:117-127.
- Ecoremed, 2011. LIFE11/ENV/IT/275 Implementation of eco-compatible protocols for agricultural soil remediation in litorale Domizio-Agro aversano NIPS. [www.ecoremed.it](http://www.ecoremed.it), Accessed 10 March 2014.
- Estruch-Guitarta, V., Valls-Civera, A. (2018). An economic valuation of ecosystem services provided by the River Turia Natural Park (Valencia). *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 18.2:93-115.
- Fazelpoor, K., Martínez-Fernández, V., García de Jalón, D. (2020). Exploring the hydromorphological response to human pressure in Tagus river (1946-2014) by complementary diagnosis. *En periodo de revisión*.
- Fernando, A. L., Barbosa, B., Costa, J., Papazoglou, E. G. (2016). Giant reed (*Arundo donax L.*): a multipurpose crop bridging phytoremediation with sustainable bioeconomy. *Bioremediation and Bioeconomy*. Chapter 4: 77-95.
- Fiorentino, N., Impagliazzo, A., Ventorino, V., Pepe, O., Piccolo, A., Fagnano, M. (2010). Biomass accumulation and heavy metal uptake of giant reed on polluted soil in southern Italy. *J Biotechnol*, 150:261.
- García, L., García de Jalón, D. (2018). Evolution of the active channel and the vegetation islands in a sandy river. 12th International Symposium on Ecohydraulics (12th ISE 2018, Tokyo, Japan).
- García de Jalón, D., Martínez – Fernández, V., Fazelpoor, K., González del Tánago, M. (2020). Vegetation encroachment ratios in regulated and non-

- regulated Mediterranean rivers (Spain): An exploratory overview. *Journal of Hydro-environment Research*, 30: 35-44.
- Garilleti, R., Calleja, J. A., Lara, F. (2012). Vegetación ribereña de los ríos y ramblas de la España meridional (península y archipiélagos). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España.
  - Geerling, G. W., Ragas, A. M. J., Leuven, R. S. E. W., Van Den Berg, J. H., Breedveld, M., Liefhebber, D., Smits, A. J. M. (2006). Sucession and rejuvenation in floodplains along the river Allier (France). *Hydrobiologia*, 565: 71-86.
  - González, E., González-Sanchís, M., Cabezas, A., Comín, F.A., Muller, E. (2010). Recent changes in the riparian forest of a large regulated mediterranean river: implications for management. *Environmental management*, 45: 669-681.
  - González del Tánago, M., Bejarano, M. D., García de Jalón, D., Schmidt, J. C. (2015). Biogeomorphic responses to flow regulation and fine sediment supply in Mediterranean streams (the Guadalete River, southern Spain). *Journal of Hydrology*, 528:751-762.
  - González del Tánago, M., Martínez-Fernández, V., García de Jalón, D. (2016). Diagnosing problems produced by flow regulation and other disturbances in Southern European Rivers: the Porma and Curueño Rivers (Duero Basin, NW Spain). *Aquatic Sciences*, 78:121-133.
  - Goolsby, J. A., Moran, P. J. (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.
  - Goolsby, J. A., Moran, P. J., Adamczyk, J. J., Kirk, A. A., Jones, W. A., Marcos, M. A., Cortés, E. (2009). Host range of the European, rhizomestem feeding scale *Rhizaspidiotus donacis* (Hemiptera: Diaspididae), a candidate biological control agent for giant reed, *Arundo donax* (Poales: Poaceae) in North America. *Biocontrol Science and Technology*, 19:9, 899-918.
  - Gordon, E., Meentemeyer, R.K. (2006). Effects of dam operation and land use on stream channel morphology and riparian vegetation. *Geomorphology*, 82: 412-429.
  - Herruzo, A.C. (2002). Fundamentos y métodos para la valoración de bienes ambientales. Comunicación presentada en la Jornada Temática “Aspectos Medioambientales de la Agricultura”. Universidad Politécnica de Madrid.

