

ESTUDIO DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Autor:
Manuel Lemos Zambrano

Tutor:
Don Gregorio Egea Cegarra

Sevilla, a 29 de febrero de 2024

**EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS
EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE
INFERIOR DEL GUADALQUIVIR**



Universidad de Sevilla
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
Máster en Ingeniería Agronómica
Trabajo Fin de Máster



ESTUDIO DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Alumno:

Tutor:

Sevilla, a 29 de febrero de 2024

**EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS
EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE
INFERIOR DEL GUADALQUIVIR**

ANEXO 3 - DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Considerando que la presentación de un trabajo hecho por otra persona o la copia de textos, fotos y gráficos sin citar su procedencia se considera plagio, yo, Don. **Manuel Lemos Zambrano** con DNI **08369734B** estudiante del Máster en **Ingeniería Agronómica** de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Sevilla, ASUMO LA AUTORÍA RESPONSABLE Y DECLARO que el Trabajo Fin de Máster que presento para su exposición y defensa titulado **Evaluación de los tratamientos para el control de especies invasoras en las instalaciones de riego de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir**, y tutorado por Don. **Gregorio Egea Cegarra**.

ES ORIGINAL Y QUE TODAS LAS FUENTES UTILIZADAS PARA SU REALIZACIÓN HAN SIDO DEBIDAMENTE CITADAS EN EL MISMO.

Asimismo, acepto que el profesorado podrá utilizar las herramientas de control del plagio que garanticen la autoría de este Trabajo de Fin de Máster

Firma del alumno



FDO: MANUEL LEMOS ZAMBRANO

Sevilla, a 29 de febrero de 2024

**EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS
EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE
INFERIOR DEL GUADALQUIVIR**

Agradecimientos

En primer lugar, quería agradecer a mis padres, Manuel y Elisabeth, por todo el apoyo incondicional y los esfuerzos realizados, para que un día como hoy, esté más cerca de cumplir el sueño que tengo desde que era un niño. Agradecer también, al resto de mi familia y amigos por confiar en mí y motivarme a conseguir mis objetivos y hacerme el camino mucho más ameno. Soy muy afortunado de tenerlos en mi vida.

Al gran trabajo, esfuerzo y dedicación de mi tutor Don Gregorio Egea Cegarra para finalizar este proyecto en tiempo y forma, atendiendo nuestros compromisos profesionales.

A todo el personal de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir, que afortunadamente se ha convertido en una segunda familia para mí y que me están permitiendo desarrollarme como profesional en esta Corporación referente a nivel nacional e internacional en el ámbito del regadío.

En especial, a Don Rafael Calvo-Júdice Torres, Director de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir, quién me ha apoyado y aportado infinidad de conocimientos y experiencias para la realización de este Trabajo Final de Máster. Gracias Rafael, por tus explicaciones y consejos que me están ayudado tanto en mi desarrollo profesional y personal.

A Don Francisco Carrasco Arenas (Ingeniero Civil. Asesor Técnico de FERAGUA) y Doña Ramoni Sánchez Carmona (Doctora en Ciencias Bológicas, Ecología Acuática y Limnología. Técnico Comercial EEI en OX-CTA) por toda la información facilitada sobre el control de las especies exóticas invasoras y por transmitirme la importancia de este estudio para la divulgación del grave peligro que conllevan estos organismos.

Y, por último, a mis seres queridos que ya no están con nosotros para poder presenciar en persona nuestros logros en la vida; pero que desde el cielo nos siguen guiando siempre por el buen camino.

A todos vosotros, ¡muchas gracias!

**EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS
EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE
INFERIOR DEL GUADALQUIVIR**

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS
EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE
INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

ÍNDICE

ÍNDICE

1- Introducción 1

1.1. Especies de estudio 3

1.1.1. Almeja asiática (*Corbicula fluminea*) 3

1.1.2. Briozoos (*Plumatella sp.*)..... 7

1.1.3. Mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) 12

2- Objetivos 18

2.1. Objetivos generales..... 18

2.2. Objetivos específicos 18

3- Antecedentes 19

3.1. Cronología de la invasión 20

3.1.1. Almeja asiática (*Corbicula fluminea*) 20

3.1.2. Briozoos (*Plumatella sp.*) 21

3.1.2. Mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*)..... 22

3.2. Antecedentes legislativos 25

3.3. Clasificación de las especies exóticas invasoras 28

3.4. Clasificación y catalogación de las masas de agua..... 33

3.5. Actuaciones preventivas para la detección temprana y monitorización..... 34

3.5.1. Medidas previas..... 34

3.5.2. Medidas legislativas 36

3.5.3. Medidas de gestión y planificación 37

3.5.4. Medidas de información, divulgación y sensibilización 40

4- Memoria descriptiva..... 42

4.1. Caso de estudio 42

4.1.1. Presentación 43

4.1.2. Historia 43

4.1.3. Zona Regable..... 48

4.1.4. Organización 52

4.1.5. Servicios 54

4.1.6. Infraestructuras..... 55

4.2. Consecuencias de las especies invasoras en las instalaciones de riego 68

4.2.1. Almeja asiática (*Corbicula fluminea*) 68

4.2.2. Briozoos (*Plumatella sp.*)..... 69

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

4.2.3. Mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) 73

4.3. Tratamientos físicos..... 75

4.3.1. Ultrasonidos 76

4.3.2. Pintura antifouling..... 80

4.3.3. Desección 83

4.3.4. Adaptación de los filtros cazapiedras..... 84

4.3.5. Operaciones de sobrevelocidades en la red de riego..... 86

4.4. Tratamientos químicos 90

4.4.1. Ácido Sulfuroso..... 91

4.4.2. Tratamientos con productos peroxiacéticos 96

5- Estudio económico 99

5.1. Impacto económico..... 99

5.2. Costes actuales de los tratamientos 101

5.2. Evaluación de los tratamientos 103

6- Conclusiones 106

7- Bibliografía..... 110

1- Introducción

Las especies exóticas se definen como taxones inferiores, introducidos fuera de su distribución natural, ya sea en el pasado o en la actualidad, incluyendo gametos, semillas, huevos, adultos o propágulos de dichos taxones que podrían sobrevivir y reproducirse (CBD 2002). En Europa existen más de 12.000 especies exóticas, siendo unas 1.500 invasoras.

Las Especies Exóticas Invasoras (EEI), se definen como aquellas cuya introducción y propagación, fuera de su ámbito ecológico natural, constituyen una amenaza real para la biodiversidad y la economía (Comisión Europea DG ENV, 2014).

Otros organismos definen a las especies exóticas invasoras de la siguiente forma:

- El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) las define como especies exóticas cuya introducción y/o dispersión amenazan a la diversidad biológica del hábitat donde ha sido introducida (CDB 2002).
- La UICN define EEI como “Aquella especie exótica que se establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural; siendo un agente de cambio y amenaza la diversidad biológica nativa” (ISSG 2000).
- La Ley Española de Patrimonio Natural y la Biodiversidad las precisa como “Aquella especie que se introduce o que se establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural y que constituye una amenaza para la diversidad biológica nativa, ya sea por su comportamiento invasor, o por el riesgo de contaminación genética” (Ley 42/2007).

El principal problema que entraña el desarrollo masivo de las especies invasoras es la pérdida de biodiversidad en los ecosistemas que se instauran. El potencial de dichas especies se debe a las características del hábitat receptor y de la propia especie (Castro et al., 2004).

Las principales características intrínsecas más importantes de la propia especie invasora son (Castro et al., 2004; Sanz et al., 2004; Pérez., 2013):

- Amplio espectro trófico. Las especies exóticas invasoras adaptan su dieta al tipo de presa disponible en el entorno, por lo que son más competitivas con aquellas que tienen una dieta más específica.
- Elevada tasa de crecimiento y reproducción, dónde destacan la maduración sexual temprana, la partenogénesis y nivel alto de descendencia.
- Euritípicas. Se trata de especies que toleran gran diversidad de ambientes, lo que les permite la permanencia en los ecosistemas cuando las condiciones ambientales no sean las más favorables para su desarrollo.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Facilidad de hibridación, lo que favorece el desarrollo de nuevas poblaciones con escasos ejemplares permitiendo aumentar la variabilidad genética.
- Flexibilidad y plasticidad fenotípica. Consiste en que los genotipos de una especie presentan fenotipos muy diversos en respuesta al ambiente, permitiendo que dichas especies se adapten a los cambios en el ambiente.

Las principales características del hábitat receptor son (Castro et al., 2004; Sanz et al., 2004; Pérez., 2013):

- Hábitat con densidad alta de vectores. Alta presencia de individuos que actúan como vectores de las EEI y que favorecen el establecimiento y dispersión de sus huéspedes invasores.
- Hábitats perturbados Los ecosistemas que presentan escasa estabilidad provocan que las especies invasoras compitan con las especies nativas por los mismos recursos y nichos ecológicos inestables o inexistentes.
- Hábitat con ausencia de depredadores. La diversidad vegetal y animal no presenta depredadores en algunos hábitats como por ejemplo en los sistemas insulares. Por este motivo, cuando se introduce una especie invasora en dicho hábitat puede provocar capturas masivas sobre las especies nativas o no verse presionadas por la presencia de depredadores.

Las principales entradas de las especies exóticas se deben en su gran mayoría al transporte de mercancías o de viajeros, transportando voluntaria o accidentalmente los individuos de su hábitat natural a un nuevo hábitat. En este nuevo hábitat una especie exótica puede evolucionar de los siguientes modos (Castro et al., 2004; Andreu et al., 2012; Blanch & Soto., 2013):

- Las especies exóticas morirán si el ambiente no es favorable.
- Especies adventicias o no establecidas sobrevivirán, pero no se llegarán a reproducir.
- Especies naturalizadas o establecidas se desarrollan y sobreviven con bajas densidades poblacionales.
- Especies exóticas invasoras se desarrollan y sobreviven formando grandes poblaciones, compitiendo por los recursos. En ocasiones, se comportan como depredadores de las especies autóctonas, provocando impactos abióticos y socioeconómicos.

El coste por los daños y la lucha contra estas especies asciende, a nivel mundial, a 1 trillón de dólares anuales. En Europa esta cifra es de 12 billones de euros por año (Kettunen et al., 2008).

1.1. Especies de estudio

Las especies exóticas invasoras de agua dulce más comunes y que más daño producen en el regadío español son la almeja asiática, los briozoos y el mejillón cebra. Tanto la almeja asiática como el mejillón cebra se encuentran dentro del Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras (R.D. 630/2013 de 2 de agosto). Además, ambas se encuentran en la lista de las 20 especies invasoras más dañinas presentes en España (GEIB, 2006). En este apartado nos centraremos en describir las características y el ciclo de vida de estas especies.

1.1.1. Almeja asiática (*Corbicula fluminea*)

Identificación

La almeja asiática es una especie con unas dimensiones aproximadas a los 3 centímetros, llegando en ocasiones a los 5 cm. Posee unas valvas de consistencia dura, caracterizadas por tonalidades marrones, verdosas hacia amarillentas, con unas estrías de crecimiento muy marcadas que la diferencian claramente de otros bivalvos dulceacuícolas autóctonos. La clasificación taxonómica de esta especie es la siguiente:

- Grupo taxonómico: Fauna
- Phylum: Mollusca
- Clase: Bivalvia
- Orden: Veneroida
- Familia: *Corbiculidae*
- Especie: *Corbicula fluminea*, Müller, 1774



Figura 1. Identificación de adultos de almeja asiática. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Área de distribución y evolución de la población

Esta especie tiene su origen en Nativa del Sur, Este de Asia (Este de Rusia, Tailandia, Filipinas, China, Taiwán, Corea y Japón), Australia y África. Se ha introducido en Norteamérica, Sudamérica y Europa, entrando en la década de los 70 a Portugal y posteriormente a España, Francia, Holanda, Suiza, Gran Bretaña y por la cuenca del Danubio hasta Rumania

En nuestro país se localizó por primera vez en 1981. Actualmente se encuentra ampliamente distribuida en la mayoría de las cuencas hidrográficas. Las zonas donde existe mayor densidad de este molusco se concentran en las cuencas del Bajo Miño, Cataluña, Ebro, Guadiana y Duero.

La entrada de esta especie en los distintos países ha sido de forma accidental, mediante el agua de lastre de los barcos de carga y de forma intencionada con fines gastronómicos, como cebo para pesca deportiva, como alimento en acuariofilia (suplemento de proteína y calcio para cría de animales), etc. La propagación se puede producir fijada a macrófitos (plantas acuáticas) en embarcaciones trasladados de unas masas de agua a otras de forma natural, ya que en algunas fases de su ciclo vital se dispersan por las corrientes.

La ictiofauna local también puede influir en la propagación de *Corbicula fluminea* debido a que en algunos ejemplares de peces migradores se encontraron individuos de almeja asiática intactos.

Biología de la almeja asiática

El ciclo de vida de esta especie puede durar hasta siete años, en función del hábitat dónde se encuentre. Se alimenta de material orgánico que filtra del agua (algas, detritos, etc.). Se reproduce sexualmente, es hermafrodita y capaz de autofertilizarse; teniendo lugar la fertilización en el interior de la cavidad paleal dónde las larvas son incubadas en las hemibranquias internas.

Los huevos de *Corbicula* son ricos en vitelo, almacén de nutrientes esenciales para el crecimiento de los embriones. Además, las hemibranquias (uniones interlamelares) poseen un tejido glandular capaz de segregar una alternativa de alimentación para los embriones (Kraemer y Galloway., 1986).

Las larvas son desovadas a los 4-5 días de incubación, fijándose al sustrato o a la vegetación. Produciéndose la maduración completa entre los 3 y 6 meses. Existen dos ciclos de reproducción anualmente, en condiciones de alimento y humedad favorables, siendo estas entre finales de primavera y principios de verano; y de finales de verano a principios de otoño. Las larvas se desarrollan en las branquias de los adultos y son liberadas a través de su sifón a la columna de agua.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Estas variaciones en el número de ciclos reproductivos están influenciadas por la temperatura del agua y por la alimentación. El crecimiento de *Corbicula fluminea* es rápido ya que poseen elevadas tasas de filtración y asimilación. Cabe destacar su alta fecundidad, destacando una elevada tasa de mortalidad en todo su ciclo vital, lo que provoca que en la mayoría de las especies, las poblaciones estén dominadas por estadios juveniles.

Se caracteriza por ser una especie muy prolífica, ya que una almeja puede llegar a liberar más de 100.000 larvas a lo largo de su vida, por lo que tiende a alcanzar grandes densidades poblacionales acumulándose en la superficie en la que se reproduce. Destaca por tener un número reducido de depredadores.

Requerimientos ambientales y hábitat

Esta especie invasora es capaz de habitar todo tipo de ecosistemas como estuarios, lagos y ríos, mostrando una notable preferencia por agua dulce con efecto de marea y corrientes rápidas; donde predomine el oxígeno y la baja salinidad ya que son organismos muy sensibles a la contaminación. En el caso de aparecer en ambientes de agua estancada, se localizan próximas a las orillas con sedimentos bien oxigenados.

Los sustratos más adecuados para esta especie son las arenas limpias y finas, arcillas y sustratos de arenas gruesas donde introducir las conchas en las primeras capas de sedimentos.



Figura 2. Ejemplares de almeja asiática semienterrados en el sustrato. Fuente: Universidad de Santiago de Compostela.

Los factores que afectan a su densidad de población y distribución son:

- Las temperaturas excesivamente altas o bajas
- Elevada salinidad (menor al 5 %)
- Variaciones de caudal
- Alta alcalinidad

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Contaminación
- Presencia de bacterias virales y parasitarias en el entorno.

Fases	Temperatura (°C)
Formación de espermatozoides	16-28
Desarrollo larvario	$\geq 12,70$
Crecimiento	20-30

Tabla 1. Rangos óptimos de temperatura para la almeja asiática.

Esta especie puede sobrevivir 26 días en ambientes húmedos y 13 días en secos a 20 °C, reduciéndose de a 6 a 8 días con temperaturas mayores a 30°C (MCMAHON, 1979).

Impactos derivados de la expansión de la almeja asiática

La presencia de esta especie puede conllevar la aparición de diversos impactos tales como:

- Ecológicos. Su alta tasa de filtración y su alimentación provoca desajustes en los niveles de fitoplancton de un ecosistema, y la abundancia de la microfauna y flora bentónica.
- Económicos. Obstrucción de instalaciones hidráulicas, centrales energéticas y en general de las industrias que utilizan el agua como recurso. La causa principal es que los juveniles son malos nadadores, por lo que se introducen en distintas estructuras a las que se fijan, crecen, se reproducen y mueren, obstruyendo las instalaciones con ejemplares vivos y conchas de ejemplares muertos. Pueden obstruir conductos de riego y de drenaje en los períodos en los que estos llevan escaso caudal.
- Sanitarios. Contaminación del agua debido a la mortalidad estacional de las poblaciones de almeja asiática, en las épocas donde las condiciones ambientales no sean las idóneas para su desarrollo.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 3. Acumulación de adultos de almeja asiática en el partidor El Cuenco sito. en la Zona Regable del Bajo Guadalquivir. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

1.1.2. Briozoos (*Plumatella* sp.)

Identificación

Los briozoos son organismos coloniales y sésiles, cuyos individuos son invertebrados y miden menos de 0,5 mm de longitud. Se trata de organismos coloniales, sésiles, generalmente incrustados en rocas, plantas o conchas. Normalmente están cubiertos por una estructura protectora que deja un orificio por el que sale el lofóforo, un órgano especial del grupo que le sirve a la colonia para capturar el alimento.

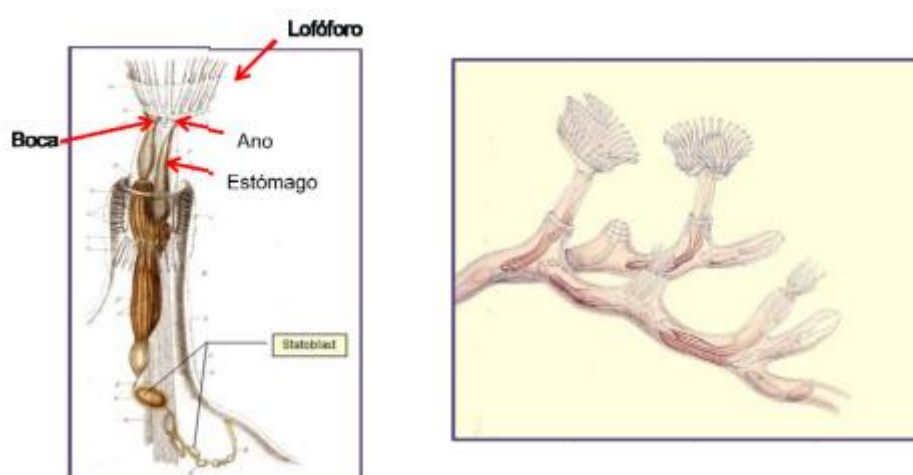


Figura 4. Esquema de un zooide del género *Plumatella* (izquierda). Colonia del género *Plumatella* formado por varios zooides (derecha). Fuente: Toscano Línea Electrónica S.L. (2015)

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Estas son semejantes a musgos "animales musgo" y se desarrollan sobre diversos sustratos, desde tallos de plantas o piedras hasta estructuras artificiales como filtros y tuberías. Los individuos de las colonias tienen diferentes formas, dependiendo de la especie a la que pertenezcan. Destacan las formas de caja, de óvalo o tubulares. La clasificación taxonómica de esta especie es la siguiente:

- Grupo taxonómico: Fauna
- Phylum: Bryozoa
- Clase: Phylactolaemata
- Orden: Plumatellida
- Familia: *Plumatellidae*, *Cristatellidae*, *Barentsiidae*
- Especie: *Plumatella* sp,

Los primeros investigadores los clasificaron, junto con los hidrozoos, en el grupo de los zoófilos. Se ha demostrado con estudios posteriores que los briozoos tienen un nivel superior que los hidrozoos, debido a la presencia de un verdadero celoma y tubo digestivo completo.