- La Universitat de València i els seus entorns naturals. (2008). Universitat de València.
- Lewandowski, I., Scurlock, J. M. O., Lindvall, E., Christou, M. (2003) The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass Bioenergy*, 25:335–361.
- Maceda-Veiga, A., Basas, H., Lanzaco, G., Sala, M., de Sostoa, A., Serra, A. (2016). Impacts of the invader giant reed (*Arundo donax*) on riparian habitats and ground arthropod communities. *Biol invasions*, 18:731-749.
- Mariani, C., Cabrini, R., Danin, A., Piffanelli, P., Fricano, A., Gomarasca, S., Dicandilo, M., Grassi, F., Soave, C. (2010). Origin, diffusion and reproduction of the giant reed (*Arundo donax L.*): a promising weedy energy crop. *Annals of Applied Biology*, 157: 191-202.
- Martínez-Fernández, V., González del Tánago, M., Maroto, J., García de Jalón, D. (2017). Fluvial corridor changes over time in regulated and non-regulated rivers (upper esla river, NW Spain). *River research and applications*, 33: 214-223.
- Memorias de gestión del Parque Natural del Turia. Ejercicios 2009 – 2015.
- Merritt, D. M., Cooper, D. J., (2000). Riparian vegetation and channel change in response to river regulation: a comparative study of regulated and unregulated streams in the Green River Basin, USA. *Regulated Rivers: Research & Management*, 16:543-564.
- Mohd Idris, S., Jones, P. L., Salzman, S. A., Croatto, G., Allinson, G. (2012). Evaluation of the giant reed (*Arundo donax*) in horizontal subsurface flow wetlands for the treatment of recirculating aquaculture system effluent. *Environ Sci Pollut Res*, 19:1159-1170.
- Moore, G. W., D. A., Watts, D. A., Goolsby, J. A. (2010). Ecophysiological Responses of Giant Reed (*Arundo donax*) to Herbivory. *Invasive Plant Science and Management*, 3(4): 521-529.
- Nelson, N. C., Erwin, S. O., Schmidt, J. C. (2013). Spatial and temporal patterns in channel change on the Snake River downstream from Jackson Lake dam, Wyoming. *Geomorphology*, 200:132-142.
- Piégay, H., Arnaud, F., Belletti, B., Bertrand, M., Bizzi, S., Carbonneau, P., Dufour, S., Liébault, F., Ruiz-Villanueva, V., Slater, L. (2019). Remotely sensed

- rivers in the Anthropocene: state of the art and prospects. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Rivaes, R., Rodríguez-González, P. M., Albuquerque, A., Pinheiro, A. N., Egger, G., Ferreira, M. T. (2015). Reducing river regulation effects on riparian vegetation using flushing flow regimes. *Ecological Engineering*, 81: 428-438.
  - Rüggeberg, M., Burgert, I., Speck, T. (2010). Structural and mechanical design of tissue interfaces in the giant reed *Arundo donax*. *J. R. Soc. Interface*, 7:499–506.
  - Ruiz-Pérez, J. M., Carmona, P. (2019). Turia river delta and coastal barrier-lagoon of Valencia (Mediterranean coast of Spain): Geomorphological processes and global climate fluctuations since Iberian-Roman times. *Quaternary Science Reviews*, 219: 84-101.
  - Rosgen, D. L. (2006). River restoration using a geomorphic approach for natural channel design. *JFIC*, 394-401.
  - Salmoral, G., Williaarts, B. A., Troch, P. A., Garrido, A. (2015). Drivers influencing streamflow changes in the Upper Turia basin, Spain. *Science of the Total Environment*. 503:258-268.
  - Sánchez, M., Carbó, E. (2017). Estudio de Calidad Ambiental en un Área del Parque Natural del Turia. Trabajo Fin de Grado de Ciencias Ambientales. Universitat de València.
  - Saltonstall, K., Lambert, A., Meyerson, L. A. (2010). Genetics and reproduction of common (*Phragmites australis*) and giant reed (*Arundo donax*). *Invasive Plant Science and Management*, 3(4):495-505.
  - Spencer, D., Sher, A., Thornby, D., Liow, P. S., Ksander, G., Tan, W. L. (2007). Non-destructive assessment of *Arundo donax* (*Poaceae*) leaf quality. *Journal of Freshwater Ecology*. 22:277–285.
  - Stromberg, J. C., Beauchamp, V. B., Dixon, M.D., Lite, S. J., Paradzick, C. (2007). Importance of low-flow and high-flow characteristics to restoration of riparian vegetation along rivers in arid south-western United States. *Freshwater Biology*, 52: 651-679.
  - Velasco, J., Angosto, I., Gómez, R., Macho, A., González, J.L., Sánchez-Balibrea, J., Almansa, F., LaFuente, E. (2019). Eficacia del método de cubrimiento con polietileno en el control de la caña en el río Segura. III Congreso Ibérico de Restauración Fluvial (RestauraRíos).