Área de distribución y evolución de la población

El phylum de los briozoos está compuesto por más de 5.000 especies mayoritariamente marinas (solo unas 50 especies son de agua dulce), que suelen vivir en epibiosis sobre algas, o incrustando diversos sustratos duros como piedras, valvas de moluscos, caparazones de crustáceos, etc.

El origen de estos organismos se encuentra en el Ordovícico Temprano, donde los organismos pluricelulares complejos vivían en el mar y la mitad de los géneros de la fauna desaparecieron para siempre. Braquiópodos y briozoos se extinguieron, junto con muchas familias de trilobites, conodontes y graptolitos, debido a una glaciación en este periodo que cambió por completo el clima templado.

En el periodo Jurásico, los briozoos fueron representados principalmente por los Cyclostomata y Ctenostomata, apareciendo los Cheilostomata a finales de ese período. Los Cyclostomata experimentaron una gran evolución en el Triásico, siendo dominantes en el Mesozoico.

La evolución de los Cyclostomata fue decreciente y la mayoría de los ciclostromados se extinguieron, siendo remplazados por los quilstomados, originados a partir de ctenostomados incrustantes uniseriales. La diversidad de los queilostomados se vio aumentada desde el Albiano o Cenomaniano hasta el Eoceno, permaneciendo unas 45-50 familias de este género.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Los Anasca posiblemente sean los ancestros de los Ascophora. Los Queilostomados se convirtieron en el grupo dominante de briozoos marinos desde el Terciario hasta la actualidad, superando a los Cyclostomata en la competencia por el sustrato.

La distribución original fue en Norteamérica, extendiéndose como polizón en barcos trasatlánticos. En la península ibérica se comenzó a expandir por los ríos Cávado, Ave, Duero, Vouga y Mondego.

Biología de los briozoos

Las colonias suelen ser hermafroditas, aunque en algunos géneros existen zooides exclusivamente masculinos o femeninos. Poseen gónadas simples, sin ductos, derivadas del peritoneo, y las gametas salen en el exterior por poros en el celoma.

La reproducción sexual produce larvas ciliadas de vida libre, las cuales pueden poseer tubo digestivo completo para alimentarse durante largos periodos de plancton (larvas planctotróficas), o pueden carecer de este y consumir sus reservas fijándose al sustrato (larvas lecitotróficas).

Seguidamente, la larva sufre una metamorfosis que produce la ancéstrula. Los briozoos poseen polimorfismo. Los zooides que se encargan de la alimentación y reproducción se denominan autozooides, mientras que los modificados para llevar a cabo una determinada tarea son polimorfos o heterozooides. Las cámaras donde se alojan se conocen como autozoecios y heterozoecios, respectivamente.

Tras fijarse sobre el sustrato, la larva sufre metamorfosis, convirtiéndose en un zooide primario o ancéstrula. En la mayoría de los gimnolemados, la ancéstrula es un zooide completamente desarrollado, presentando una morfología distinta al resto de los miembros de la colonia.

Los zooides son unidades modulares morfológicamente discretas semejantes a un animal completo, produciendo réplicas similares mediante un proceso de brotación asexual. Este mecanismo de producción de colonias se conoce como astogenia.

En una primera fase, los zooides experimentan variaciones morfológicas, aumentando de tamaño y complejidad. Los zooides en la zona de cambio astogenético se denominan neánicos. Conforme prosigue el proceso de brotación asexual, los zooides alcanzan una morfología definitiva. Esta fase se conoce como zona de repetición astogenética, y los zooides que la constituyen se llaman efébicos.

En definitiva, los zooides varían morfológicamente debido a cuatro causas principales: la astogenia, la ontogenia, el polimorfismo y las variaciones microambientales (desajustes en el sustrato o aglomeración por competencia con otras colonias).

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

El fenómeno conocido como homosíndrome, consiste en la fusión de colonias originadas a partir de distintas larvas de la misma especie, característico de los briozoos y otros invertebrados coloniales.

Los briozoos filactolemados, clase del presente estudio, son dulceacuícolas. Están ampliamente distribuidos ecológica y geográficamente, con alta proporción de especies cosmopolitas. No poseen polimorfismo, por lo que sus colonias están formadas por un solo tipo de zooide. Su lofóforo tiene forma de herradura, a diferencia del resto de clases que son circulares, teniendo numerosos tentáculos dispuestos en dos series y unidos en su base por una membrana intertentacular.

Una particularidad de esta clase es la presencia del epistoma, siendo una estructura primitiva relacionada con los forónidos y que se ha perdido en el resto del phylum. Consiste en una proyección de tejido hueco ubicada sobre la boca, cuya cavidad celómica o protocol es independiente del celoma del lofóforo o mesocel por un septo vestigial.

El tubo digestivo tiene forma de U y permanece unido a la pared ventral del cuerpo mediante un cordón de tejido mesenquimatoso llamado funículo. La reproducción sexual origina una larva que nada de forma libre durante un corto periodo de tiempo. La reproducción asexual es más común en los filactolemados, consistiendo en la producción de brotes de resistencia denominados estatoblastos.



Figura 5. Estatoblastos al microscopio (20x). Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Los estatoblastos se producen a través de un cúmulo de células en el funículo, portando una cubierta protectora con una sutura ecuatorial que determina dos valvas: dorsal y ventral. Algunos estatoblastos pueden flotar, ya que poseen un anillo con células llenas de aire.

Algunos filactolemados producen grandes cantidades de estatoblastos, que aseguran la persistencia de la especie durante la estación menos favorable. Son liberados a finales del verano, para brotar en la siguiente primavera. Debido a que los estatoblastos son extraordinarios medios de dispersión, la mayoría de las especies de filactolemados poseen

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

distribuciones geográficas muy amplias. Las colonias originadas a partir de estatoblastos provenientes de la misma colonia madre son genéticamente idénticas, pudiéndose considerar clones.

La forma de la colonia es diversa. En *Fredericella* y *Plumatella* los zooides son cilíndricos, dando lugar a colonias ramificadas. El zoario de *Pectinatella* es una masa gelatinosa y en *Cristatella* es similar a una babosa, permitiéndole el desplazamiento sobre el sustrato.

Requerimientos ambientales y hábitats

Los briozoos viven principalmente unidos a sustratos duros, como son rocas, conchas u otros organismos, incluidos otros briozoos. Estos organismos se pueden localizar a cualquier profundidad, siempre que exista suficiente material para su fijación y suficiente materia en suspensión para alimentarse. La mayor concentración se encuentra en los fondos de menos de 100 metros de profundidad.

Las especies más superficiales se adhieren a objetos flotantes (incluidos las aves en sus patas y plumajes), lo que permite su rápida dispersión. Debido a que muchos briozoos son sustratos de otros organismos, como crustáceos, anélidos, pueden contribuir al desarrollo de otras especies exóticas.

Los requerimientos ambientales se basan en temperaturas cálidas, entre 15 y 28 °C. En general, abundan en lugares oscuros con flujo continuo de agua, aportándoles un suministro ilimitado en partículas.

La alimentación de los briozoos consiste principalmente en fitoplancton, capturado mediante la generación de corrientes de agua gracias a la acción de los tentáculos ciliados del lofóforo.

Los briozoos pueden ser ingeridos incidentalmente por aves y forman parte de la dieta de los erizos de mar, que se alimentan de las colonias en epibiosis sobre las algas que constituyen su alimento principal.

Impactos derivados de la expansión de los briozoos

Los principales impactos generados por estos organismos son socioeconómicos, tales como:

- Paredes de las tuberías tamizadas por estos individuos, cuyas estructuras latentes resistentes, o estatoblastos, son las semillas para comenzar un nuevo ciclo.
- Bloqueo del flujo de agua en el interior de las tuberías.
- Obstrucción de los sistemas de filtrado por acumulación en sus orificios.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Disminución de las presiones y caudales en las tuberías e hidrantes.
- Aumento del volumen necesario de limpieza.
- Contaminación del agua de riego con gran cantidad de restos orgánicos.
- Aumento del coste energético debido a la pérdida de carga y aumento de los requerimientos de presión.
- Oxidación y corrosión en los elementos metálicos.
- Aumento del coste del tratamiento del agua.



Figura 6. Colmatación por briozoos en un filtro de mallas. Fuente propia.

1.1.3. Mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*)

Identificación

El mejillón cebra es un molusco bivalvo de agua dulce, que también resiste las aguas salobres, y que puede alcanzar unos 3 cm de longitud. Su concha tiene forma triangular y el borde externo romo, presentando un patrón de bandas en zigzag que justifica su nombre común.

Se trata de una especie de rápido crecimiento que alcanza pronto la madurez sexual con una elevada capacidad reproductora. Estas características biológicas lo convierten en un potente colonizador, sobre todo durante la fase larvaria, pudiendo dispersarse rápidamente a través de las masas de agua. Esta especie produce graves impactos ecológicos y económicos. La clasificación taxonómica de esta especie es la siguiente:

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Grupo taxonómico: Fauna
- Phylum: Mollusca
- Clase: Bivalia
- Orden: Veneroida
- Familia: Dreissenidae
- Especie: *Dreissena polymorpha*



Figura 7. Identificación de mejillón cebra adulto. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Área de distribución y evolución

El mejillón cebra es una especie cuyo origen se encuentra en los mares Negro y Caspio. A partir del siglo XIX se extendió por Europa central, debido principalmente a la navegación por la red de ríos y canales. En la década de los 80 del siglo pasado comienza la invasión en amplias áreas de América del Norte, donde el transporte marítimo de mercancías es el mayor vector de introducción.

Los factores principales de la expansión en las cuencas fluviales son los siguientes:

- Trasiego de embarcaciones.
- Usos deportivos y recreativos del agua provocando trasiego de material, tales como pesca, buceo, baño, etc.
- Trasvases entre cuencas fluviales.
- Aguas para el transporte de peces exóticos tanto para su pesca como para cebo vivo.
- Trabajos de conservación de ríos y de investigación que provocan traslados de material y de personas en contacto con el agua, de una masa de agua a otra.
- Captaciones de agua para riego o abastecimiento.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

El primer contacto con esta especie en nuestro país es en septiembre en 2001 en el río Ebro, continuando en la cuenca del Júcar y Segura. En 2009 se encuentra en el embalse de los Bermejales, conectado con el pantano de Iznájar, entre las provincias de Córdoba y Granada.

Actualmente, se encuentra en un proceso de expansión por los ríos donde ha sido introducida en España, y asimismo está colonizando aguas dulces en Europa, Asia y Norteamérica, causando enormes pérdidas económicas.

Biología del mejillón cebra

El mejillón cebra tiene 2 ciclos reproductivos anuales, coincidiendo con la primavera y el otoño. Son unisexuales, aunque se han constatado casos de hermafroditismo. La población de machos y hembras suele ser similar, las hembras se reproducen externamente a los dos años de vida produciendo en cada puesta unos 40.000 huevos (1 millón de descendientes al año).

Unos días después nacen las larvas que crecen y se dispersan muy rápidamente, formando en poco tiempo las mejilloneras formadas por un gran número de individuos donde también se congregan conchas de individuos muertos. Estas larvas son el modo de dispersión más frecuente, debido a que no son detectadas por su tamaño microscópico.

El ciclo biológico de los dreisénidos contiene una fase larvaria planctónica, que le otorga una elevada capacidad de dispersión en ambientes de escasa corriente. Su crecimiento es muy rápido, y puede ser fértil con apenas 5 mm de longitud en condiciones favorables, completándose su ciclo vital en algo más de un mes.



Figura 8. Larvas al microscopio del mejillón cebra. Fuente: <https://www.dicyt.com/viewItem.php?itemId=6475>

El ciclo biológico del mejillón cebra presenta dos etapas (Figura 10). La primera de ellas es planctónica, localizándose en la columna de agua y la segunda es bentónica, fijándose al sustrato.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Los mejillones cebras adultos viven entre 2 y 3 años en climas templados. La evolución de juvenil a adulto tiene lugar cuando superan los 6 mm de longitud. La tasa de crecimiento de juveniles y adultos está influenciada por factores ambientales, como temperatura, velocidad del agua y disponibilidad de alimento.

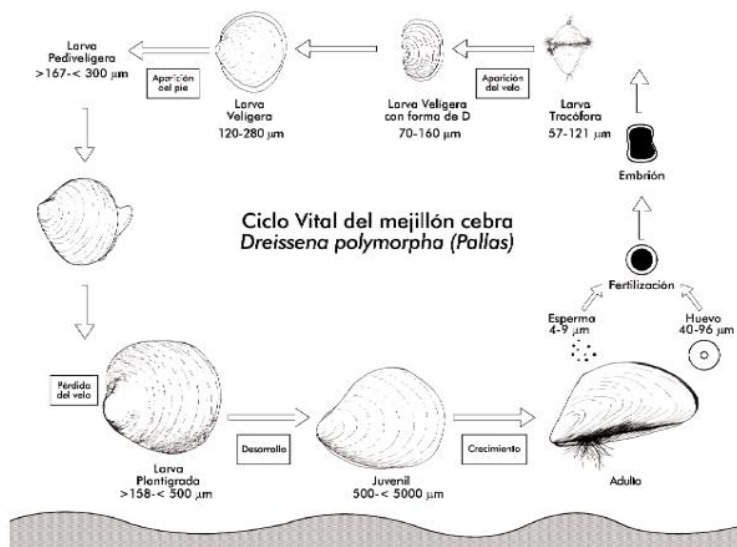


Figura 9. Ciclo biológico del mejillón cebra. Fuente: CEAM (2003).

Requerimientos ambientales y hábitats

El mejillón cebra suele vivir unos 3 años. Son moluscos de agua dulce y salobre, ocupando ríos, lagos y lagunas, siempre que encuentre superficies firmes donde adherirse, tanto en hábitats de fondos duros y blandos.

La temperatura mínima que soportan los ejemplares adultos es de 0°C para sobrevivir, para alimentarse 5°C, para crecer 10 °C y para reproducirse 12 °C. El límite superior para la supervivencia está entre 30 y 32 °C.

La filtración tiene lugar en un rango comprendido entre 5 y 30 °C y con pH alcalino. Vive en profundidades entre 0 y 60 metros, en aguas con una saturación de oxígeno disuelto superior al 50 % y con un contenido en calcio superior a 1,5 mg/l.

Esta especie presenta alta tolerancia a variaciones de salinidad, temperatura y cloro, resistiendo fuera del agua hasta unos 10 días (mayor mortalidad a bajas temperaturas) lo que posibilita su dispersión a partir de los individuos fijados en de embarcaciones o en bodegas de cargueros; aunque las invasiones a larga distancia se han producido a través de las aguas de lastre de buques de carga.

Estos individuos se adhieren al sustrato mediante un biso, formando extensos y densos racimos similares a las mejilloneras marinas. Prefieren aguas con poca corriente, inferiores a 1,5 m/s. Su alimentación se basa en plancton y materia orgánica en suspensión.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

En determinadas zonas del norte de Europa son valorados estos individuos por su acción clarificadora del agua y su capacidad de filtrado, descendiendo de forma notable la turbidez del agua.

Impactos derivados de la expansión del mejillón cebra

Los dreisénidos provocan impactos directa e indirectamente tanto en los hábitat como en las comunidades acuáticas. Estos impactos se agrupan en cuatro grandes grupos:

Impactos sobre el hábitat:

- Afección negativa en las condiciones ambientales de los ecosistemas acuáticos, debido a su voracidad de alimentación de fitoplancton.
- Alteración de las poblaciones de fitoplancton, alteración del ciclo del fósforo del agua, incrementando la deposición de materia orgánica en el fondo y por consiguiente reduciendo el oxígeno.
- Reducción de la biodiversidad de especies autóctonas
- Incremento de la población de algas y bacterias nocivas, reduciendo la concentración de fitoplancton, del que depende la cadena trófica de los ríos.
- Biodeposición en sustratos duros (las conchas son utilizadas como sustrato por organismos pedunculados y se concentran en los fondos).
- Incremento del número de aves acuáticas que se alimentan del mejillón cebra.

Impactos sobre otros organismos

- Es hospedador de parte del ciclo biológico de ciertos vectores, incrementando las tasas de incidencia de parásitos y enfermedades en otros organismos.
- Causante principal de la extinción de las especies autóctonas de bivalvos, desplazados por su mayor competitividad. En el Ebro *Margaritifera auricularia* corre un grave peligro de extinción y *Anodonta cygnea* y *Unio elongatulus* podrían llegar a desaparecer de los tramos colonizados por el mejillón cebra. El mejillón cebra coloniza las conchas de otros bivalvos provocando su asfixia y muerte.
- Cambios en las estructuras de las asociaciones del zooplancton por eliminación selectiva de algunas especies según su tamaño.
- Cambios en las estructuras del microplancton por ser ingerido por las larvas de los dreisénidos.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Las larvas y adultos de dreisénidos se convierten en presas de depredadores superiores.

Impacto sobre los recursos económicos

- Provoca daños en infraestructuras anejas al agua como depósitos, embarcaciones, motores, turbinas, etc.
- Coloniza tuberías y conducciones de agua poniendo en peligro el abastecimiento agrícola, industrial y de los núcleos urbanos, ya que obstruyen conducciones y sistemas de filtrado.
- Disminución de las presiones y caudales en las tuberías e hidrantes.
- Aumento del volumen necesario de limpieza
- Contaminación del agua de riego con gran cantidad de restos orgánicos
- Aumento de los costes energéticos debido a la pérdida de carga y aumento de los requerimientos de presión.
- Oxidación y corrosión en los elementos metálicos donde se fijan
- Afecta negativamente al turismo y a la pesca deportiva, ya que altera los hábitats de las especies de peces y las orillas de masas de agua, donde se pueden acumular grandes cantidades de mejillones muertos tras riadas o tormentas.



Figura 10. Adultos de mejillón cebra en filtro cazapiedras. Fuente propia.

2- Objetivos

Las líneas de actuación actuales para el control de las especies descritas en el apartado anterior van dirigidas a definir los mecanismos de control adecuados donde ya existe presencia de estas especies invasoras, a evitar la aparición de estas especies en nuevas zonas y a disminuir sus efectos negativos donde la incidencia de estos organismo es mayor.

2.1. Objetivos generales

El objetivo general de este estudio de ingeniería es evaluar las diferentes estrategias de control y/o erradicación de las especies invasoras implantadas en la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir y, por tanto, evitar poner en riesgo el abastecimiento de agua que presta esta Corporación.

Esta Corporación dispone de varios estudios para la evaluación del comportamiento de las especies invasoras y con este trabajo final de máster se pretende desglosar los datos obtenidos para proponer los resultados y conclusiones determinantes tras la búsqueda exhaustiva de la información que actualmente no se tiene agrupada en un solo documento y que se requiere para tenerlo como base en el presente y futuro del control de las especies invasoras.

Este trabajo es el inicio de una etapa esperanzadora donde me comprometo personalmente a seguir estudiando estas especies invasoras dentro del Departamento Técnico de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir donde poder seguir proponiendo nuevas ideas para su control.

Las estrategias descritas y evaluadas en este trabajo permiten ofrecer conocimientos y experiencias en cuanto al control de las especies exóticas invasoras en la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir, que podrán ser utilizadas por otros agentes afectados directa o indirectamente por estos organismos.

2.2. Objetivos específicos

Este estudio tiene como objetivos específicos la determinación de los tratamientos más viables desde el punto de vista técnico y económico, además de fijar el protocolo y método de aplicación más eficaz. Además, apuesta por las nuevas soluciones innovadoras, que superen las prestaciones de aquellas actualmente disponibles y que tengan en cuenta las siguientes tres variables:

- 1- Infraestructuras: embalses y conducciones de estos embalses hasta las infraestructuras de distribución de agua de riego, balsas de regulación, estaciones de bombeo, redes de riego y sistemas de filtrado.
- 2- Especies invasoras: Mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*, Pallas, 1771), almeja asiática (*Corbicula fluminea*, Muller, 1774) y especies de briozoo como *Plumatella repens* (Linnaeus, 1758).