- Wijte, A. H. B. M., Mizutani, T., Motamed, E. R., Merryfield, M. L., Miller, D. E., Alexander, D. E. (2015). Temperature and Endogenous Factors Cause Seasonal Patterns in Rooting by Stem Fragments of the Invasive Giant Reed, *Arundo donax* (Poaceae). *International Journal of Plant Sciences*, 166 (3):507-517.
- Zecca, G., Tommasi, N., Grassi, F. (2020). Multiple evolutionary lineages detected in giant reed (*Arundo donax L.*): Applied and evolutionary perspectives. *Annals of Applied Biology*, 2020:1-11.



9.2. Anexo II

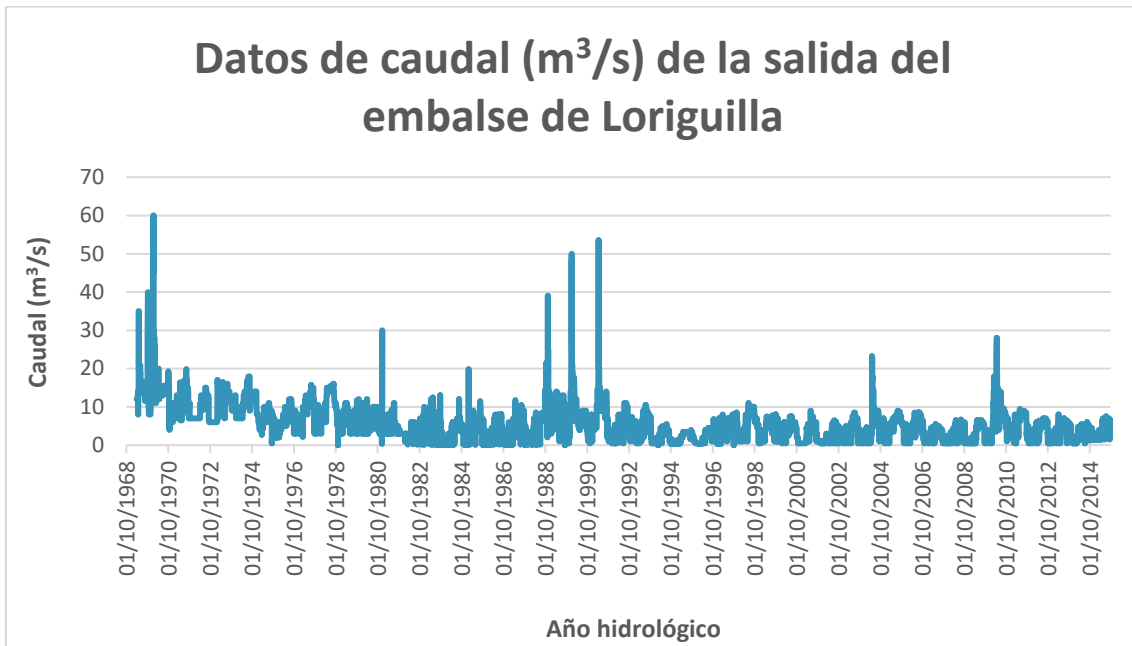


Figura 2. - Salidas medias diarias (m<sup>3</sup>/s) del embalse de Loriguilla.