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- 3- Estrategia de gestión: prevención de la presencia de las especies invasoras, control y/o erradicación de las especies invasoras, mitigación de la presencia de las especies invasoras y mantenimiento adecuado de las infraestructuras.

Para lograr estos objetivos el presente estudio persigue:

- Promover la información y sensibilización de toda la sociedad del grave problema que conlleva la expansión de las especies exóticas invasoras sobre nuestro ecosistema, suponiendo un coste para el regadío andaluz de 72 millones de euros.
- Establecer los criterios que guíen la actuación de las Comunidades de Regantes y Administraciones Públicas en el ejercicio de sus competencias.
- Orientar a regantes y empresa de servicios del sector acerca de las acciones que se deben llevar a cabo para lograr la mayor eficacia en el control de las especies invasoras.
- Impulsar mecanismos eficaces que requieran la coordinación rigurosa y eficaz entre todos los agentes implicados.

3- Antecedentes

En este apartado nos centraremos en la evolución que han tenido las tres especies invasoras en cuestión en la Península Ibérica, y más concretamente en Andalucía. Además, describiremos los diferentes antecedentes legislativos ligados a estas especies invasoras.

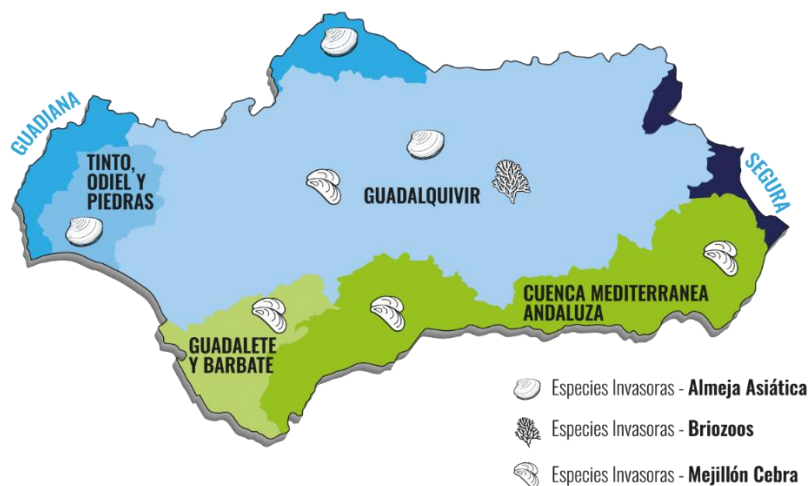


Figura 11. Mapa de Especies Invasoras en Andalucía. Fuente: INVAREGA.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

3.1. Cronología de la invasión

3.1.1. Almeja asiática (*Corbicula fluminea*)

En España, prácticamente todas las demarcaciones hidrográficas están afectadas por esta especie invasora. A continuación, exponremos la evolución cronológica de la almeja asiática por todo el país.

- 1980. Demarcación Hidrográfica del Tajo
- 1988. Demarcación Hidrográfica del Guadiana
- 1989. Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil
- 1993. Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir
- 1995. Demarcación Hidrográfica del Duero
- 1996. Demarcación Hidrográfica del Júcar
- 2002. Demarcación Hidrográfica del Ebro (embalse de Mequinenza)
- 2003. Demarcación Hidrográfica de la Cuenca Fluvial de Cataluña
- 2009. Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa
- 2013. Demarcación Hidrográfica del Segura

En el año 2009 la Consejería de Medio Ambiente a través del Programa Andaluz para el control de las especies exóticas invasoras valoró la distribución de esta especie por la Comunidad Autónoma debido al grado de coincidencia con diversas especies de moluscos bivalvos dulceacuícolas autóctonos amenazados (*Unio cf. Pictorum* (VU), *Potomida littoralis* (VU) y *Anodonta anatina*), así como las fuentes de entrada de estos individuos exóticos.

Tras la primera fase del estudio, se confirmó que la almeja asiática está presente en diversos tramos de las cuencas del Guadiana y del Guadalquivir, además de las subcuencas del Tinto-Odiel-Piedras y Guadalete-Barbate.

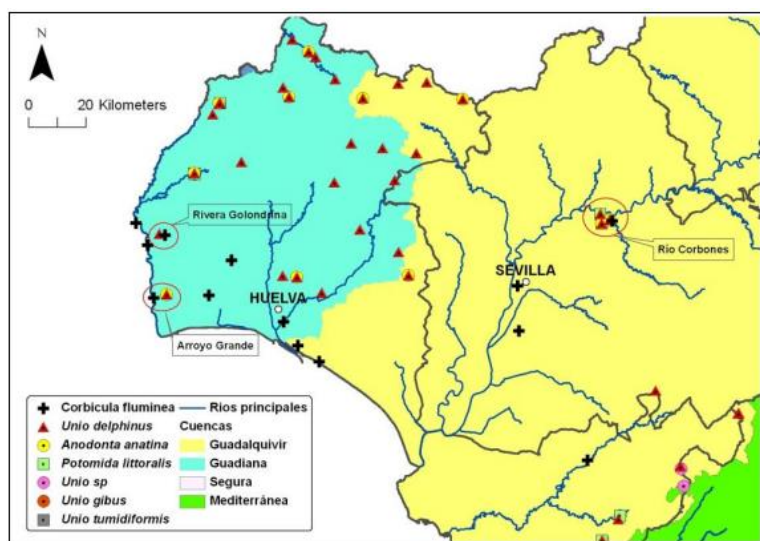


Figura 12. Cuencas afectadas por *Corbicula fluminea*. Fuente: Boletín informativo sobre Geodiversidad y Biodiversidad de Andalucía (2010).

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

3.1.2. Briozoos

Los primeros estudios sobre la presencia de Briozoos en la Cuenca del Guadalquivir datan del año 2004, debido a los problemas generados por estos microorganismos en los sistemas de riegos de agricultores, que producía la obstrucción de sus filtros y emisores de riego por la existencia de lo que al principio denominaban “raicillas”.

Estos problemas llegaron a transcender a los sistemas de microfiltrado existentes en las captaciones del agua de río, donde se llegaba a producir la colmatación de los filtros.

En un estudio realizado por la empresa DBO₅ solicitado por la Confederación hidrográfica del Guadalquivir en el año 2013, se detectaron e identificaron briozoos en 17 de los 30 puntos de muestreo en las siguientes Comunidades de Regantes:

- Valle Inferior del Guadalquivir
- Bajo Guadalquivir
- Bembézar margen derecha
- Genil margen derecha
- Genil margen izquierda
- Fuente Palmera
- El villar
- Pantano del Guadalmellato
- Genil- Cabra
- Villafranca
- San Rafael
- Sector BXII Bajo Guadalquivir.

En todas las estaciones de riego donde se han localizado estos individuos presentan un sistema de riego similar: balsa de regulación, estación de bombeo y filtrado y riego por goteo (Serrano y Gros, 2015).

En estos muestreos se reconocieron las siguientes especies: *Plumatella vahiriae*, *Plumatella bombayensis*, *Pumatella reticulata*, *Plumatella emarginata*, *Paludicella articulata* y *Urnatella gracialis* (Serrano y Gros, 2015). Además, el experto en briozoos a nivel mundial Timothy Wood, identificó también la presencia de la especie *Plumatella casmiana* en la Comunidad de Regantes del Villar en 2010, e identificó a la especie *P. vahiriae* como la causante del biofouling.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

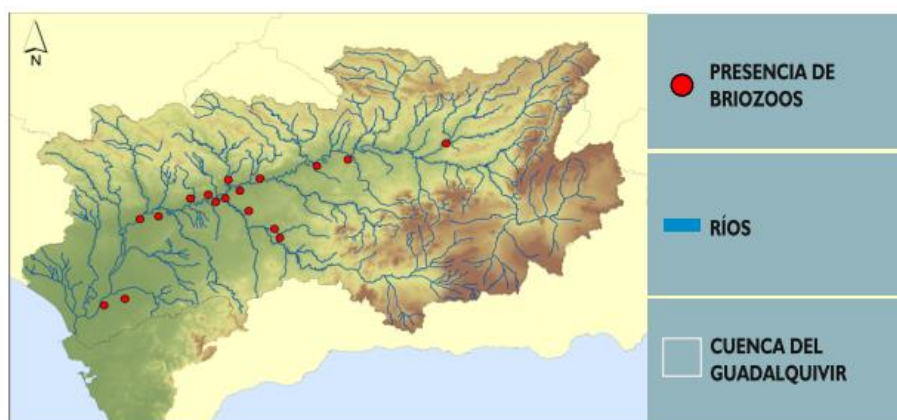


Figura 13. Ubicación y extensión de los Briozoos en la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir. Fuente: DBO₅ (2013).

3.1.2. Mejillón cebra

La expansión del mejillón cebra en España se desarrolla de la siguiente forma por las Demarcaciones Hidrográficas:

- 1980. Cuenca del río Llobregat. La riada de 1983 destruyó la incipiente población.
- 2001. Demarcación Hidrográfica del Ebro. Primeras poblaciones estables del mejillón cebra, localizados en el meandro de Flix. Los estudios posteriores confirman su presencia en Flix y Ribarroja.
- 2005. Demarcación Hidrográfica del Júcar (Embalse de Sitjar)
- 2009. Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir (Embalse de Los Bermejales)
- 2011. Demarcación Hidrográfica del Cantábrico y Cuencas internas catalanas
- 2015. Cuencas intracomunitarias andaluzas
- 2019. Demarcación Hidrográfica del Segura
- 2020. Cuencas del País Vasco.

EMBALSES CON PRESENCIA DE MEJILLÓN CEBRA

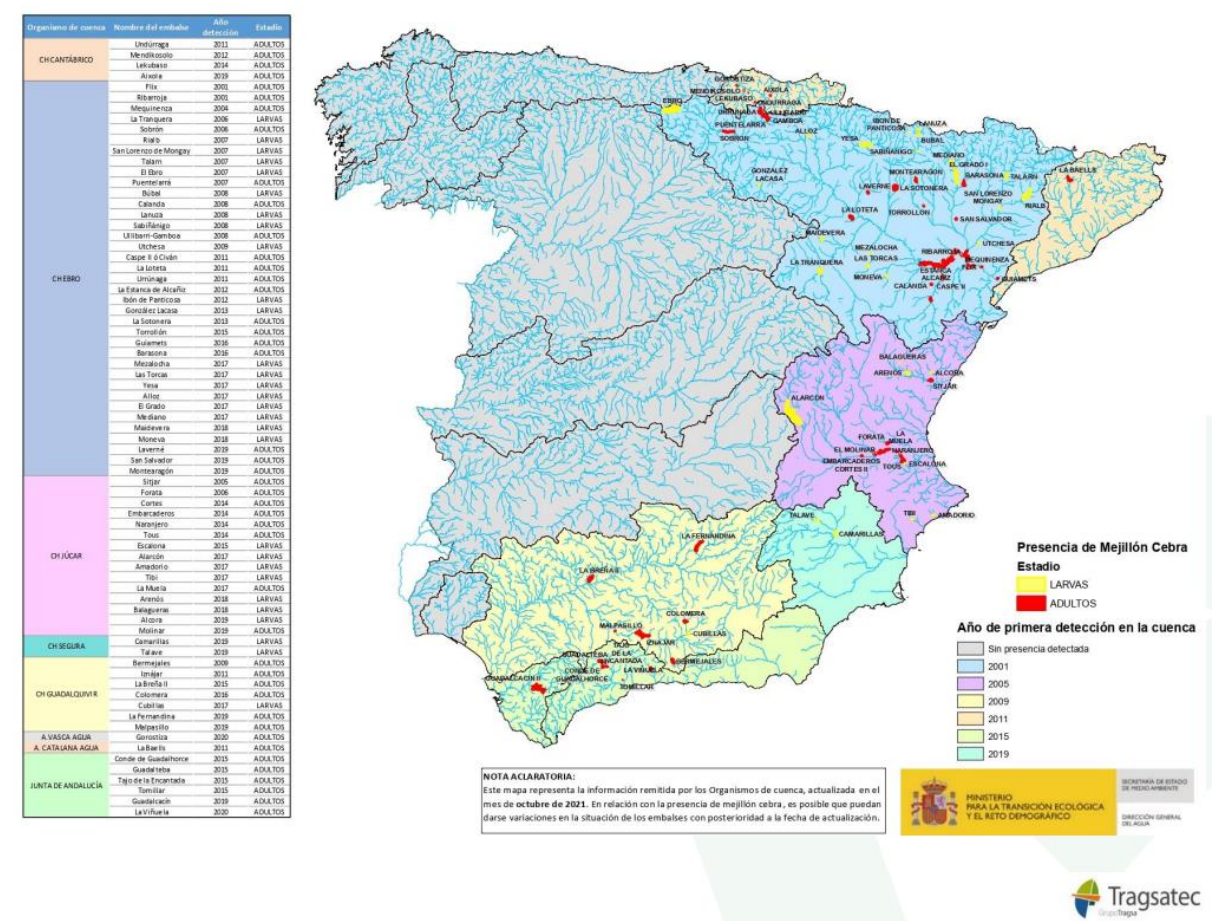


Figura 14. Embalses con presencia de mejillón cebra. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (2021)

En la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir, los primeros individuos se detectan en el año 2009 en el embalse de Bermejales, y posteriormente en 2011 en el embalse de Iznájar. La propagación tiene lugar a través del Río Genil (Figura 16), llegando al Río Guadalquivir en diversos puntos de interés como el Embalse de la Breña II y Comunidades de Regantes como Genil-Cabra, Bajo Guadalquivir y Valle Inferior del Guadalquivir.

El 27 de mayo de 2015 el Servicio de Protección de la Naturaleza (Seprona) de la Guardia Civil detectó por primera vez en el Embalse de la Breña II 22 ejemplares adultos de mejillón cebra. En agosto de 2014 se detecta por primera vez en las infraestructuras de las Comunidades de Regantes del Bajo Guadalquivir y Valle Inferior del Guadalquivir.

Los embalses de Conde Guadalhorce y Guadalteba (Cuenca Mediterránea Andaluza), Zahara (Cuenca del Guadalete-Barbate) se encuentran afectados por mejillón cebra desde 2014. Además, desde el año 2016 también hay presencia de esta especie en los embalses de Colomera y Cubillas en Granada. En definitiva, el mejillón cebra se encuentra en todas las cuencas andaluzas.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Fruto de la gran colonización del mejillón cebra ha hecho que se haya detectado en las bombas de desagüe de drenaje de la Comunidad de Reganes del B-XII del Bajo Guadalquivir, confirmando su expansión en el canal del Bajo Guadalquivir que abastece a unas 100.000 ha y que se encuentra a escasos 40 Km del Parque Nacional de Doñana, lo que supone una elevadísima amenaza a la biodiversidad. De este canal se abastecen las Comunidades de Regantes del Genil Margen Izquierda (7.000 ha), Valle Inferior del Guadalquivir (18.945 ha), Bajo Guadalquivir (42.000 ha), Marismas del Guadalquivir (13.000 ha), B-XII (15.000 ha), Valdeojos-Hornillos (700 ha), B-XI, Toril-Quincena (400 ha) y toda la zona arrocerá de la margen izquierda (12.000 ha).



Figura 15. Expansión del mejillón cebra por la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir. Fuente: ABC Córdoba (2014).

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 16. Presencia del mejillón cebra en la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir en 2015. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

3.2. Antecedentes legislativos

Las normativas y acuerdos fijados a nivel autonómico, nacional e internacional para el control de las especies invasoras son los siguiente:

- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad:
 - Artículo 61.3 Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras. La inclusión en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras conlleva la prohibición genérica de posesión, transporte, tráfico y comercio de ejemplares vivos o muertos, de sus restos o propágulos, incluyendo el comercio exterior. Esta prohibición podrá quedar sin efecto, previa autorización administrativa, cuando sea necesario por razones de investigación, salud o seguridad de las personas.
 - Art. 71.6.f): Se considerarán infracciones administrativas: f) La introducción de especies alóctonas incluidas en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, sin autorización administrativa.
 - Art. 77. c) Infracciones muy graves, multas de 200.001 a 2.000.000 de euros, sin perjuicio de que las Comunidades autónomas puedan aumentar el importe máximo.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras:
- Reglamento (UE) 1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de octubre de 2014 sobre la prevención y la gestión de la introducción y propagación de especies exóticas invasoras.
- Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD), 1992.
- Convenio relativo a la conservación de la vida silvestre y del medio natural de Europa. Berna 1979.- Estrategia Europea sobre Especies Exóticas Invasoras (2004).
- Convenio internacional para el control y gestión de las aguas de lastre y sedimentos de los buques.
- Normativa de navegación fluvial aprobada por los organismos de cuenca.
- Normativa de pesca fluvial aprobada por las CC.AA
- Programa Andaluz para el control de las especies exóticas invasoras
- Orden FYM/1493/2011, de 23 de noviembre, por la que se establece la Normativa Anual de Pesca de la Comunidad de Castilla y León para el año 2012. (BOCYL nº 230, 26 Nov. 2011).
- Decreto 187/2005, prohíbe la tenencia y transporte en vivo, al igual que la del resto de bivalvos de agua dulce.
- Decreto 213/2009, de 20 de noviembre, del Consell, por el que se aprueban medidas para el control de especies exóticas invasoras en la Comunitat Valenciana. (Diario Oficial C.Valenciana nº 6.151 24.11.2009). Anexo: I.
- Orden 30-5-2007. Programa de Actuaciones Mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*).
- Orden de 16 de febrero de 2011, por la que se fijan y regulan las vedas y períodos hábiles de pesca continental en la Comunidad Autónoma de Andalucía. (Boletín Oficial Junta de Andalucía, núm. 49, 10 de marzo 2011).
- Orden FYM/1493/2011, de 23 de noviembre, por la que se establece la Normativa Anual de Pesca de la Comunidad de Castilla y León para el año 2012. (Boletín Oficial de Castilla y León, núm. 230 martes, 29 de noviembre de 2011).

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Resolución AAM/440/2012, de 7 de marzo, por la que se fijan las especies pescables, hábiles de pesca y las aguas en que se puede llevar a cabo la actividad de la pesca en las aguas continentales de Cataluña durante la temporada 2012. (Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, núm. 6087, 14 de marzo de 2012).
- Orden 3/2012 de 9 de febrero, de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por la que se fijan los períodos hábiles de pesca y normas relacionadas con la misma en aguas de la Comunidad Autónoma de La Rioja, durante el año 2012. (Boletín Oficial de La Rioja, núm. 23, 22 de febrero de 2012).
- Orden Foral 89/2012, de 27 de febrero, de la Consejera de Desarrollo Rural, Industria, Empleo y Medio Ambiente, por la que se establece la normativa específica que regirá la pesca en Navarra durante el año 2012, incluyendo determinadas medidas de control de poblaciones de especies exóticas invasoras.
- (Álava) Orden Foral 81/2012 de 29 de febrero, reguladora del aprovechamiento de la Pesca Continental en el Territorio Histórico de Álava durante el año 2012. (BOTH, núm. 31, 14 de marzo de 2012).
- (Bizkaia): Orden Foral 913/2012, 27 de febrero, de la diputada foral de Agricultura, sobre períodos hábiles y vedas de pesca continental en el Territorio Histórico de Bizkaia para 2012. (Boletín Oficial de Bizkaia, núm. 47, 7 de marzo de 2012).

En el mapa adjunto se resumen las actuaciones de control o eliminación llevadas a cabo por el Programa Andaluz para el Control de las Especies Exóticas Invasoras.