Como muestra la figura 2, los datos de salida del embalse de Loriguilla son muy similares a los del embalse de Benagéber, como es lógico debido a lo próximos que se encuentran, por lo que no hay nada que destacar que no se haya comentado en el análisis de los datos del embalse anterior.

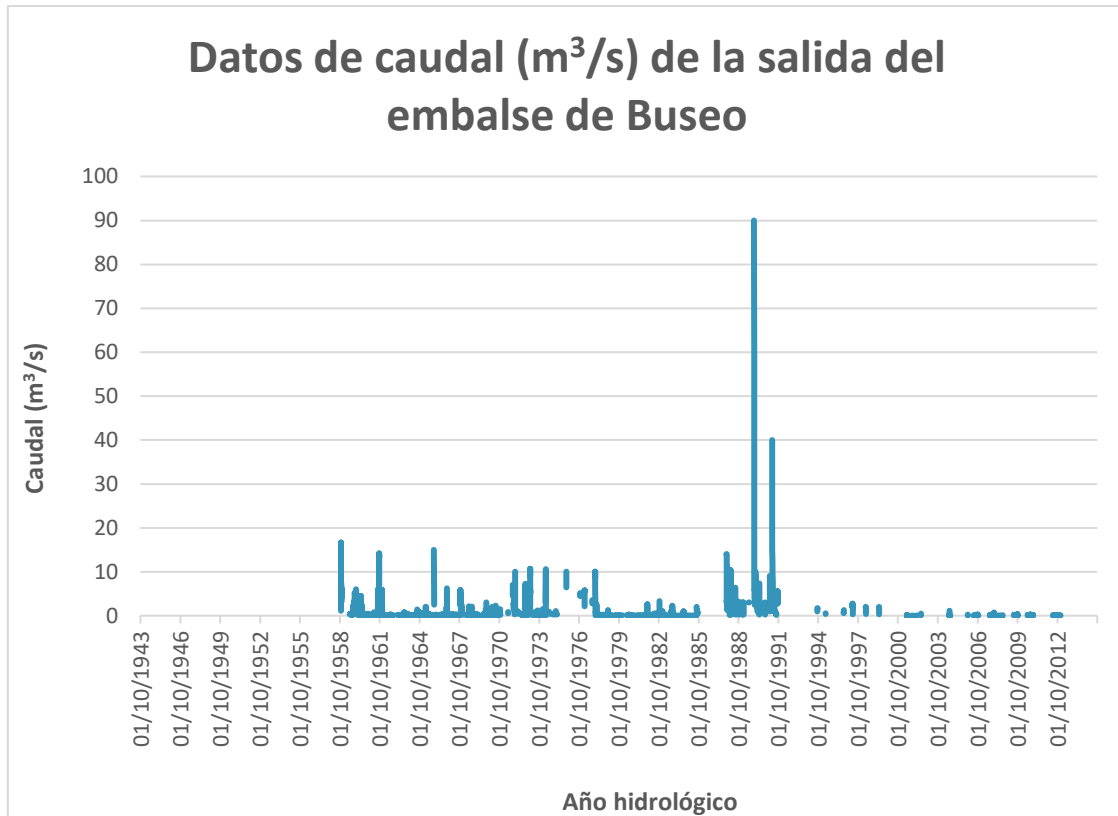
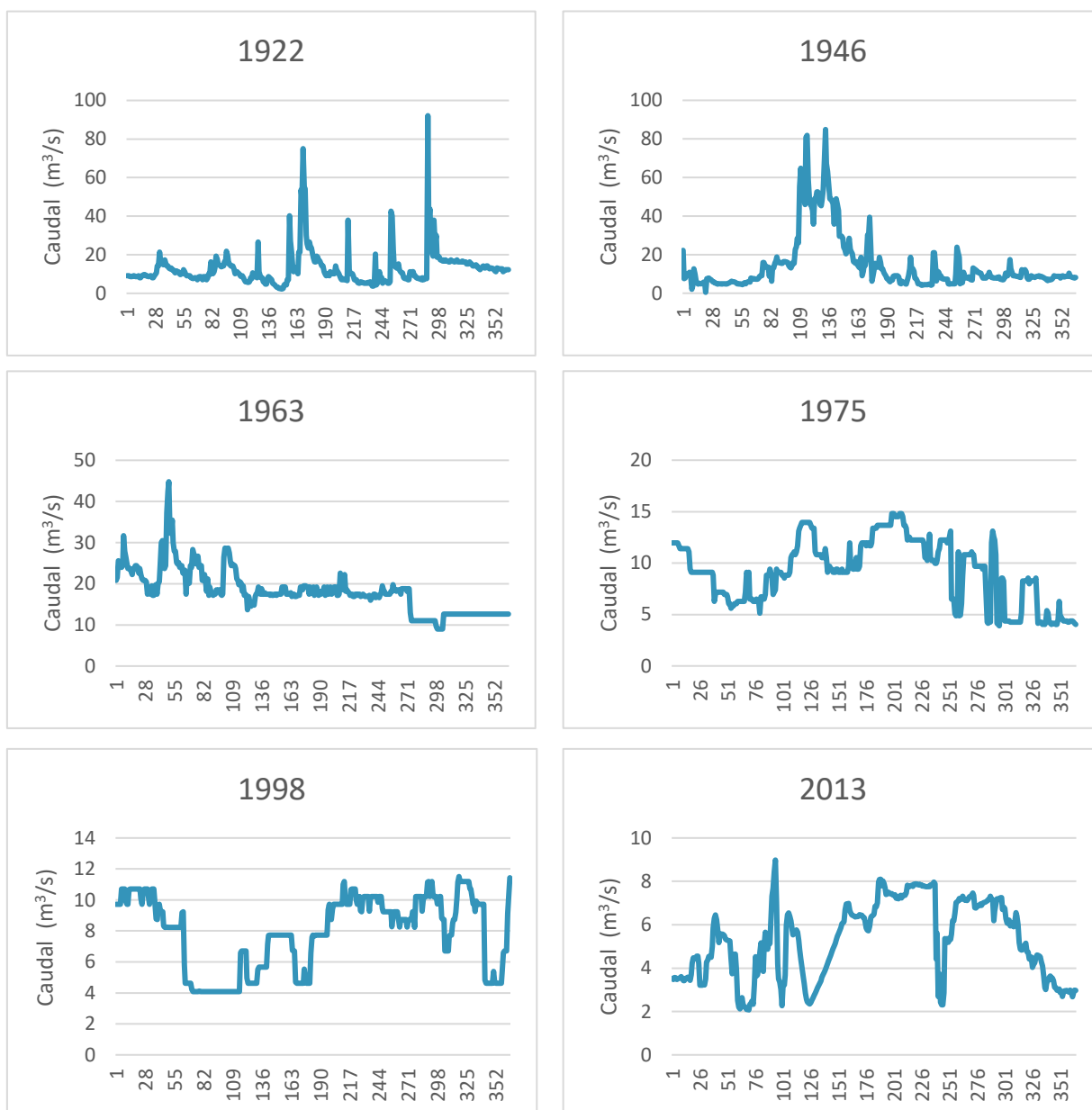