Figura 17. Control de las Especies Exóticas Invasoras en Andalucía. Fuente: Programa Andaluz para el Control de las Especies Exóticas Invasoras (2012)

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

3.3. Clasificación de las especies exóticas invasoras

La especies exóticas invasoras se clasifican dentro del Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras en los siguientes grupos taxonómicos:

CATÁLOGO ESPAÑOL DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS					
Grupos taxonómicos	Familias	Géneros	Especies	Variedad/subespecie	Total taxones
Hongos			1		1
Algas			15		15
Flora		5	64		69
Invertebrados no artrópodos			17		17
Artrópodos no crustáceos		2	17		19
Crustáceos			12		12
Peces		1	21		22
Anfibios			4		4
Reptiles	1		6		7
Aves		4	13		17
Mamíferos	2	1	12	1	16
Total					199

Tabla 2. Clasificación taxonómica de las especies exóticas invasoras. Fuente: Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras.

La Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, creó, en su artículo 64, el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, en el que se han de incluir todas aquellas especies y subespecies exóticas invasoras que constituyan, de hecho, o puedan llegar a constituir una amenaza grave para las especies autóctonas, los hábitats o los ecosistemas, la agricultura, o para los recursos económicos asociados al uso del patrimonio natural.

La aprobación del Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras y se desarrollaron los taxones integrantes de dicho Catálogo. Además, la Sentencia del Tribunal Supremos 637/2016 ha supuesto la inclusión en el Catálogo de diferentes taxones que previamente habían sido eliminados del mismo.

Por otro lado, la Ley 7/2018 de 20 de julio, de modificación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, actualizó varios aspectos referidos a la regulación de las especies exóticas invasoras en cuanto a su caza y pesca, atribuyendo a la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad de poder suspender el procedimiento de inclusión de nuevas especies en el Catálogo o promover la descatalogación.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

El Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras está abierto a modificaciones permanentes. El artículo 5 del Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, determina el procedimiento de inclusión o exclusión de especies en este catálogo. Básicamente, se requiere una solicitud justificada (según modelo de argumentación científica que se incluye al final de la página), una memoria técnica con un análisis de riesgo, dictamen del Comité Científico (disposición adicional décima del Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto) y, tras informe del Comité de Flora y Fauna Silvestres, será la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad quien debe decidir si se modifica o no el catálogo.

La primera modificación del Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras fue a través del Real Decreto 216/2019, de 29 de marzo, por el que se aprueba la lista de especies exóticas invasoras peligrosas para la región ultraperiférica de las Islas Canarias y por el que se actualiza el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras. Gracias a este hecho se incluyeron cuatro nuevas especies de fauna, una de flora y se amplió a Canarias el ámbito de aplicación para *Cortaderia spp.* Además, se modificó la disposición transitoria cuarta del Real Decreto 630/2013 para ampliar el plazo de información sobre posesión de ejemplares de especies incluidas en el catálogo a las autoridades competentes.

Este Catálogo se modificó también a través de la Orden TED/1126/2020, de 20 de noviembre, que modifica el Anexo del Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, con la inclusión de una especie de flora, un alga y una termita, así como una precisión taxonómica referida al género de plantas *Cylindropuntia*.

La última modificación del Catálogo se realizó con la entrada en vigor de la Orden TED/339/2023, de 30 de marzo, con la inclusión de una especie de flora, cuatro insectos, una especie de pez continental y la familia *Herpestidae* (mangostas), con excepción de *Herpestes ichneumon*.

Ante la detección de una nueva especie exótica invasora, especialmente si está incluida en el Catálogo español de especies exóticas invasoras, se le comunicará a la autoridad ambiental comunitaria competente correspondiente. Además, podrá notificarse al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Subdirección General de Biodiversidad Terrestre y Marina, buzon-sgb@miteco.es) que lo transmitirá, a través de su Red de Alerta (artículo 14 del Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto), a las diferentes comunidades autónomas.

El mejillón cebra y la almeja asiática están incluidos en este Catálogo, debido a su afección en diversas zonas del país. En cambio, los briozoos no aparecen en esta clasificación debido a que muchos de ellos, y especialmente los de colonias ramificadas, son sustrato de otros organismos, como crustáceos y anélidos, pueden no sólo constituir por sí mismos especies exóticas introducidas, sino a su vez ser vehículo de la llegada de otras.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

FERAGUA (Asociación de Comunidades de Regantes de Andalucía) ha presentado las alegaciones pertinentes al Proyecto de Orden Ministerial por el que se modifica el anexo del Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas, que se encuentra en período de consulta pública. En el documento, dicha asociación propone la inclusión de la especie invasora *Paludicella articulata*, dentro del Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras.

Esta organización, argumenta que estos organismos invertebrados causan graves daños en todos los ecosistemas. Produce grandes transformaciones en la composición y estructura de los ecosistemas naturales, afectando negativamente a la diversidad biológica de estos; ya que compite por el espacio y recursos con las especies autóctonas. Su elevada densidad de población provoca grandes acumulaciones en los lugares donde se reproduce; obstruyendo instalaciones hidráulicas y centrales eléctricas.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Modelo de argumentación científica para las propuestas de inclusión o exclusión de taxones en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras
(Con asterisco* se indican los apartados imprescindibles a cumplimentar)

Nombre científico*	Género, especie, autor, año
Observaciones taxonómicas	Comentarios sobre aspectos taxonómicos o sinonimias
Nombre vulgar	Castellano: Catalán: Gallego: Vasco:
Propuesta*	Inclusión o exclusión del Catálogo español de especies exóticas invasoras
Responsable de la propuesta*	
Expertos, Instituciones o CCAA que apoyan la propuesta	
Breve resumen de la propuesta y cumplimiento o no de requisitos legales*	Cumplimiento del Art. 64.1 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad y del Art. 4.1 del Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras.
Normativa nacional	Incluido en Catálogo español de especies exóticas invasoras
Normativa comunidades autónomas	Incluido en Listados o Catálogos regionales de especies exóticas invasoras.
Normativa europea	Incluido en el Listado de Especies Exóticas Preocupantes para la UE, regulado por Reglamento UE 1143/2014. Otra normativa:
Acuerdos y Convenios Internacionales	
Bases de datos y Atlas de Especies Exóticas Invasoras	Por ejemplo, señalar si se encuentra incluido en alguna de las siguientes bases de datos de especies exóticas invasoras: • Escala Mundial: GRIIS (Registro Global de Especies Introducidas e Invasoras); CONABIO; CABI • Escala Europea: DAISIE, NOBANIS, EASIN (Elaboración de inventarios de especies exóticas invasoras en Europa) Otras:
Área de distribución y evolución y tamaño de la población*	• Área de distribución natural • Área actual de distribución mundial • Distribución en España: CCAA y áreas geográficas en las que se localiza Incluir información sobre Sistemas de Información geográfica (cuadrículas UTM, etc.) si se dispusiera de ella, así como cartografía.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

	Información sobre <u>tamaño poblacional</u>. De disponer de datos, para toda España y para cada zona concreta (CCAA, áreas geográficas, etc). Si se dispusiera de datos, información sobre <u>tendencias poblacionales</u>, para toda España y para zonas concretas. Nota: La información de este apartado puede ser ampliada con la disponible para otros países en los cuales el taxón también se comporte como invasor.
Biología y ecología de la especie*	Breve descripción de las principales características biológicas y ecológicas de la especie, incluyendo, entre otras: ciclo de vida, reproducción, alimentación, mortalidad, comportamiento, dispersión, depredadores naturales , etc.
Descripción del hábitat*	Descripción de los distintos tipos de hábitat o ecosistemas utilizados por el taxón, tanto en su área de distribución natural como en las zonas donde está presente en España y otros países donde se comporte como especie invasora.
Vías de entrada y expansión*	Vías de entrada (intencionales y no intencionales) y forma de expansión (natural o con la ayuda humana). Breve historial de su comportamiento invasor.
Similitud climática entre las áreas de origen de la especie y España	¿Está presente de manera natural esta especie en una región con condiciones climáticas similares a las del territorio español? ¿El cambio climático podría favorecer su establecimiento y dispersión como especie invasora?
Impactos y amenazas*	Descripción de su impacto sobre los hábitats naturales o ecosistemas, las especies autóctonas, la salud humana, la sanidad animal o vegetal (debido a parásitos o patógenos), la agronomía o los recursos económicos asociados al uso del patrimonio natural. Al menos en España. Se pueden incluir otros países donde también se comporte como taxón invasor. ¿Ha producido pérdidas económicas directas o indirectas en su área de distribución natural o allí donde se comporta como invasor?
Medidas y nivel de dificultad para su control*	¿Existen métodos de control efectivos que se puedan aplicar? Breve descripción de las medidas <u>propuestas</u> , <u>existentes</u> o ya <u>aplicadas</u> para paliar el efecto de la invasión. ¿Existen factores sociales que puedan dificultar el control de la especies en caso de se establezca?
Otra información de interés	Información que, a juicio del proponente, es relevante para el mejor conocimiento de la especie, su catalogación o descatalogación.
Referencias bibliográficas*	Reseña de todas las citas bibliográficas, documentos, informes u otras fuentes utilizadas para la elaboración de la presente propuesta.
Información de contacto*	Nombre, Dirección, Institución, E-mail, Teléfono.
Fecha de la propuesta*	

Otra información a adjuntar para la propuesta si se considera oportuno (Otra cartografía, copia de publicaciones científicas o informes técnicos, etc).

Figura 18. Modelo de argumentación científica para las propuestas de inclusión o exclusión de taxones en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras. Fuente: Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras.

3.4. Clasificación y catalogación de las masas de agua

El ámbito de la estrategia nacional para el control de las especies invasoras engloba a todas las aguas superficiales, naturales o artificiales, y estuarinas de España. La especie *Dreissena polymorpha* es con la que más se ha avanzado y por lo tanto nos centraremos en ella en este apartado y en el que veremos a continuación. Las masas de agua se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Masas de agua afectadas. Aquí podemos encontrar ríos, embalses, lagos, etc., que tienen presencia de mejillón cebra en fase adulta o larvaria.
- Masas de agua no afectadas. Se trata de aquellas masas de agua que no existe presencia de mejillón cebra.
- Masas de agua de especial protección. Existen tres tipos de masas de agua (colonizadas o no):
 - Embalses, subcuencas o tramos de los cuales se trasvasa aguas a otras cuencas.
 - Embalses de abastecimiento a poblaciones, colectivos o usuarios importantes.
 - Embalses, subcuencas, tramos o masas de agua donde la colonización por mejillón cebra puede provocar graves daños irreparables sobre espacios naturales protegidos, hábitat de interés comunitario o especies catalogadas.
- Masas de aguas cerradas. Son instalaciones artificiales como industrias, captaciones de riegos, balsas, etc.

La Diputación Provincial de Córdoba junto con la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir ha definido tres niveles de infección por el mejillón cebra en los embalses andaluces:

- Prealerta. Masas de agua sin presencia de mejillón cebra, ni adultos ni larvas. Además, estos puntos de control no están situados aguas debajo de embalses donde se haya detectado la presencia de larvas y/o adultos.
- Alerta. Masas de aguas en la que puntualmente se han encontrado larvas y/o individuos adultos, y/o se encuentran aguas debajo de zonas con presencia de larvas y/o individuos adultos.
- Alarma. Masas de agua con presencia confirmada y reiterada de individuos adultos y larvas de mejillón cebra.

3.5. Actuaciones preventivas para la detección temprana y monitorización

Las medidas de actuación que se desarrollan en este apartado son fundamentales para evitar y limitar la expansión del mejillón cebra, disminuyendo las consecuencias que produce.

3.5.1. Medidas previas

Se propone diversos protocolos, donde se detallarán los elementos implicados y los procesos para su desinfección con el objetivo de impedir el desarrollo o dispersión de las especies invasoras. Estos protocolos son los siguientes:

- Protocolo de limpieza de embarcaciones
- Protocolo de desinfección para el material de pesca y de otros usos recreativos
- Protocolo de desinfección para equipos de trabajos acuáticos
- Protocolo de limpieza para hidroaviones y otros medios para extinción de incendios
- Protocolo de detección y seguimiento.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR

COMISARÍA DE AGUAS

PROTOCOLO DE DESINFECCIÓN Y LIMPIEZA DE EMBARCACIONES Y EQUIPOS DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR

De acuerdo con lo establecido en el art.4 de la *Directiva 2000/60/CE Marco del Agua*, de 23 de octubre de 2000: *"Los estados miembros habrán de aplicar las medidas necesarias para prevenir el deterioro del estado de todas las masas de agua superficial"*.

La creciente circulación de embarcaciones en las aguas continentales aumenta el riesgo de impacto sobre el estado ecológico de las masas de agua, de forma que determinadas especies que en un entorno pueden ser consideradas autóctonas y beneficiosas, en otras pueden ser invasoras y perjudiciales.

Por lo tanto, **será obligatorio el cumplimiento del siguiente "Protocolo de desinfección de embarcaciones y equipos"**, formado por un conjunto de medidas preventivas y de desinfección, que deben realizarse inmediatamente después de la finalización de la navegación o flotación:

1º Vaciado de las aguas presentes en la embarcación, el material auxiliar, el vehículo de transporte y el remolque. Desagüe del agua de lastre, del interior de piraguas y barcas y vaciado y limpieza de viveros para el almacenamiento de aguas residuales o procedentes del río. Se efectuará en las zonas indicadas, que consistirán en un terreno drenante y especialmente preparado para efectuar esas labores.

2º Revisión visual e inspección de la embarcación, de su interior, de remolques y vehículos de transporte, con el objeto de retirar los residuos y el material vegetal, que hayan podido adherirse al casco o motor de la embarcación. Posterior recogida en un recipiente para desecharlo en contenedores de residuos sólidos urbanos.

3º Aplicación de sistema mecánico de limpieza y adición de agua caliente a presión (mínimo 160 Bar y 60°C). Todas las aguas de limpieza se recogerán en una canaleta de recogida y verterán a terreno drenante. Nunca se desaguará directamente a embalse, río o cualquier cauce de agua, ni a ningún dispositivo de drenaje o saneamiento. En la limpieza se incidirá especialmente en los siguientes aspectos:

- **Aplicación del agua a presión a toda la embarcación** (casco, motor, espacio interior, etc), al remolque y a las zonas del vehículo de transporte de la embarcación que hayan estado en contacto con el agua, a los recipientes o departamentos utilizados como viveros para el almacenamiento de aguas residuales o aguas procedentes del río, y a cualquier otro elemento que haya podido estar en contacto con las aguas en las que se haya efectuado la navegación.
- **Limpieza y revisión de puntos críticos**, como son las zonas menos accesibles y de mayor riesgo. Las zonas de la embarcación menos accesibles se deberán pulverizar con disolución desinfectante (para una concentración de lejía del 5%, se debe añadir unas 20 gotas a cada litro de agua).
- **Limpieza de los circuitos de refrigeración de los motores** mediante:
 - Aceleración antes de parar el motor, dentro del agua, para elevar la temperatura del motor y la velocidad del agua de circulación.
 - Posteriormente, extracción del motor del agua y recirculación de agua limpia mediante inmersión en cubeta o utilización de orejeras para hacer circular agua caliente a presión por el circuito de refrigeración.
- **Los equipos de pesca** (botas, neoprenos, vadeadores, redes, aparejos, sensores, etc) utilizados deben ser desinfectados mediante la aplicación del método de hidrolimpieza descrito anteriormente o, en su defecto, fumigados con solución desinfectante a base de lejía. Posteriormente todo el material será secado para evitar transporte de larvas.



4º Secado de embarcaciones y materiales mediante elementos secantes o al aire. Las embarcaciones deben permanecer al menos 7 días fuera del agua para asegurar la muerte de cualquier larva. Durante este tiempo se debe procurar el secado completo de la embarcación y de los aparejos, herramientas, instrumentos o aparatos que hayan estado en contacto con el agua, impidiendo que quede agua retenida en alguna de las partes de la embarcación o de los citados equipamientos.

Figura 19. Protocolo de desinfección y limpieza de embarcaciones y equipos de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG). Fuente: CHG

3.5.2. Medidas legislativas

Para llevar a cabo esta estrategia es necesario la elaboración de instrumentos normativos en las diferentes Comunidades Autónomas, tales como:

- Reglamentos de la autorización administrativa para la navegación y flotación en las aguas superficiales que determinan el artículo 51 del texto refundido de la Ley de Aguas. En este se debe establecer:
 - Matriculación de embarcaciones de navegación o flotación.
 - Registro estatal de embarcaciones para la navegación, donde aparezcan los titulares, el tipo de embarcación y los embalses o tramos de río en los que disfruta de permiso de navegación.
 - Libro de navegación donde se recojan los datos anteriores y se registre el trasiego de la embarcación y las pautas de desinfección.
 - Normas dirigidas para prohibir o condicionar la expedición de permisos para navegar en aguas no afectadas a aquellas embarcaciones que hayan tenido permiso de navegación en aquellas que si lo están.
- Normas que, con carácter de legislación básica estatal y amparo del título competencial en materia de medio ambiente, fijen la regulación coordinada de aquellos aspectos de la pesca en aguas continentales que entrañen mayor riesgo, tales como:
 - Prohibición de la pesca de especies no autóctonas, supeditando esta actividad exclusivamente a casos autorizados por los organismos competentes.
 - Limitación de diversos cebos vivos o ciertos útiles auxiliares (salabardos, redes...).

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Medidas dirigidas a la regulación del transporte de especies piscícolas vivas.
 - Tipificación de las infracciones derivadas del incumplimiento de las prohibiciones relacionadas con la introducción de especies alóctonas.
 - Autorizaciones o permisos de pesca en aguas afectadas y no afectadas.
- Normas dirigidas a la creación de un catálogo de las aguas superficiales clasificándolas en afectadas, no afectadas y de especial protección. Este Catálogo debe ser de responsabilidad de los órganos competentes de la Administración General del Estado, correspondiendo a las Comunidades Autónomas las propuestas de inclusión que correspondan.
 - Normas para establecer la regulación de los diferentes tipos de aguas de masas catalogados.

3.5.3. Medidas de gestión y planificación

Las medidas de gestión y planificación se clasificarán según el estado de las masas de agua como veremos a continuación.

Medidas en masas de aguas afectadas

Es necesario que las administraciones competentes puedan prohibir temporal o indefinidamente la navegación en aquellas masas de aguas afectadas que sea necesario, proponiendo en ocasiones el confinamiento obligatorio de las embarcaciones. Las Administraciones públicas clausurarán todos los accesos incontrolados en todas las masas de agua. Se deben realizar estaciones de desinfección homologadas en estas masas de aguas, facilitando la información de los puntos de acceso a ellas por el personal de estas instalaciones.

Las Administraciones Competentes pueden prohibir temporal o indefinidamente la pesca o establecer limitaciones en ella. Es necesario el control exhaustivo de la presencia de especies no autóctonas y el uso de cebo vivo. Además, deben marcar las pautas de desinfección de materiales de pesca.

Tras la colonización de una masa de agua por alguna especie invasora, todas las Administraciones, deben informar a los usuarios las acciones de obligado cumplimiento que deben desarrollarse. Además, se instalarán las infraestructuras sumergidas de forma permanente con alto riesgo de infección, con el objetivo de que no se extienda esta especie invasora.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Los medios de extinción de incendios, como hidroaviones, que capten agua de masas afectadas, deberán desinfectar los depósitos según el protocolo de limpieza habilitado para ellos. No podrán evacuar agua en otra masa no afectada.

Los trabajos de investigación que se desarrollen en estas masas de aguas afectadas deben tener en cuenta que los elementos en contacto con el agua se deberán desinfectar según el protocolo habilitado para ello, recogidos en los pliegos de prescripciones técnicas, autorizaciones o permisos.

Las administraciones competentes podrán tomar medidas de acción ante la presencia de estas especies invasoras tales como: eliminación manual o mecánica de las colonias, gestión de los caudales para evitar la propagación o aplicación de tratamientos.

Medidas en masas de aguas no afectadas

En estas masas de agua se realizará un seguimiento exhaustivo de las especies invasoras, teniendo en cuenta el ciclo biológico. Además, se deben crear una red de centros capacitados para estas tareas de identificación y control poblacional.