Figura 3. - Salidas medias diarias (m<sup>3</sup>/s) del embalse de Buseo.

El embalse de Buseo tiene una gran cantidad de espacios sin información dentro de la línea temporal de datos, como se observa en la gráfica, pero suficientes para saber que es un caudal muy pequeño, como ya anticipaba su escasa capacidad, y que sólo destacan dos picos importantes entre finales de la década de los 80 y el primer año de la década de los 90.

9.3. Anexo III



Figuras 4-9. - Evolución del caudal a lo largo del año hidrológico en distintos periodos.

Las figuras anteriores muestran los niveles de caudal de seis años escogidos al azar, pero con un criterio de elección de años incluidos dentro de los seis periodos diferenciados en la gráfica anterior. Estos gráficos son muy interesantes puesto que facilitan la comparación de cómo han variado los caudales durante los 90 años representados. Se debe remarcar que el eje de las abscisas tiene valores diferentes, que van disminuyendo conforme los datos son más actuales, por tanto, a diferencia se acentúa todavía más.

## Estudio de la evolución de la vegetación helófito y leñosa en dos tramos del río Turia

En el año 1922 los valores máximos llegaban casi a los 100m<sup>3</sup>/s, en el año 1946 superaban ligeramente los 80 m<sup>3</sup>/s, y a partir de entonces no sólo se igualan cada vez más los valores máximos y mínimos, sino que se observa cómo desaparecen las avenidas que experimentaba el Turia antes de la regulación de su caudal.

9.4. Anexo IV

Tabla 1. Superficie (ha) ocupadas por cada tipo de cobertura en el tramo de Bugarra.

|                     | 1945         | 1956         | 1980-86      | 2006         | 2008         | 2015         |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>Pastizal</i>     | 1,45         | 0,07         | 0,12         | 2,23         | 1,58         | 4,04         |
| <i>Veg. juvenil</i> | 0,00         | 0,00         | 11,37        | 2,55         | 5,26         | 2,83         |
| <i>Veg. leñosa</i>  | 0,00         | 0,54         | 3,18         | 3,50         | 4,28         | 2,36         |
| <i>Antrópico</i>    | 11,77        | 14,41        | 2,29         | 8,54         | 5,79         | 7,48         |
| <i>Cauce activo</i> | 4,49         | 2,68         | 0,76         | 0,88         | 0,79         | 1,00         |
| <b>TOTAL</b>        | <b>17,71</b> | <b>17,71</b> | <b>17,71</b> | <b>17,71</b> | <b>17,71</b> | <b>17,71</b> |

Tabla 2. Superficie (ha) ocupadas por cada tipo de cobertura en el tramo de Vilamarxant.

|                     | 1945        | 1956        | 1980-86     | 2006        | 2008        | 2015        |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Pastizal</i>     | 0,32        | 0           | 0,09        | 3,8         | 4,06        | 4,07        |
| <i>Veg. Juvenil</i> | 0           | 1,35        | 1,7         | 3,44        | 13,01       | 9,07        |
| <i>Veg. Leñosa</i>  | 1,42        | 2,06        | 20,62       | 19,94       | 11,32       | 11,01       |
| <i>Antrópico</i>    | 19,64       | 21,95       | 10,37       | 7,6         | 6,22        | 9,6         |
| <i>Cauce activo</i> | 14,92       | 10,94       | 3,52        | 1,52        | 1,69        | 2,55        |
| <b>TOTAL</b>        | <b>36,3</b> | <b>36,3</b> | <b>36,3</b> | <b>36,3</b> | <b>36,3</b> | <b>36,3</b> |

9.5. Anexo V

Tabla 3. Identificación de los procesos existentes en cada uno de los intervalos estudiados en las imágenes aéreas en el tramo de Bugarra.