La conservación de los ecosistemas acuáticos será otra gran medida, mejorando la calidad biológica de los ambientes acuáticos naturales y las poblaciones de especies autóctonas, proponiendo programas de restauración cuando se requiera. La elevada diversidad y complejidad de los medios acuáticos les confieren más resistencias ante las colonizaciones de las especies invasoras. Se prohíbe por completo la entrada de especies acuáticas alóctonas en estas masas de aguas.

La navegación será controlada por las administraciones competentes mediante planes de navegación según la zona, vigilando el origen de las embarcaciones visitantes e imponiendo la desinfección de las embarcaciones que provengan de otras masas de aguas apoyándose en el libro de navegación.

En cuanto a la pesca, las autoridades podrán prohibir el ejercicio de la pesca en estas masas de agua o limitar algunas de sus modalidades para evitar la expansión del mejillón cebra. Se prohíbe la introducción o traslocación de especies piscícolas sin autorización administrativa, al igual que el uso de cualquier cebo vivo. Se controla la producción y el transporte en vivo de peces y otros animales acuáticos. En las piscifactorías se debe certificar la ausencia de especies invasoras con una vigilancia periódica. Se asegurará la correcta desinfección de todos aquellos elementos que estén en contacto con el agua con los protocolos pertinentes. Las embarcaciones de pesca deberán ser desinfectadas empleando los protocolos adecuados.

Las captaciones de agua sumergidas de forma permanente, con alto riesgo de colonización por especies invasoras, se deberán localizar a la mayor profundidad posible, evitando los largos periodos en carga, alejando los accesos para limpieza, uso de filtros, aplicación de recubrimiento antiincrustantes.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

La maquinaria y materiales de obras en contacto con estas masas de aguas se desinfectará y secará según el protocolo pertinente. Debe imponerse como condicionado en pliegos de prescripciones técnicas, autorizaciones o permisos.

Cuando se detecte la presencia de especies invasoras se desarrollarán las siguientes medidas excepcionales por las autoridades competentes.

- Evaluación rápida de la situación: alcance, puntos de infección-propagación, posibilidades y medios de intervención, etc.
- Adopción de medidas estrictas, que podrán incluir el confinamiento preventivo de embarcaciones, o incluso la suspensión temporal de la navegación y la pesca, con el fin de impedir nuevas llegadas de propágulos, así como la extensión a otras masas.
- Medidas de acción en las masas de aguas afectadas.

Medidas en masas de agua de especial protección

Las Administraciones competentes deben identificar las masas de aguas de especial protección de forma prioritaria y urgente. Se aplicará el protocolo de detección y seguimiento para la detección precoz. Se aplicarán las medidas de control especificadas para las masas de agua no afectadas.

En los casos necesarios se impondrán las medidas de acción al igual que en las masas de aguas afectadas. En los Espacios Naturales Protegidos que contengan masas de agua susceptibles de ser colonizadas por especies invasoras, se tendrán en cuenta las especificaciones necesarias para su detección y control como instrumentos legales de planificación y gestión.

En los Espacios Naturales Protegidos que habiten especies en peligro de extinción o amenazadas o de especial interés, se aplicará por parte de las autoridades competentes los planes específicos necesarios para minimizar el efecto que sobre dichos valores pueda tener la presencia de especies invasoras.

Los espacios incluidos en la Red Natura 2000 incluirán las especificaciones necesarias para la prevención, detección y control de las especies invasoras cuando se traten de masas de aguas susceptibles de ser ocupadas por las especies invasoras, haciendo hincapié si se ven afectados los tipos de hábitat o especies prioritarias.

Medidas en masas de agua cerradas

La lucha contra las especies invasoras en ambientes cerrados es la más eficaz. La selección del método más adecuado en cada caso depende del tipo de instalación y la conexión con los sistemas naturales. Se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Los tratamientos empleados deben ser inocuos para los ecosistemas del ambiente a tratar. La inocuidad puede obtenerse mediante el diseño de métodos que no afecten a los elementos conectados con el sistema a tratar y/o promoviendo medidas correctoras que eliminen los efectos potenciales del método de control.
- Acto previo de la puesta en marcha del método de control, deben tenerse en cuenta los siguientes análisis y valoraciones:
 - Análisis de las relaciones directas e indirectas de la instalación con las masas de aguas naturales circundantes: tomas de agua, vertidos, filtraciones, conexión mediante acuíferos, etc.
 - Valoración de las características de los elementos de los ecosistemas colindantes.
 - Evaluación de los métodos de control teniendo en cuenta los análisis y las premisas anteriores de inocuidad y adopción de medidas correctoras.
 - Elaboración de un plan de vigilancia asociado al método de control, teniendo en cuenta las interrelaciones detectadas en la fase de análisis previo. De este modo, se puede monitorizar la respuesta del medio a los tratamientos y la posible adopción de medidas de corrección de impactos.
 - Los métodos de control deben contar con mecanismos de seguridad que permitan suspender los tratamientos en el caso de que se produzcan consecuencias en el medio natural. La suspensión de los tratamientos tiene como consecuencia, la aprobación de medidas para minorizar los efectos provocados sobre los ecosistemas y recuperar los elementos afectados.

3.5.4. Medidas de información, divulgación y sensibilización

En el ámbito nacional, se deben promover medidas de información, divulgación y sensibilización, tales como:

- Campañas de información y concienciación ambiental, lo que implica las siguientes actuaciones:
 - Contacto directo con las Administraciones implicadas con el objetivo de comunicar las actualizaciones sobre la especie y sus consecuencias.
 - Campañas específicas de divulgación de los peligros y las formas de evitarlos, dirigidas a los usuarios de las aguas afectadas.
 - Elaboración de Guías de Buenas Prácticas para informar las acciones de prevención y control de los protocolos específicos.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Campañas generalistas para toda la población hablando de la problemática de las especies invasoras y del coste de control y la concienciación sobre las consecuencias de las introducciones voluntarias o involuntarias de especies alóctonas.
 - Campañas puntuales en épocas de gran afluencias como: concursos de pesca, verano, etc.
 - Señalización permanente en los embalses y balsas con información general de su problemática.
 - Distribución de carteles en los núcleos urbanos más cercanos para concienciar a la población.
 - Programas educativos con unidades didácticas sobre los impactos de las especies invasoras sobre el medio natural y social.
- Desarrollo de página web interactiva para distribuir y recibir información de las especies invasoras. Debe estar dotada de las siguientes características:
- Página web en varios idiomas con las generalidades de las especies invasoras, estrategias de control, noticias, normas, etc.
 - Interacción del usuario para recibir y facilitar información de una forma sencilla
 - Enlace en la web de las autoridades responsables
 - Lista de correo asociada a la página web para todos los profesionales, técnicos e interesados en el control y problemática de las especies.

En Andalucía existen varios grupos de trabajos dependientes de diversas organizaciones tales como:

- Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul. Este organismo dispone del Programa Andaluz para el Control de las Especies Exóticas Invasoras (2004), que consiste en la suma de las acciones realizadas para gestionar las Especies Exóticas Invasoras en Andalucía. Tiene tres pilares fundamentales:
- Prevención, alerta temprana y normativa como ejes fundamentales.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Actuaciones sobre el terreno, en las que se basan los criterios fundamentales de trabajo (riesgo, impacto, oportunidad y factibilidad) incorporando herramientas que ayudan a la priorización y selección y la revisión y análisis de los resultados.
 - Información y sensibilización de la ciudadanía y los sectores implicados, incluyendo los resultados obtenidos en las actuaciones de otras Comunidades Autónomas y en la investigación científica desarrollada por Instituciones y Universidades, que se incorporan constantemente al Programa.
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. En el año 2014 se constituye el grupo de trabajo para el control de las especies exóticas invasoras en el Guadalquivir. El objetivo es aunar esfuerzos entre todos los gentes afectados e impulsar acciones para el control de las especies que está provocando mayor afección ecológica y económica en la cuenca, como el mejillón cebra, los briozoos y la almeja asiática. Sus representantes proceden de asociaciones de regantes (uno de los representantes es Don Rafael Calvo Júdici-Torres, director de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir), del sector industrial, del abastecimiento, del ámbito académico, de la Federación Andaluza de Pesca Deportiva y de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Este organismo impulsa un plan de cuenca frente a la invasión de especies que afectan al uso del agua.
- INVAREGA. es un proyecto estratégico e innovador, cofinanciado por la Junta de Andalucía y la Unión Europea a través del FEADER 2014-2020, que ha evaluado en pruebas de laboratorio y campo, la eficacia y viabilidad económica de las diferentes técnicas de tratamiento para prevenir y controlar los daños de las especies exóticas invasoras en el regadío andaluz, particularmente la almeja asiática, el mejillón cebra y los briozoos. Sus socios son FERAGUA, Fundación Caja Rural, Consejería de agricultura, ganadería, pesca y desarrollo sostenible, y Campus de excelencia Internacional Agroalimentario. Entre sus socios colaboradores está la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir.

4- Memoria descriptiva

4.1. Caso de estudio

El presente trabajo analiza los trabajos de control de las especies exóticas invasoras por la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir. Para comprender el funcionamiento de esta Corporación y la relación directa con estos individuos es necesario que hagamos un breve resumen de la evolución de esta Comunidad.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

4.1.1. Presentación

La Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir agrupa a más de 2.000 regantes que trabajan una superficie total de 18.945 hectáreas, situadas en la franja de territorio que se extiende desde Lora del Río hasta Sevilla. Comprende 10 términos municipales, los cuales son: Lora del Río, Alcolea del Río, Villanueva del Río y Minas, Carmona, Tocina, Brenes, Cantillana, La Rinconada, Alcalá del Río y Sevilla. La superficie está distribuida en 3074 parcelas y 2977 hidrantes de riego a nivel de parcela.

Detrás de una historia centenaria que remonta sus orígenes en un Real Decreto de 1908, la Comunidad cuenta con una moderna infraestructura de riego adaptada a las necesidades de la agricultura actual, gracias al gran proyecto de modernización de regadíos culminado en 2009 dentro del Plan Nacional de Regadíos (inversión de 120 millones de euros).

En la actualidad, los regantes del Valle Inferior cuentan con un sistema de distribución de agua acorde con los nuevos tiempos: eficiente en la distribución de los caudales, eficaz para atender las demandas de riego donde y cuando se produzcan, plegable a las demandas cambiantes de los agricultores, consistente para afrontar situaciones de escasez de recursos, potente para impulsar una nueva agricultura autosuficiente, capaz de fomentar el ahorro de agua a nivel de parcela y flexible para adaptarse a nuevos cultivos.

La Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir, Corporación de Derecho Público, está constituida por todos los propietarios y usuarios directos con derecho al aprovechamiento de las aguas otorgadas por el Real Decreto de Concesión, de 8 de abril de 1908, según el cual la Comunidad tiene concedido el uso del agua obtenida mediante la ejecución de las obras, hasta el máximo de un litro continuo por segundo de tiempo y por cada hectárea regada.

Por lo tanto, la finalidad primordial de la Comunidad reside en la captación y distribución del agua entre todos sus asociados, y su justo reparto entre los mismos, evitando o resolviendo las cuestiones y litigios que puedan presentarse entre ellos. Además, pretende la defensa de los intereses de sus regantes en lo que se refiere al objeto de la concesión y las diversas cuestiones de toda índole que conlleven estas concesiones.

Finalmente, la Comunidad ofrece, dentro de su contingencia, un servicio de asesoramiento en cuestiones relacionadas con el manejo de riego, la lucha contra las especies invasoras y/o la tramitación de expedientes ante el Organismo de Cuenca.

4.1.2. Historia

El primer paso para la creación de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir se dio entre los años 1904 y 1905, por iniciativa del entonces ministro de Fomento Don Rafael Gasset Chinchilla, quien emprendió una verdadera campaña de concienciación nacional para “desterrar la aridez del suelo español a través del Plan de Canales y Pantanos de Riegos” y disponiéndose por Real Orden de 9 de febrero de 1906 la

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

creación de la Comisión para estudiar la posibilidad de dotar de riego al Valle Inferior del Guadalquivir. Gasset redactó la oportuna memoria descriptiva del Proyecto donde se encontraba la construcción del embalse de la Breña, la presa de Peñaflor, el Canal Principal y las correspondientes acequias y desagües.

Tras delimitarse la zona regable por Real Orden de 9 de noviembre de 1907, se procede a la aprobación del Plan General de los Riegos del Valle Inferior del Guadalquivir, teniéndolo como antecedente al Real Decreto de Concesión de 8 de abril de 1908 impuesto por El Rey Alfonso XIII y aprobándose la ejecución de las obras del Sistema Regable del Valle Inferior del Guadalquivir, agrupando a los regantes en un Sindicato de Auxilio.

La concesión de agua aprobada es de un litro por segundo y hectárea, derivándose por el Río Guadalquivir por la presa de Peñaflor, y contando además la Zona Regable con el embalse de La Breña como reserva para el estiaje.



Figura 20. Obra de construcción de un acueducto. Fuente: Archivo C.R. Valle Inferior del Guadalquivir

El 23 de mayo de 1921 tuvo lugar la inauguración por parte del Rey Alfonso XIII, del segundo tramo del canal principal, suponiendo las primeras 193 hectáreas con disponibilidad de dotación a fecha de 18 de septiembre de 1921; una vez terminadas las obras de la presa de derivación y los dos primeros tramos del canal principal.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 21. Visita a la Zona Regable por el Rey Alfonso XIII. Fuente: Archivo C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

El 31 de diciembre de 1931 la Junta General del Sindicato de Auxilio acordó la transformación a Comunidad de Regantes, cuyas Ordenanzas y Reglamentos fueron aprobados por la Junta General del propio Sindicato de Auxilio el 24 de agosto de 1932 y por el Ministerio de Obras Públicas el 30 de julio de 1934.

La Dirección General de Obras Hidráulicas, mediante acta de 2 de septiembre de 1933, procedió a la recepción única y definitiva de las obras, entregándolas al Sindicato de Riegos del Valle Inferior del Guadalquivir, quedando excluidos la presa de derivación y el embalse de la Breña, debido al interés general que tenían estas infraestructuras para la Cuenca del Guadalquivir.

En 1960, se toma la decisión de revestir el canal y las acequias principales mediante un programa de obras que se desarrollaría en ocho años, financiado por el Banco de Crédito Agrícola. El objetivo que se perseguía con esta medida era evitar las pérdidas de agua y alcanzar un aprovechamiento lo más eficiente posibles del recurso hídrico.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 22. Revestimiento de acequias en los años 60. Fuente: Archivo C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Simultáneamente a las obras mencionadas anteriormente, se recomendó por parte de la Comunidad que los regantes procedieran al revestimiento de cemento de las acequias secundarias y terciarias, consiguiendo un elevado número de voluntariedad. Finalmente, el 15 de julio de 1986 la comunidad acuerda el revestimiento o entubamiento de las acequias secundarias que aún quedaran sin revestir. En marzo de 1988 la práctica totalidad de las acequias quedaron revestidas.

Desde finales del pasado siglo, existía la ilusión y el convencimiento de la necesidad de realizar un gran proyecto de modernización y mejora de las infraestructuras de la comunidad. En 2001, se solicitó a Confederación Hidrográfica del Guadalquivir su colaboración para la redacción del ambicioso proyecto.

Tras la publicación en el BOE la Resolución de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del Ministerio de Medio Ambiente, el 7 de junio de 2001, por la que se anunciaba concurso de consulta y asistencia para el estudio y redacción del Proyecto de Modernización de las Infraestructuras de la Zona Regable del Valle Inferior del Guadalquivir, se adjudicaría finalmente su redacción a la empresa INGIOPSA INGENIERÍA, S.L., con fecha 5 de junio de 2002 y un plazo de ejecución de doce meses.

Para regularizar la financiación, construcción y explotación de las obras proyectadas, la Comunidad de Regantes firmó en noviembre de 2003 un convenio de colaboración con la Sociedad Estatal de Infraestructuras Agrarias SEIASA del Sur y Este, S.A., dentro de cuyo marco esta adjudicó el contrato de ejecución de las obras a la UTE Valle inferior, constituida por las empresas FCC Construcción, S.A., Aqualia Gestión Integral del Agua, S.A. y Martín Casillas, S.L.

La citada UTE inició las obras, pero en julio de 2008 y debido a la demora de la finalización de los trabajos, SEIASA decide rescindir el contrato y adjudicar la finalización de las obras a la Empresa de Transformación Agraria, S.A. (TRAGSA), quién culminó el proyecto en tiempo y forma en diciembre del mismo año.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 23. Inauguración de las obras de modernización por Sus Majestades los Reyes de España.
Fuente: Archivo C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Tras las pruebas de las nuevas infraestructuras en 2010, y la resolución de los daños ocasionados por las fuertes lluvias de ese año, se produce la entrada en servicio integral de la obra de modernización.

Ante la necesidad de mantener la demanda de riego durante las 24 horas del día y no por fases como se hacía hasta el momento (horario diurno: riegos a baja presión por superficie coincidiendo con las horas punta y llana de tarifa eléctrica, y horario nocturno: riegos presurizados en las doce horas donde se aplicaba las horas valle) debido al alto coste de la energía, se inicia la solicitud de ayudas para la instalación de la planta solar fotovoltaica de autoconsumo conectada a la red. En 2018 se redacta el proyecto y en septiembre del mismo año se licita a la que entran en el proceso 9 empresas del sector.

En diciembre de 2018, se adjudica la obra a la UTE formada por POWEN y Solar Jienense bajo el nombre de Valle Inferior Solar, con un presupuesto de 3,5 millones de euros, suponiendo un descuento del 15 % con respecto al presupuesto total de licitación.

En septiembre de 2019, la planta fotovoltaica ya rendía al máximo rendimiento conectándose a la red en el mes de noviembre del mismo año. La puesta en marcha de este gran proyecto de una planta solar fotovoltaica de autoconsumo con potencia máxima de 6 MWp, ha hecho que hoy en día más del 70 % de la energía consumida sea de autoconsumo, con el consiguiente ahorro para el regante.

A principios del año 2023, la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir se convertía en la primer Comunidad de Regantes a nivel nacional con la

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

certificación ECO 20, en su categoría Silver, que acredita un porcentaje de autoconsumo de entre el 50 % y el 70 %. Gracias a esta planta fotovoltaica esta Corporación está evitando la emisión de 951,6 toneladas de CO₂ al año, el equivalente a plantar casi 5.700 árboles, contribuyendo así a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la Agenda 2030 de la ONU en la lucha contra el cambio climático.

Este parque fotovoltaico dispone de cubierta vegetal sembrada en las calles, que mejora la estructura del suelo; reduce la erosión; aumenta la infiltración y control sobre las escorrentías, lo que es fundamental en terrenos como estos, permite reducir el polvo en suspensión perjudicial para el rendimiento de los paneles, y aumenta la biodiversidad presente en el suelo del entorno y en la propia cubierta, sirviendo de refugio a insectos auxiliares y fauna.



Figura 24. Valle Inferior Solar. Fuente: Luis Manuel Cruz Marín.

4.1.3. Zona Regable

La Comunidad de Regantes está dividida en 9 sectores de riego totalmente modernizados y un último sector conocido como XII sin modernizar, debido a la presión urbanística de la metrópolis sevillana.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 25. Extensión actual de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir. Fuente: Archivo de la C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

El clima de la zona se ha estudiado según los datos climáticos proporcionados por la estación agroclimática de La Rinconada (Sevilla), perteneciente a la red de estaciones del SIAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío), de los últimos 20 años (2003-2023). El clima de la zona es mediterráneo, con una temperatura media anual de unos 17,9 °C y una precipitación anual entre 500-600 mm, distribuidas en los meses de otoño y primavera; siendo predominante la sequía estival. La irradiación anual está en torno a los 6.500 MJ/m² (≈1.800 kWh/m²), siendo los meses de verano los de mayor irradiación, y en especial el de julio.