| BUGARRA                         |                                      |             |             |             |             |             |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Procesos                        | Cambios en la cobertura del suelo    | 1945 - 1956 | 1956 - 1980 | 1980 - 2006 | 2006 - 2008 | 2008 - 2015 |
| Estacionario                    | No hay cambios                       | x           | x           | x           | x           | x           |
|                                 | veg. arbórea madura --> cañar        | 0           | 0           | x           | 0           | x           |
|                                 | caña --> veg. arbórea madura         | 0           | 0           | 0           | x           | 0           |
| Progresión                      | cauce activo --> pastizal            | 0           | x           | 0           | 0           | 0           |
|                                 | cauce activo --> veg. juvenil        | 0           | x           | 0           | 0           | 0           |
|                                 | cauce activo --> veg. arbórea madura | x           | x           | x           | 0           | 0           |
|                                 | cauce activo --> cañar               | 0           | 0           | 0           | x           | 0           |
|                                 | pastizal --> veg. juvenil            | 0           | x           | x           | x           | x           |
|                                 | pastizal --> veg. arbórea madura     | x           | 0           | x           | x           | x           |
|                                 | pastizal --> cañar                   | 0           | 0           | 0           | x           | x           |
|                                 | veg. juvenil --> veg. arbórea madura | 0           | 0           | x           | x           | x           |
|                                 | veg. juvenil --> cañar               | 0           | 0           | x           | x           | x           |
|                                 | cultivos --> pastizal                | 0           | 0           | x           | x           | 0           |
|                                 | cultivos --> veg. juvenil            | 0           | x           | x           | x           | 0           |
|                                 | cultivos --> veg. arbórea madura     | x           | x           | x           | x           | 0           |
|                                 | cultivos --> cañar                   | 0           | 0           | x           | x           | 0           |
|                                 | caminos --> pastizal                 | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                 | caminos --> veg. juvenil             | 0           | x           | 0           | x           | 0           |
| caminos --> veg. arbórea madura | 0                                    | 0           | 0           | 0           | 0           |             |
| caminos --> cañar               | 0                                    | 0           | 0           | x           | 0           |             |
| Recesión                        | pastizal --> cauce activo            | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                 | veg. juvenil --> cauce activo        | 0           | 0           | x           | 0           | 0           |
|                                 | veg. juvenil --> pastizal            | 0           | 0           | x           | x           | x           |
|                                 | veg. arbórea madura --> cauce activo | 0           | 0           | x           | 0           | 0           |
|                                 | veg. arbórea madura --> pastizal     | 0           | 0           | x           | 0           | x           |
|                                 | veg. arbórea madura --> veg. juvenil | 0           | x           | x           | x           | x           |
|                                 | cañar --> cauce activo               | 0           | 0           | 0           | 0           | x           |
|                                 | cañar --> pastizal                   | 0           | 0           | 0           | x           | x           |
| cañar --> veg. juvenil          | 0                                    | 0           | 0           | x           | x           |             |
| Antropización                   | cauce activo --> cultivos            | x           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                 | cauce activo --> caminos             | x           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                 | pastizal --> cultivos                | x           | x           | 0           | x           | x           |
|                                 | pastizal --> caminos                 | 0           | 0           | 0           | 0           | x           |
|                                 | veg. juvenil --> cultivos            | 0           | 0           | x           | 0           | x           |
|                                 | veg. juvenil --> caminos             | 0           | 0           | 0           | 0           | x           |
|                                 | veg. arbórea madura --> cultivos     | 0           | x           | 0           | 0           | 0           |
|                                 | veg. arbórea madura --> caminos      | 0           | 0           | 0           | 0           | x           |
|                                 | cañar --> cultivos                   | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                 | cañar --> caminos                    | 0           | 0           | 0           | 0           | x           |
|                                 | cultivo --> caminos                  | 0           | x           | x           | 0           | x           |
| caminos --> cultivo             | x                                    | x           | 0           | 0           | x           |             |



Tabla 4. Identificación de los procesos existentes en cada uno de los intervalos estudiados en las imágenes aéreas en el tramo de Vilamarxant.