Los datos de este estudio confirman la situación de sequía en los últimos años de la zona, al igual que en la Península Ibérica, siendo las precipitaciones anuales por debajo de la media en los últimos 4 años. Además, la temperatura medias, mínimas y máximas han aumentado considerablemente. Estos hechos desencadenan en que la evapotranspiración de referencia también sea superior a la media. A continuación, mostramos los datos climáticos y promedios de los tres últimos años.

Año	Temperatura Media (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Precipitación (mm)	ET ₀ (mm)
2021	18,55	25,96	11,97	452,60	1419,52
2022	19,31	26,87	12,61	377,00	1479,00
2023	19,38	27,49	12,08	359,50	1408,11
MEDIA	19,08	26,78	12,22	396,37	1435,54

Tabla 3. Datos climáticos y promedio de los años 2021 a 2023.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

La consecuencia de esta sequía ha desencadenado la drástica reducción de las dotaciones en las últimas campañas de riego, como se pueden observar en el histórico de la tabla 3.

Campaña	Volumen autorizado (hm³)	Dotaciones (m³/ha)
1991	1.095	6.000
1992	646	3.000
1993	60	250 (solo cultivos permanentes)
1994	529	2.500
1995	0	Sin riego
1996	881	4.000
1997	1.300	8.000 (gravedad) 6.000 (aspersión) 5.000 (goteo)
1998	1.300	7.000 (gravedad) 6.000 (aspersión) 5.000 (goteo)
1999	1.350	8.000
2000	1.200	5.500
2001	1.400	5.500 (gravedad) 4.500 (aspersión) 3.500 (goteo)
2002	1.300	6.000 (gravedad) 5.000 (aspersión) 4.000 (goteo)
2003	1.200	6.000 (gravedad) 5.000 (aspersión) 4.000 (goteo)
2004	1.100	6.000 (gravedad) 5.000 (aspersión) 4.000 (goteo)
2005	1.350	6.000 (gravedad) 5.000 (aspersión) 4.000 (goteo)
2006	1.020	2.500-3.000
2007	845	2.000-2.500
2008	855	2.000-2.500
2009	1.200	6.000 (gravedad) 5.000 (aspersión) 4000 (goteo)
2010	1.200	5.800
2011	1.200	6.000
2012	1.200	6.000 (gravedad) 5.000 (aspersión) 4.000 (goteo)
2013	1.200	6.000 (gravedad) 5.000 (aspersión) 4.000 (goteo)
2014	1.200	6.000 (gravedad) 5.000 (aspersión) 4.000 (goteo)
2015	1.300	6.000
2016	1.250	6.000
2017	1.200	5.500
2018	1.100	5.000
2019	1.285	5.400
2020	1.060	4.860
2021	925	3.000
2022	700	1.750
2023	385	700
2024	385	700 (sin aportaciones en primavera)

Tabla 4. Histórico de dotaciones autorizadas para el Sistema de Regulación General.

La distribución de cultivos se ha visto afectada completamente por los periodos de sequía durante toda la historia de la Comunidad de Regantes. Un claro ejemplo de ello es el caso del maíz, donde en el año 2011 con una dotación habitual de 6.000 m³/ha se sembraron 3.098 hectáreas. Mientras tanto, en la pasada campaña 2023 con una dotación de 700 m³/ha se

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

sembraron 133,04 hectáreas. En las siguientes tablas podemos observar la distribución de cultivos en ambos años.

Cultivos	Superficie	% sobre el total
Cítricos	6.318	33,35
Frutales	2.012	10,62
Olivar	210	1,11
Viveros	99	0,52
Espárragos	3	0,01
Alfalfa	123	0,66
Hortalizas	168	0,88
Algodón	2.170	11,45
Maíz	3.098	16,35
Patatas	1.429	7,54
Girasol	538	2,84
Trigo	715	3,77
Avena	16	0,08
Melón	31	0,16
Sandía	158	0,85
Pimientos	7	0,04
Rosales	48	0,25
Zanahorias	64	0,34
Tomates	166	0,88
Cebollas	32	0,17
Otros	732	3,86
Barbecho	808	4,27
Total	18.945	100

Tabla 5. Distribución de Cultivos en la Zona Regable del Valle Inferior del Guadalquivir (2011).

Cultivos	Superficie	% sobre el total
Cítricos	8.008,16	42,72
Frutales	1.024,46	5,41
Olivar	689,40	3,64
Almendros	500,09	2,64
Hortícolas	255,74	1,35
Alfalfa	214,13	1,13
Viveros	132,84	0,70
Palmeras	45,16	0,24
Trigo	1.647,16	8,69
Patatas	1.548,15	8,17
Girasol	1.077,82	5,69
Algodón	1.065,97	5,63
Barbecho	1.351,30	6,67
Tomates	325,08	1,72
Otros	266,26	1,41
Sandías	192,59	1,02
Remolachas	167,54	0,88

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Maíz grano	80,04	0,42
Zanahorias	76,48	0,40
Habas	61,55	0,32
Cebollas	59,81	0,32
Maíz dulce	53	0,28
Rosales	44,63	0,24
Melón	31,31	0,17
Avena	15,45	0,08
Quinoa	10,88	0,06
Total	18.945	100

Tabla 6. Distribución de Cultivos en la Zona Regable del Valle Inferior del Guadalquivir (2023).



Figura 26. Riego localizado en cultivo de maíz. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir

Por otro lado, la modernización de las infraestructuras de riego de la Comunidad hizo que el sistema de riego a nivel de parcela evolucionase a sistemas más eficientes y con mayor uniformidad. Claro ejemplo de ello ha sido el aumento de los cultivos leñosos en la zona regable y el riego a presión, siendo actualmente el predominante el riego localizado (67%), seguido por el riego por superficie (30 %) y el riego por aspersión (3 %). Antes de la modernización, el sistema de riego predominante era por superficie suponiendo cerca del 70 % del total.

4.1.4. Organización

Para la organización y régimen de la Comunidad existen los siguientes órganos colegiados: la Junta General, el Sindicato de Riegos y el Jurado de Riegos.

La Junta General de la Comunidad, conformada por todos los propietarios de los terrenos comprendidos en la zona regable, es el órgano soberano y adopta sus principales decisiones, tales como: elección y nombramiento de sus cargos, la aprobación de los

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

presupuestos y las cuentas anuales y la autorización de las obras nuevas y mejoras de las existentes.

El Sindicato de Riegos o Junta de Gobierno es el órgano de la Comunidad a quién corresponde la gestión, administración y disposición de los bienes, derechos e intereses de la Corporación.

El Jurado de Riego se encarga de resolver los conflictos entre los usuarios de la Comunidad e imponer a los infractores las sanciones reglamentarias, así como fijar las indemnizaciones y reparaciones.

El funcionamiento y atribuciones de estos órganos colegiados están regulados por las Ordenanzas de la Comunidad y los Reglamentos de su Sindicato y Jurado de Riegos, aprobados en 1934, adaptados a la Vigente Ley de Aguas y con una última actualización y modificación aprobada en 2002 por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Estas Ordenanzas y Reglamentos también regulan el nombramiento y competencias de los cargos que se eligen de la Comunidad. La Comunidad cuenta con un Presidente (y un Vicepresidente en su sustitución) que ostenta la representación legal de la Corporación y preside tanto la Junta General como el Sindicato de Riegos. Además, bajo la dependencia directa de la Presidencia, la Comunidad cuenta con un equipo de gestión compuesto por un Ingeniero-Director, un Secretario-Pagador y un Letrado-Asesor.

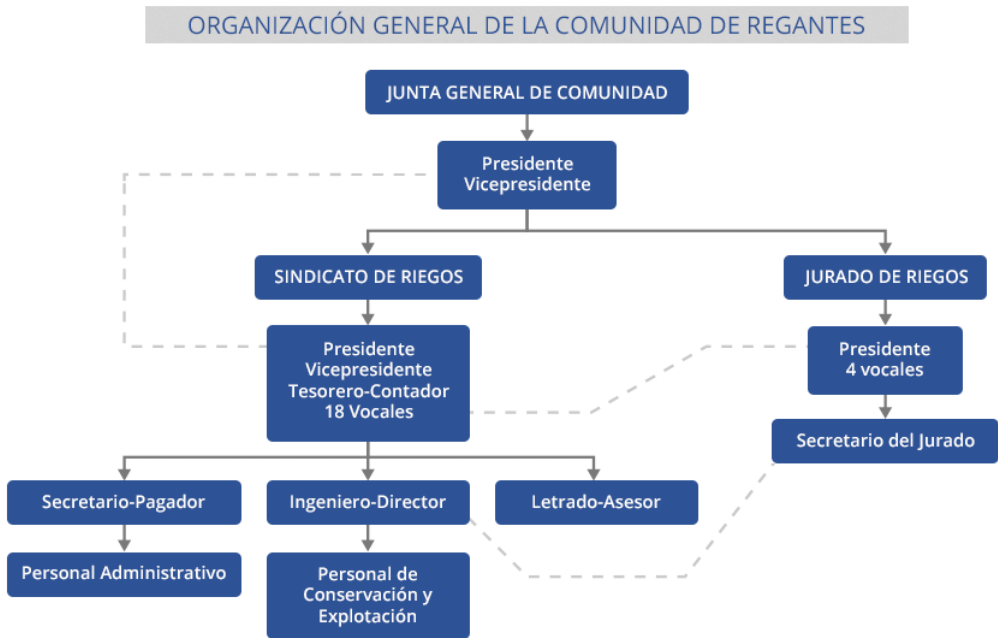


Figura 27. Organización General de la Comunidad de Regantes. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 28. Personal de conservación y explotación de la Comunidad de Regantes. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

4.1.5. Servicios

Distribución de agua

El objetivo fundamental de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir es la captación del agua y el reparto equitativo entre toda la superficie que conforman dicha Corporación. Además, promueve y desarrolla otras acciones como un servicio de asesoramiento en cuestiones relacionadas con el manejo adecuado del riego y el uso eficiente del recurso hídrico.

Por otro lado, fomenta la aplicación de nuevas tecnologías de riego, la planificación de cultivos según el momento hídrico y la disponibilidad de agua y el ajuste de las dotaciones del riego a las necesidades de cada cultivo y en cada momento. La Comunidad ejerce como representante de todos los asociados para defender sus derechos ante las administraciones públicas y órganos competentes del agua.

Eficiencia energética

El uso eficiente de los recursos energéticos es una gran prioridad para la comunidad de regantes tras la modernización, debido a los cambios en los sistemas de riego y en el sistema de tarifa eléctrica, provocando un aumento del consumo energético. El plan estratégico de la Comunidad en este ámbito se basa en las siguientes acciones y servicios:

- Impulso a la central de compras de Energía de FENACORE (Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España) y FERAGUA (Asociación de Comunidades de Regantes de Andalucía).
- Optimización de las potencias de electricidad contratadas, adaptándolas a las necesidades del riego y los cultivos.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Incorporación de dos fases de explotación (nocturna y diurna), suponiendo un ahorro que alcanzó el 22 %.
- Mantenimiento predictivos, control y seguimiento de los equipos de bombeo y de riego.
- Proyecto de la mayor planta fotovoltaica en el regadío español de autoconsumo hasta la fecha.

Gracias a todos estos hitos, la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir es pionera en este campo y se ha convertido en una de las comunidades de regantes que menos potencia contrata por superficie y en los que sus asociados menos pagan por su energía, según un estudio de la Universidad de Córdoba (Camacho et al., 2022).

Especies invasoras

La lucha contra las especies exóticas invasoras (en especial briozoos, mejillón cebra, y almeja asiática) es una de las principales prioridades actuales de esta Corporación, debido a los graves problemas que ocasionan en sus infraestructuras y en la de los propios regantes, especialmente en las campañas de verano.

La estrategia de la Comunidad incluye diferentes acciones para erradicar y controlar la proliferación de este tipo de especies, pasando por actuaciones preventivas, métodos físicos y químicos que evaluaremos en este estudio.

Los regantes son asesorados por la propia Comunidad, con el objetivo de que controlen estas especies en sus instalaciones de riego. En paralelo, la Comunidad de Regantes participa y colabora con otras entidades y organismos autonómicos y nacionales para divulgar conocimientos y experiencias en la lucha contra estas especies, para que de esta forma se puedan aunar fuerzas para alcanzar su erradicación.

4.1.6. Infraestructuras

Red de distribución

La superficie regable está dominada por 9 estaciones de bombeo ubicadas en cada uno de los sectores de riego, lo más cerca posible al Canal de Riego. Desde estas estaciones se distribuyen la red de tuberías ramificadas principales, secundarias y terciarias. Las tuberías de diámetro igual o inferior a 500 mm son de PVC, mientras que las superiores a 500 mm son de PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio). Las tuberías terciarias suministran el agua directamente al hidrante y son de PEAD (polietileno de alta densidad). La red de tuberías tiene una longitud total de 465.474 m. A continuación, se indican las longitudes de las tuberías por sectores de riego.

- Sector I: 6.041 m de tuberías principales y 12.206 m de secundarias
- Sector II: 3.878 m de tuberías principales y 20.212 m de secundarias

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Sector III: 20.940 m de tuberías principales y 24.165 m de secundarias
- Sector IV: 31.420 m de tuberías principales y 68.910 m de secundarias
- Sector V: 28.324 m de tuberías principales y 46.266 m de secundarias
- Sector VI: 22.282 m de tuberías principales y 41.727 m de secundarias
- Sector VII: 14.762 m de tuberías principales y 8.982 m de secundarias
- Sector VIII: 17.485 m de tuberías principales y 31.481 m de secundarias
- Sector IX: 25.435 m de tuberías principales y 40.958 m de secundarias
- Total: 170.567 m de tuberías principales y 294.907 m de secundarias.

Puntos de toma de agua

La Comunidad de Regantes dispone de cuatro puntos de toma de agua, ubicados en el tramo Común del Canal del Bajo Guadalquivir. Los tres primeros puntos se corresponden con las tres primeras balsas de regulación de la Comunidad de los tres primeros sectores de riego. Las coordenadas UTM aproximadas de estas tomas son las siguientes:

- Toma balsa Sector I: X = 281.498,17; Y = 4.170.063,98
- Toma balsa Sector II: X = 276.860,10; Y = 4.167.443,91
- Toma balsa Sector III: X = 270.527,38; Y = 4.165.271,15

El cuarto punto de captación de la Comunidad está situado en el repartidor conocido como el Cuenco, donde el tramo común se divide en dos canales independientes, perteneciendo uno de ellos a la Comunidad General de Usuarios del Bajo Guadalquivir y el segundo a la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir. Las coordenadas, también aproximadas, de esta cuarta toma son X = 270.086,93; Y = 4.164.827,36. Desde este punto el canal principal reparte el agua para los sectores IV a IX. Todos los datos de consumo de estas tomas se pueden visualizar en tiempo real en el Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca del Guadalquivir (Figura 26).

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

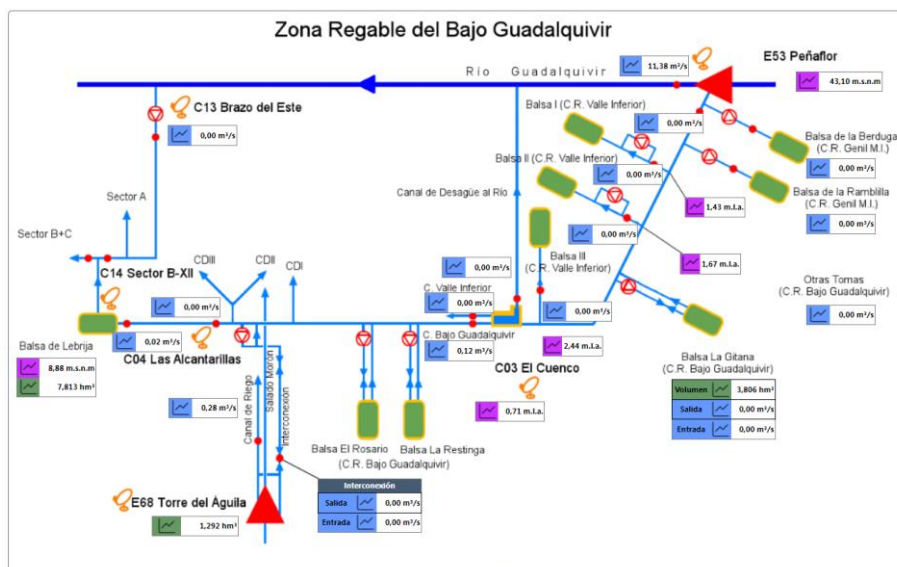


Figura 29. Datos en tiempo real de la Zona Regable del Bajo Guadalquivir. Fuente: Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca del Guadalquivir (SAIH).

Balsas de regulación

La Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir posee nueve balsas de regulación con volumen total de 4.206.701 m³, para abastecer la máxima demanda de cada sector durante un máximo de tres días en verano. Todas estas balsas están construidas con lámina de polietileno, cuyas capacidades son las siguientes:

- Balsa Sector I: 132.226 m³
- Balsa Sector II: 146.238 m³
- Balsa Sector III: 414.193 m³
- Balsa Sector IV: 846.874 m³
- Balsa Sector V: 980.461 m³
- Balsa Sector VI: 349.195 m³
- Balsa Sector VII: 429.582 m³
- Balsa Sector VIII: 366.533 m³
- Balsa Sector IX: 541.398 m³

El llenado de las balsas de los sectores III, VII y IX se hacen por gravedad, mientras que las otras balsas del resto de sectores, además por gravedad, cuentan con bombas de llenado de potencias variables según el sector de 45 o 58 kW con unos caudales que están entre los 700 a 1200 l/s.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 30. Balsa de Regulación Sector V. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Las balsas de regulación han permitido que la Comunidad de Regantes pueda almacenar el agua procedente de escorrentías, además de los desembalses siendo estos últimos los que se ajustan a la dotación fijada por el Organismo de cuenca.

Las aguas de escorrentía se corresponden con los caudales derivados del Río desde la Presa de Peñaflor en episodios de lluvia o aumento de caudal y suponen una cantidad de recursos hídricos extras para la Comunidad.

En la campaña agrícola 2020/2021 (1 de octubre al 30 de septiembre) las aportaciones por escorrentías supusieron por hectárea $213,93 \text{ m}^3$ que se sumaron a los desembalses del año 2021 de $2.870 \text{ m}^3/\text{ha}$.

En la campaña agrícola 2021/2022 las aportaciones por escorrentías supusieron por hectárea 430 m^3 que se sumaron a los desembalses del año 2022 de $1.750 \text{ m}^3/\text{ha}$.

En la campaña agrícola 2022/2023 las aportaciones por escorrentías supusieron por hectárea 307 m^3 que se sumaron a los desembalses del año 2023 de $938 \text{ m}^3/\text{ha}$ (dotación concedida a la comunidad más cesiones procedentes de la zona arrocería).

Estaciones de bombeo a red

Las bombas de impulsión son de cámara partida y en cada estación de bombeo existe un número variable de bombas según la superficie del sector. Todas las bombas cuentan con

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

variador de frecuencia que les permite regular la velocidad en función de los requerimientos de la red de riego. Las bombas principales son de 355 kW, capaces de impulsar un caudal de hasta 600 l/s a 45 m.c.a., mientras que las auxiliares son de 132 kW proporcionando un caudal nominal de 200 l/s a 45 m.c.a.



Figura 31. Estación de bombeo sector VIII. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

La red de riego se diseñó para regar a la demanda, de este modo la asignación de caudales suministrados por parcelas son los siguientes.

- Riego presurizado: $1,2 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$ con presión en el hidrante de 30 m.c.a.
- Riego por superficie: los caudales asignados en los hidrantes varían según la superficie y la presión requerida es de 10 m.c.a.
 - Superficie $< 3 \text{ ha}$: 15 l/s
 - Superficie $25 \text{ ha} < S < 3 \text{ ha}$: 30 l/s
 - Superficie $> 25 \text{ ha}$: $1,2 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$

La red de tuberías principales se diseñó con el criterio de transporte de caudal continuo de $1 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$, y las tuberías secundarias con el criterio anteriormente comentado en la demanda de los hidrantes.

En la siguiente tabla se muestran las bombas con las que cuenta cada sector de riego, tanto para el llenado de la balsa (si lo necesita) como para el bombeo a red, así como la superficie de riego que abastece cada sector.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

C.R. Valle Inferior del Guadalquivir	Llenado balsa		Bombeo a red			
Sector	Unidades	Potencia (kW)	Unidades	Potencia (kW)	Unidades	Potencia (kW)
Sector I	1	45	1	132	1	355
Sector II	1	45	1	132	1	355
Sector III			1	132	3	355
Sector IV	3	58			6	355
Sector V	2	58	1	132	4	355
Sector VI	2	58	1	132	3	355
Sector VII			1	132	3	355
Sector VIII	3	58	1	132	3	355
Sector IX					6	355
Total	12	322	7	924	30	3.195

Tabla 7. Resumen de estaciones de bombeo por sectores. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

La Comunidad de Regantes dispone de un filtro de bandas rotativo de la marca DAGA, ubicado a la salida de la balsa con una malla de 1,5 mm de diámetro, con el objetivo de proteger a los equipos de impulsión. Antes y después de las Compuertas de Toma del Canal para el llenado de las balsas, se ubican unas rejas de desbaste para sólidos de gran tamaño. La primera reja se limpia manualmente y la segunda posee limpiarrejass automático. Además, en los hidrantes, se ubican antes del equipo electroválvula-contador un equipo cazapiedras de 1 mm de tamiz para proteger la instalación de sólidos indeseados.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

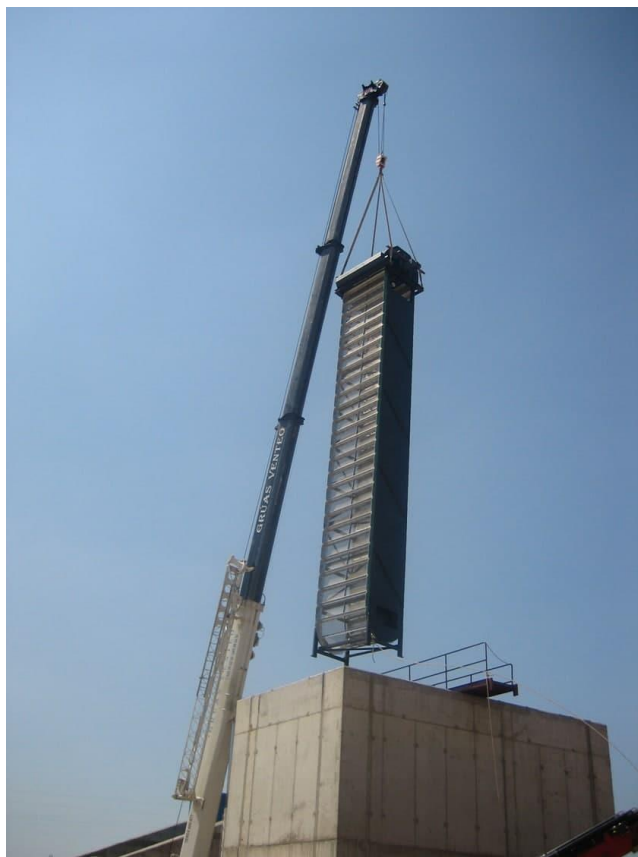


Figura 32. Instalación de filtro rotativo. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Los equipos de filtrado de la Comunidad más la decantación natural del agua en las balsas, hacía que la red de riego funcionase a su mayor rendimiento, hasta que aparecieron las temidas especies invasoras que se tratan en este estudio. A todo ello se le suma que la gran mayoría de los regantes usan filtros en sus instalaciones particulares orientados al uso del agua de pozo, con lo cual se ven colapsados con la especies invasoras que son capaces de traspasar el cazapiedras del hidrante como hacen normalmente los briozoos.

Equipos consumidores de energía

Todas las bombas de impulsión están accionadas mediante motores trifásicos con tensión de alimentación 690 V y velocidad nominal de 990 rpm a 50 Hz. La potencia total que conforman la impulsión a la red es de 11.574 kW.

Las 12 bombas de llenado de las balsas tienen una potencia en conjunto de 670 kW. Además, en el sector V, existen dos bombas más de retorno al canal con potencia de 58 kW cada una de ellas. La potencia total de todas las bombas verticales es de 786 kW.

Cada estación de bombeo cuenta con un equipo de vacío para el cebado de las bombas, así como una pequeña bomba de achique, sumando el conjunto una potencia total de 109 kW.

Además, existen otros elementos consumidores de energías como: compuertas, válvulas, luminarias, puentes-grúa, cuadros eléctricos, extractores, PLC's y demás

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

instalaciones accesorias de las distintas estaciones de bombeo que completan la potencia total instalada de la comunidad, aportando todo ello en conjunto unos 400 kW adicionales.



Figura 33. Compuertas automatizadas en el Canal del Valle Inferior del Guadalquivir. Fuente propia

El suministro de energía se hace desde un único punto, ubicado en el término municipal de Brenes, en una línea de alta tensión de 132 kV, con capacidad de 20 MVA, y desde donde se extiende más de 50 km de línea eléctrica aérea en 25 kV.

La línea eléctrica es propiedad de la Comunidad de Regantes y distribuye a los 9 centros de transformación de las estaciones de bombeo mediante tres circuitos, uno para los tres primeros sectores, otro para los siguientes tres sectores intermedios y el último para los 3 sectores de cola. En cada estación de bombeo existe un transformador intermedio de 25 kV a 690 V y transformadores auxiliares para la baja tensión. A continuación, se indican los centros de transformación ubicados en cada uno de los sectores que suman una potencia de 12.882,11 kW.

- Sector I. 2x 630 kVA. 584,09 kW
- Sector II. 2x 630 kVA. 584,09 kW
- Sector III. 2x 1.000 kVA. 1.251,98 kW
- Sector IV. 3x 1.600 kVA. 2.370,12 kW
- Sector V. 2x 1.600 kVA. 1.852,03 kW
- Sector VI. 2x 1.000 kVA. 1.367,82 kW
- Sector VII. 2x 1.000 kVA. 1.251,71 kW
- Sector VIII. 2x 1.000 kVA. 1.427,61 kW
- ector IX. 2x 1.600 kVA. 2.192,86 kW

La planta solar fotovoltaica está conectada a la línea de distribución interior de la Comunidad de Regantes, de modo que la energía producida pueda consumirse en cualquiera

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

de los 9 sectores, vertiendo a la red convencional los excedentes de energía mediante la subestación denominada San Miguel.

La planta solar cuenta con una potencia pico de 6 MW, generada por un total de 17.880 módulos fotovoltaicos, con una potencia nominal por módulo de 355 W. Estos módulos están conectados en series de 30 unidades por cada string, conectándose 19 strings en paralelo en cada una de las 16 entradas del inversor. El parque fotovoltaico cuenta con dos estaciones inversoras, donde se integran tanto el inversor como unidades de protección DC, transformador e interruptores de MT.

Todos los módulos fotovoltaicos están instalados sobre seguidores a un eje horizontal, de manera que pueden realizar un giro de $\pm 60^\circ$, de este a oeste, siguiendo la trayectoria diaria del sol. Cada seguidor soporta un total de 60 módulos (3 en horizontal por 20 en vertical), contando con un motor de corriente continua que les permite el cambio de orientación.

Sistema de Telecontrol

El objeto del Sistema de Telecontrol es el de automatizar, controlar y gestionar los sistemas de riego. El sistema de telecontrol de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir se divide en alta y baja tensión.

Telecontrol en alta

Todos los automatismos de las infraestructuras se pueden accionar tanto en local como en remoto mediante conexión con VPN y TeamViewer. El sistema informático de supervisión (SCADA) fue proporcionado por la empresa Padillo Instalaciones Industriales, S.L. y todos ellos se comunican entre sí a través de un enlace por fibra óptica, formando un anillo redundante.

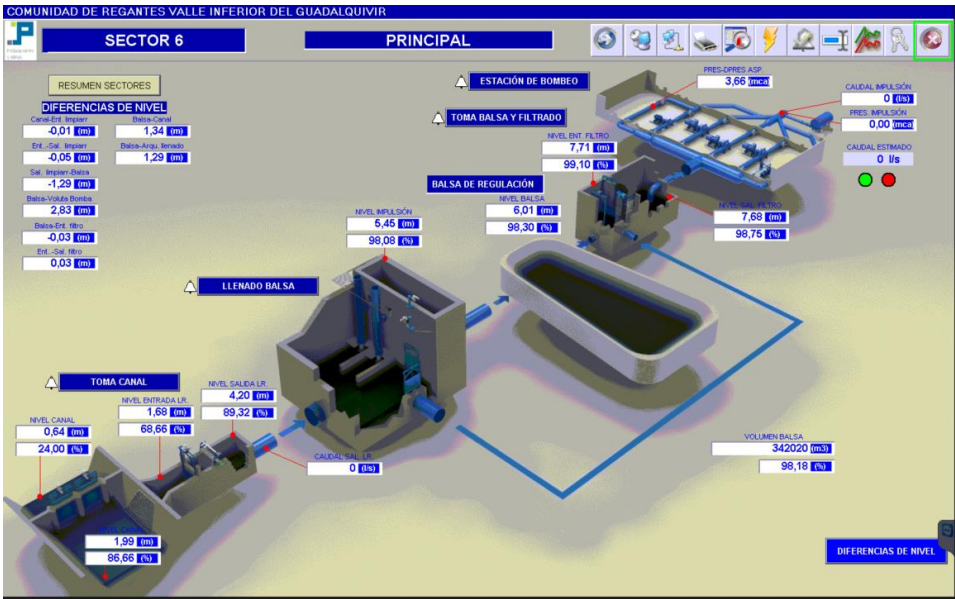


Figura 34. Servidor SCADA S.VI.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Los SCADA de bombeo permiten controlar la regulación de la lámina de agua del canal, la limpieza automática de los filtros, la programación del llenado de la balsa, el funcionamiento de las bombas de impulsión. Además, dispone de datos muy valiosos tales como: gráficas de llenado de balsa, de evolución de los bombeos, de evolución del nivel aguas arriba y debajo de las almenaras del canal, etc. Todo ello es debido a la gran cantidad de sensores distribuidos por todas las infraestructuras de la Comunidad de Regantes.

Telecontrol en baja

El sistema de telecontrol de la red de hidrantes de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir se basa en los siguientes aspectos:

- Dimensiones del sistema. el área que abarca es de más de 20.000 ha, donde se instalan 2.977 hidrantes para dar servicio de riego a los usuarios de la Comunidad de Regantes controlados por 2.236 nodos de telecontrol, directa o indirectamente como hidrantes asociados.
- Sectorización de la zona. 9 sectores de telecontrol.
- Centralización de los sistemas de control. las unidades de control o concentradoras se ubican en cada estación de bombeo.
- Conexión por fibra óptica. comunicación a partir de un enlace por fibra óptica, formando un anillo redundante.
- Protocolo OPC. el sistema se controla a partir de clientes estándar OPC.

El sistema permitirá controlar el conjunto de válvulas y contadores de hidrantes o tomas de usuario instalados en campo, así como obtener información de la red hidráulica a través de sensores de presión o caudalímetros. Para ello contará de los siguientes componentes, además de los elementos mecánicos, cableado y antenas:

- Nodos de riego inteligentes (remotas). Son los encargados de controlar hidrantes en campo y se comunican con el centro de control a través de un enlace radio. Se alimentarán a través de baterías recargables por panel solar. Estos nodos están dotados de inteligencia propia ya que podrán realizar las tareas de control programado de válvulas y de lectura de contadores sin necesidad de comunicar con los centros de control. El proveedor de las remotas es Aquarson y la plataforma de gestión es de la empresa Batchline.
- Nodos de Control. Estarán ubicados en cada centro de control y realizan las funciones de enlace entre los sistemas informáticos y la red de telecontrol a través de conexión Ethernet por cable a la red de Fibra.
- Equipos Servidores de los Centros de Control de Sector. Se instala un servidor en cada centro de control para hacer de interfaz a través de OPC entre el hardware de control de hidrantes visibles vía radio y el software de gestión. Además, dicho equipo tiene la

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

función Cliente SCADA para realizar la supervisión de los hidrantes correspondiente a dicho sector. Actualmente, se han reducido a 3 servidores ubicados en los sectores II, V y VII.

- Equipo Servidor de Base de Datos. Se instala un equipo donde se centraliza toda la información recopilada por los servidores de Sector y al que se accede las aplicaciones remotamente para su consulta.
- Equipo Servidor de Aplicaciones. Se instala un equipo servidor en el Centro de Control Primario a ubicar en el edificio de bombeo de Sector VII. El equipo realiza las funciones de servidor de aplicaciones de Gestión y Control, dando servicio a conexiones remotas para el uso de las aplicaciones.
- Servidor Web. Se instala un equipo que proporciona un servicio de acceso web al sistema de telecontrol tanto desde el punto de vista de administración como para cada uno de los usuarios del sistema.
- Equipos Clientes del Centro de Control Secundario. Se dispone de un equipo cliente en la estación de bombeo del sector VIII, con acceso VPN y WEB a la información recogida en el servidor del Centro de Control Primario.

En la siguiente figura se muestra la arquitectura del sistema, de forma simplificada, así como las funciones permitidas desde cada uno de los Centros de Control.

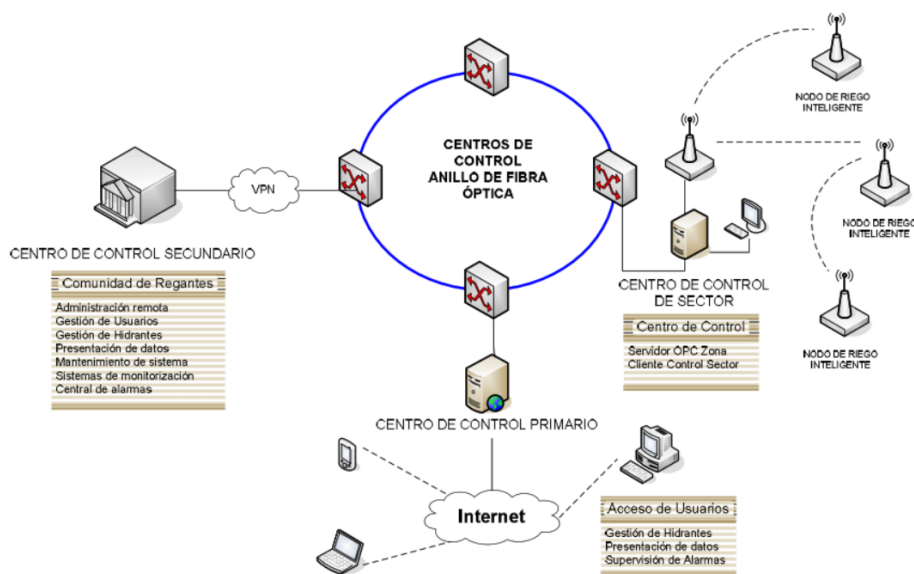


Figura 35. Esquema de red de telecontrol. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 36. Instalación de sistema de telecontrol en hidrante tipo. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

El objetivo final del sistema es dotar a la red de hidrantes de la capacidad para ser gestionada remotamente ya sea a través de los centros de control, de la WEB o desde sistemas móviles SMS.

Así desde el punto de vista de la Comunidad de Regantes, se puede hacer una gestión integral de toda la red hidráulica facilitando, por ejemplo, la lectura de contadores y la detección de fallos de la red mediante transductores de presión ubicados en los hidrantes.

ARQ-0278	Santa Elena 5D	2,80 bar	20/03/2023 15:01	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-0036	Triguito	2,82 bar	20/03/2023 15:01	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-0208	El Carnicero	2,85 bar	20/03/2023 15:01	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-0487	Canagrosa	2,87 bar	20/03/2023 08:26	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-3070	Piyayo	2,93 bar	20/03/2023 13:02	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-2014	Candelero (Final)	2,94 bar	20/03/2023 14:27	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-2091	Evencio	2,96 Bar	20/03/2023 14:26	1,00 Bar	3,00 Bar			
ARQ-1542	Venta El Fali	2,96 bar	20/03/2023 12:55	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-0283	Rafael Pacheco	2,99 bar	20/03/2023 15:05	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-0436	Bosco Abascal	3,01 bar	20/03/2023 08:21	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-0933	Toma 12-H	3,01 bar	20/03/2023 12:55	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-3386	Santa Elena Cortijo	3,06 bar	20/03/2023 15:04	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-1966	Buenavista	3,07 bar	20/03/2023 14:35	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-3833	Cortijo de los Rojas	3,07 bar	20/03/2023 08:50	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-2789	José Mº Herrero	3,08 bar	20/03/2023 14:24	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-0020	Javier León	3,08 bar	20/03/2023 15:04	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-3239	La Jarilla	3,11 bar	20/03/2023 13:38	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-0062	Josefa	3,12 bar	20/03/2023 15:04	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-5280	Santa Elena 6D	3,15 bar	20/03/2023 15:05	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-0422	Cola 6-D	3,17 bar	20/03/2023 15:05	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-3368	El Tesorillo	3,19 bar	20/03/2023 15:03	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-1495	Cola 16-J	3,22 bar	20/03/2023 12:58	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-0344	Puente Guadajoz	3,24 bar	20/03/2023 08:15	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-0340	Lobito	3,34 bar	20/03/2023 08:16	1,00 bar	3,00 bar			
ARQ-0484	Boceta Lasarte	3,38 bar	20/03/2023 08:29	1,00 bar	3,00 bar			

Figura 37. Transductores de presión en hidrantes para el control del funcionamiento de la red de riego. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Por otro lado, el usuario tiene la posibilidad de programar los riegos de los hidrantes asociados a él y consultar los datos de consumos, sin necesidad de visitar cada uno de los puntos de riego.