| VILAMARXANT                    |                                       |             |             |             |             |             |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Procesos                       | Cambios en la cobertura del suelo     | 1945 - 1956 | 1956 - 1980 | 1980 - 2006 | 2006 - 2008 | 2008 - 2015 |
| Estacionario                   | No hay cambios                        | x           | x           | x           | x           | x           |
|                                | veg. juvenil --> cañar juvenil        | 0           | 0           | 0           | x           | 0           |
|                                | cañar juvenil --> veg. juvenil        | 0           | 0           | 0           | 0           | x           |
|                                | veg. arbórea madura --> cañar         | 0           | 0           | x           | x           | x           |
|                                | caña --> veg. arbórea madura          | 0           | 0           | 0           | x           | x           |
| Progresión                     | cauce activo --> pastizal             | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                | cauce activo --> veg. juvenil         | x           | x           | x           | 0           | 0           |
|                                | cauce activo --> veg. arbórea madura  | x           | x           | x           | x           | 0           |
|                                | cauce activo --> cañar juvenil        | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                | cauce activo --> cañar                | 0           | 0           | x           | 0           | 0           |
|                                | pastizal --> veg. juvenil             | 0           | 0           | x           | x           | x           |
|                                | pastizal --> veg. arbórea madura      | x           | 0           | 0           | x           | 0           |
|                                | pastizal --> cañar juvenil            | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                | pastizal --> cañar                    | 0           | 0           | x           | x           | x           |
|                                | veg. juvenil --> veg. arbórea madura  | 0           | x           | 0           | x           | x           |
|                                | veg. juvenil --> caña                 | 0           | 0           | x           | x           | x           |
|                                | cañar juvenil --> veg. arbórea madura | 0           | 0           | 0           | 0           | x           |
|                                | cultivo --> cauce activo              | 0           | x           | 0           | 0           | 0           |
|                                | cultivo --> pastizal                  | 0           | x           | x           | x           | 0           |
|                                | cultivo --> veg. juvenil              | x           | x           | x           | x           | 0           |
|                                | cultivo --> veg. arbórea madura       | x           | x           | x           | x           | 0           |
|                                | cultivos --> cañar juvenil            | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                | cultivos --> cañar                    | 0           | 0           | x           | 0           | 0           |
|                                | camino --> cauce activo               | 0           | x           | 0           | 0           | 0           |
|                                | camino --> pastizal                   | 0           | x           | x           | x           | x           |
| camino --> veg. Juvenil        | 0                                     | 0           | x           | 0           | x           |             |
| camino --> veg. arbórea madura | 0                                     | x           | 0           | 0           | x           |             |
| camino --> cañar juvenil       | 0                                     | 0           | 0           | 0           | 0           |             |
| camino --> caña                | 0                                     | 0           | x           | 0           | 0           |             |
| Recesión                       | pastizal --> cauce activo             | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                | veg. juvenil --> cauce activo         | 0           | x           | 0           | 0           | x           |
|                                | veg. juvenil --> pastizal             | 0           | 0           | x           | x           | x           |
|                                | veg. arbórea madura --> cauce activo  | 0           | 0           | x           | x           | x           |
|                                | veg. arbórea madura --> pastizal      | 0           | 0           | x           | x           | x           |
|                                | veg. arbórea madura --> veg. juvenil  | 0           | 0           | x           | x           | x           |
|                                | cañar juvenil --> cauce activo        | 0           | 0           | 0           | 0           | x           |
|                                | cañar juvenil --> pastizal            | 0           | 0           | 0           | 0           | x           |
|                                | caña --> cauce activo                 | 0           | 0           | 0           | x           | x           |
|                                | caña --> pastizal                     | 0           | 0           | 0           | x           | x           |
|                                | caña --> cañar juvenil                | 0           | 0           | 0           | x           | 0           |
| caña --> veg. juvenil          | 0                                     | 0           | 0           | x           | x           |             |
| Antropización                  | cauce activo --> cultivos             | x           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                | cauce activo --> caminos              | x           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                | pastizal --> cultivos                 | x           | 0           | 0           | x           | x           |
|                                | pastizal --> caminos                  | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                | veg. Juvenil --> cultivos             | 0           | 0           | x           | 0           | x           |
|                                | veg. Juvenil --> caminos              | 0           | x           | x           | 0           | x           |
|                                | veg. arbórea madura --> cultivos      | 0           | x           | x           | 0           | x           |
|                                | veg. Arbórea madura --> caminos       | 0           | 0           | x           | 0           | 0           |
|                                | cañar juvenil --> cultivos            | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
|                                | cañar juvenil --> caminos             | 0           | 0           | 0           | 0           | x           |
|                                | caña --> cultivos                     | 0           | 0           | 0           | x           | x           |
|                                | caña --> caminos                      | 0           | 0           | 0           | x           | x           |
|                                | cultivo --> caminos                   | x           | x           | x           | 0           | 0           |
|                                | caminos --> cultivo                   | 0           | 0           | 0           | x           | 0           |