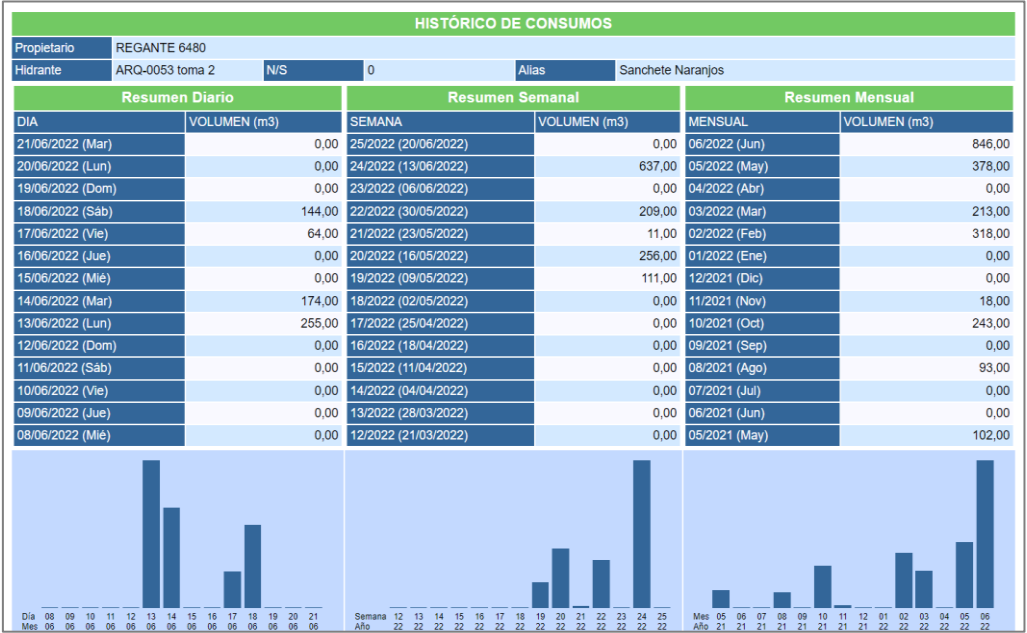
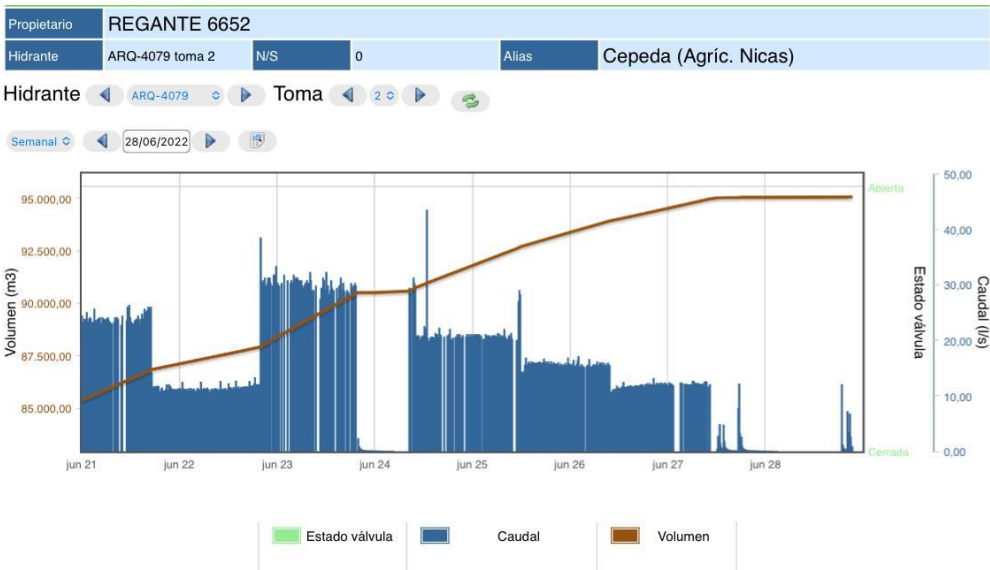


Figura 38. Históricos de consumos. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Además de las funcionalidades de control y gestión, se recogen los datos recibidos de campo y se almacenan en base de datos SQL. Estos datos pueden ser consultados para generar cualquier tipo de informe o gráficas, a partir de diversos criterios de búsqueda.



Gráfica 1. Gráfica de histórico de consumos. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Finalmente, el sistema cuenta con una interfaz OPC que cumple las normas ISA S88 e ISA S95, el cual facilita la expansión del sistema con otros sistemas de telecontrol que

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

cumplan estas normas, ya que se puede gestionar a través de un mismo sistema de gestión compatible con estos estándares.

Actualmente, la Comunidad de Regantes se encuentra en el inicio de un proceso de modernización del sistema de telecontrol tras 15 años de funcionamiento, donde el sistema ha demostrado su gran fiabilidad y robustez. Gracias a la interoperabilidad de los nuevos sistemas de telecontrol se pueden compatibilizar el uso de las remotas actuales con las futuras con comunicación más actualizada como GPRS, SigFox, LoRa o NB-IoT.

4.2. Consecuencias de las especies invasoras en las instalaciones de riego

En este apartado nos centraremos en los problemas causados por las especies exóticas invasoras en las instalaciones de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir. El inicio de la preocupación y las actuaciones contra las especies invasoras en la Zona Regable coincidió prácticamente con la puesta en marcha de las nuevas infraestructuras de riego tras la modernización.

4.2.1. Almeja asiática (*Corbicula fluminea*)

La primera toma de contacto con esta especie invasora fue en el año 2010. La almeja asiática genera una importante acumulación de cáscaras (una vez muertas), lo que, unido al briozoo, incrementa considerablemente el problema de los atascos de los filtros cazapiedras. Además, su presencia repercute en pérdidas de caudal, presión y horas de riego, rotura de elementos de regulación y constantes limpiezas manuales de filtros cazapiedras; lo que supone un incremento en los costes de mantenimiento para la Comunidad.



Figura 39. Izquierda: Daños en hélice de contador tipo Woltman. Derecha: Obstrucción de filtro cazapiedras por acumulación de almeja asiática y briozoos. Fuente. C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.



Figura 40. Foco de individuos de almeja asiática muertos en la cántara del filtro rotativo de cadenas.
Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

4.2.2. Briozoos (*Plumatella* sp.)

El problema de los briozoos se manifiesta por primera vez en 2011, y en 2012 adquiere una dimensión preocupante, provocando dificultades en los riegos ya que se localizaban en las captaciones de las tomas flotantes, en los filtros rotativos de las balsas, en las columnas y aspiraciones de las bombas, en el interior de las tuberías, en los filtros cazapiedras de los hidrantes y en las instalaciones particulares de riego por goteo.

En el verano de 2012, con el fin de acotar y conocer mejor el problema, la Comunidad recurre a la experiencia de EMASESA (Empresa de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla S.A), ya que, durante la Exposición Universal de Sevilla de 1992, tuvieron problemas con estos organismos por la colonización de la red de refrigeración del Parque Científico y Tecnológico Cartuja a través de la captación directa en el río Guadalquivir.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

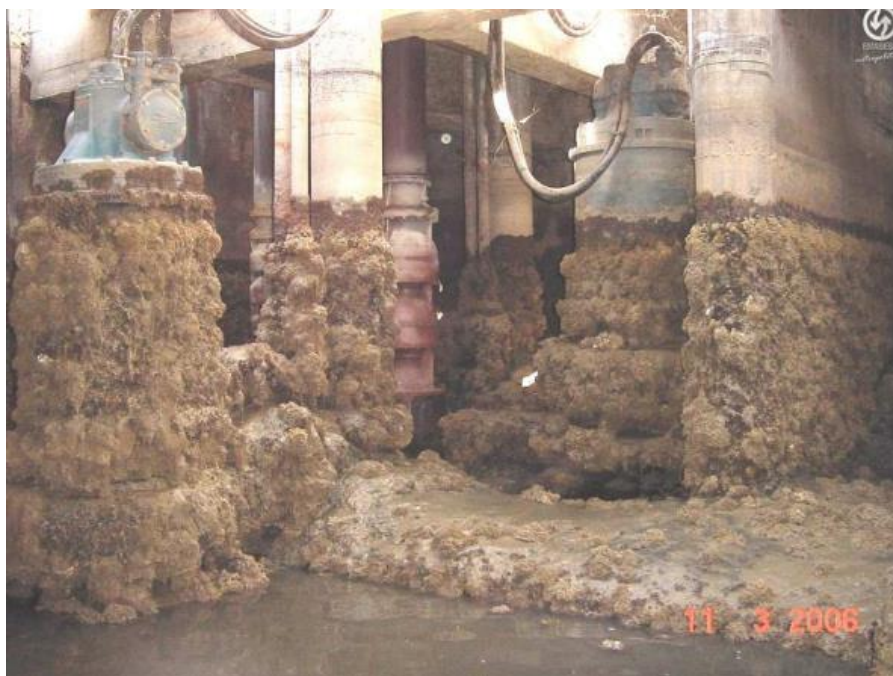


Figura 41. Colonización de bombas sumergibles en la EXPO de 1992. Fuente: EMASESA.

Tras la visita a las instalaciones de EMASESA se confirmó que la erradicación completa era imposible, al existir un aporte constante de ejemplares desde el río. Por ende, era necesario combatir los adultos, los estatoblastos (forma de reproducción en estado latente) y las esporas (formas resistentes de los briozoos) de forma distinta. Además, la filtración no era un método viable y los tratamientos químicos sí podrían resultar efectivos contra las colonias adultas.

Estos organismos están presentes durante todo el año en las instalaciones de la Comunidad de Regantes, creciendo de forma exponencial durante la campaña de riegos (aproximadamente de abril a septiembre) debido al aumento de la temperatura y caudal. De hecho, tras instalar testigos, se comprobó que durante el verano eran capaces de colonizar el 100% de las infraestructuras, desapareciendo solos al final de la campaña, pero apareciendo otra vez al siguiente año a través de los estatoblastos.



Figura 42. Colonias de briozoos en el interior de las tuberías. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 43. Obstrucción de emisor de riego por la presencia de briozoos. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Para conocer en profundidad la evolución de los briozoos en las instalaciones de la Comunidad se realizó un estudio entre marzo y diciembre de 2014 por el la empresa Toscano Línea Electrónica SL. y con la colaboración de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir y la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Este trabajo se llevó a cabo en la arqueta de filtro de cadenas del sector IX, que comunica la balsa con el bombeo a red.

El material utilizado para la detección de estos organismos fueron placas de PVC de 25 x 25 cm, sujetas a una boya para que oscilaran con el nivel del agua. Las placas se instalaron el 17 de marzo de 2014 y se realizaron muestreos semanales hasta la observación de las colonias y aproximadamente cada 15 días después de iniciarse este desarrollo. En cada campaña de muestreo se tomaron varios parámetros fisicoquímicos in situ como: temperatura del agua, pH, conductividad y turbidez. Además, se tomaron fotografías para calcular el porcentaje colonizado, midiendo el espesor de la biomasa invasora (longitud de las colonias) una vez superado el 90% de cobertura.

Los resultados obtenidos, tras este estudio de un total de 22 muestras comprendidas entre el 17 de marzo y el 5 de diciembre de 2014, y contrastados en este trabajo fin de máster; se puede confirmar que los valores fisicoquímicos eran idóneos para este tipo de organismos (valores medios: pH =7,66; conductividad = 1080,27 μ S/cm; turbidez = 24,14 NTU). La temperatura varió entre los 11 °C en invierno y los 25 °C en verano, además se mantuvo por encima de los 20 °C durante la mayor parte del seguimiento, desde principios de junio hasta mediados de octubre.

Con la ayuda de los datos obtenidos en el año 2014, puedo concluir que se han podido diferenciar varias etapas en el crecimiento de los briozoos: fase de germinación de los estatoblastos, fase de crecimiento, fase de máxima cobertura y caída del crecimiento.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

En una fase inicial se observa la germinación de los estatoblastos. El halo blanco que se observa se produce a raíz de que las valvas de los estatoblastos se han roto y se ha producido la evaginación de la ancéstrula (primer individuo colonizador) a partir del tejido germinativo que posee el estatoblasto. Esta ancéstrula dará lugar a otros individuos por gemación y se acabará formando la colonia. A partir del 6 de mayo, coincidiendo con el aumento de la temperatura del agua, se produce la fase de desarrollo.

En la parte superior de las placas estos organismos crecen mucho más rápido, alcanzado a mediados de junio el 100 % de colonización de la superficie de las placas y completando el desarrollo máximo de las colonias (5 cm de longitud). Desde mediados de julio comienza el descenso de crecimiento de las colonias. El desarrollo de estas colonias permite la acumulación de sedimentos, lo que facilita el asentamiento de la almeja asiática debido a que esta especie invasora vive enterrada en el sedimento y no es capaz de fijarse en el sustrato duro, como sí lo hace el mejillón cebrá.



Figura 44. Izquierda: Estatoblastos germinando en las placas de PVC. Central: Inicio del crecimiento de la colonización. Derecha: Crecimiento máximo de las colonias. Fuente: Toscano Línea Electrónica SL.

La liberación de los estatoblastos se produce en mayor medida durante el otoño, cuando las colonias de briozoos mueren, permaneciendo las formas de resistencia que soportarán las condiciones desfavorables del invierno y germinarán de nuevo la próxima temporada.

La colmatación de los filtros por los estatoblastos tiene como consecuencia el mal funcionamiento de la instalación, disminución de las presiones, reducción de la sección de las tuberías por el tapizado de estas, aumento del volumen necesario de agua de limpieza, contaminación del agua de riego con gran cantidad de restos orgánicos, aumento del coste energético debido a la pérdida de carga y en consecuencia mayores requerimientos de presión, incremento de oxidación y deterioro en los elementos metálicos de las instalaciones, así como el aumento del coste del tratamiento del agua. Además, supone un aumento de los costes de mantenimiento de limpieza de los filtros cazapiedras.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 45. Estatoblastos liberados al final de la estación estival. Estos se adhieren a las boyas (arriba) y a las paredes de las arquetas (abajo a la izquierda), dejando la marca de diferentes niveles de profundidad. Fuente: Toscano Línea Electrónica SL.

4.2.3. Mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*)

A partir de 2017, la disminución del impacto de los briozoos, debida a la aplicación de los primeros tratamientos de desecación, pintura antifouling y generación de sobrevelocidades, fue paralela al crecimiento del mejillón cebra. En 2016 se aprecia por primera vez su presencia en balsas, obras de toma, arquetas, hidrantes, e incluso adheridos masivamente a las paredes de las tuberías; y en 2017 el grado de colonización en balsas, tuberías y canalizaciones era completo. A diferencia de los briozoos, el crecimiento del mejillón cebra en las infraestructuras de regadío era más lento, pero también más continuo y se extendía fuera de la campaña de riego.

Entre los principales problemas que provoca en las instalaciones de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir destaca: obturación de rejillas y obras de toma, incremento de costes de mantenimiento por la limpieza manual y constante de los filtros (incluso roturas de filtros y sistemas de regulación) al igual que en las dos especies anteriormente comentadas, pérdidas de caudal y horas de riego y reducción de sección e incremento de pérdidas de carga.

El control de la evolución del mejillón cebra se realiza en las balsas con un método muy fácil de controlar y que hemos propuesto junto con el personal de la Comunidad de Regantes mediante las sogas de rescate. De esta forma, durante la realización de este trabajo hemos podido confirmar que la incidencia del mejillón cebra en las balsas es reducida comparada con sus inicios, debido a que el canal tiene periodos de secado por las restricciones

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

hídricas ya que la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir suministra el agua por emboladas,



Figura 46. Control de la evolución del mejillón cebra mediante sogas en las balsas de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir. Fuente propia.



Figura 47. Ejemplares de mejillones adultos incrustados en las troneras de las bombas de llenado de balsa (Sector VIII). Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.



Figura 48. Obturación de rejillas y obras de toma. Fuente: Endesa.

A continuación, resumiremos los daños producidos por las especies invasoras en la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir.

- Almeja asiática. Se encuentran los primeros ejemplares en los filtros cazapiedras debido al arrastre por las tuberías. Obstruyen filtros cazapiedras y rejillas. Puede llegar a deteriorar los elementos de control de los hidrantes tales como las hélices, válvulas y conexiones.
- Briozoos. Se localizan por primera vez adheridos a las paredes de las tuberías y posteriormente en las captaciones de las tomas flotantes, en los filtros rotativos de las balsas, en las columnas y aspiraciones de las bombas, en los filtros cazapiedras de los hidrantes y en las instalaciones particulares de riego por goteo. Estos organismos reducen la sección de las tuberías, disminuyen la capacidad de las balsas junto con los sedimentos, y obstruyen las tomas flotantes y los sistemas de filtrado (filtros de bandas y cazapiedras). Estos organismos producen un incremento de la oxidación y el deterioro de los elementos metálicos.
- Mejillón cebra. Se visualiza por primera vez adherido en los taludes interiores de las balsas, y posteriormente en obras de toma, columnas y aspiraciones de las bombas, arquetas, hidrantes y en las paredes de las tuberías. Estos moluscos reducen la sección de las tuberías y rejillas, y obstruyen los filtros cazapiedras.

4.3. Tratamientos físicos

En los dos siguientes apartados describiremos las diferentes estrategias llevadas a cabo por la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir tras ser colonizadas sus

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

infraestructuras por las especies invasoras estudiadas. Tras exponer todas las variantes concluiremos en el último apartado de este estudio cuales son las más viables y sus perspectivas de futuro.

Tras la primera toma de contacto con estas especies invasoras, se intentó limpiar las tuberías con equipos de chorros a presión y tras las pruebas se confirmó la imposibilidad de llevarlo a cabo de un modo eficaz y eficiente debido a los siguientes motivos: equipos incapaces de deslizarse en el interior de las tuberías, alcance de los elementos muy limitado, ausencia de pozos de registro para seccionar las tuberías, presiones requeridas muy elevadas y necesidad de adaptación de los equipos para este caso en particular de la Comunidad de Regantes.

4.3.1. Ultrasonidos

El ultrasonido (ondas sonoras con una frecuencia por encima de los 20 kHz) se transmite en el agua produciendo una serie de ciclos de compresión y rarefacción que conducen a la generación de burbujas de cavitación. Este fenómeno es conocido como cavitación acústica. Millones de estas burbujas implosionan causando puntos localizados de alta presión y temperatura (100 MPa y 5.000°C, respectivamente). Este fenómeno, favorece la actividad química debido a la formación de radicales hidroxilo, altamente reactivos (Sánchez et al., 2016).

Las vibraciones producidas por la cavitación afectan a las algas de diferente modo: causan la ruptura de la vacuola de gas, tienen efectos sobre la membrana y/o pared celular, producen la liberación de radicales libres que pueden inhibir la fotosíntesis, y tiene efectos sobre la actividad fotosintética y el ciclo celular de las algas.

El ultrasonido tiene efectos satisfactorios como sistema antifouling, impidiendo la incrustación de organismos marinos (algas, pequeños moluscos, esponjas e incluso briozoos) en el casco de los barcos. Por este motivo, surge la idea de colaboración entre la empresa Toscano Línea Electrónica S.L. y la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir, para combatir el biofouling causado por la proliferación masiva de los briozoos de agua dulce.

Antes de realizar el tratamiento masivo en las instalaciones de la Comunidad se llevaron a cabo una serie de pruebas en las arquetas de filtrado de los sectores VII y IX en el año 2014 (17 de marzo al 5 de diciembre). En este último sector se instaló un equipo ultrasónico DUMO algacleaner AC-150, mientras que el sector VII no se realizó ningún tratamiento con la finalidad de usarlo como testigo.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 49. Instalación del equipo DUMO algacleaner ACM-150 en la arqueta de filtrado del Sector IX. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Para observar el asentamiento y el crecimiento de los briozoos se utilizaron placas de PVC de 25 cm x 25 cm, disponiéndose en baterías horizontales de tres placas quedando a diferentes profundidades (70 cm, 140 cm y 210 cm); estando sujetas a una boya con el fin de que oscilaran con el nivel del agua. La evolución de los parámetros fisicoquímicos y la determinación de las fases de los organismos se describieron en el apartado 4.5.2.

Respecto a la profundidad, durante el periodo estudiado se observó en ambos sectores que los briozoos crecen más en las placas más profundas durante las etapas iniciales de crecimiento. Cuando se alcanza el máximo crecimiento, las tres placas quedaron colonizadas en su totalidad.

El porcentaje de germinación de los estatoblastos resultó significativamente más bajo en las placas tratadas que en las no tratadas. Tras nueve días de tratamiento ultrasónico, solo el 9,24 % de los estatoblastos germinaron mientras que en las placas no tratadas lo hicieron el 94,29 % de los estatoblastos. En los siguientes muestreos los porcentajes de germinación se mantuvieron cercanos al 100% en los siguientes muestreos en las placas no tratadas mientras que este porcentaje permaneció en torno al 10% en las placas tratadas.

En la siguiente figura se muestra la colonia sometida al ultrasonido y la colonia no tratada. Se observa que, a pesar de que en las dos situaciones ha proliferado los briozoos, el comportamiento de estos organismos es distinto; presentando cambios cualitativos sobre el crecimiento de las colonias.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 50. Colonia de Plumatella sometida a tratamiento ultrasónico (Izquierda) y colonia de Plumatella no tratada con el ultrasonido (Derecha). Fuente: Toscano Línea Electrónica, S.L.

Por otro lado, al observar las colonias bajo el microscopio se confirmaba que en las que estaban sometidas a ultrasonidos no estaban produciendo estatoblastos mientras que las no tratadas sí lo hacían.

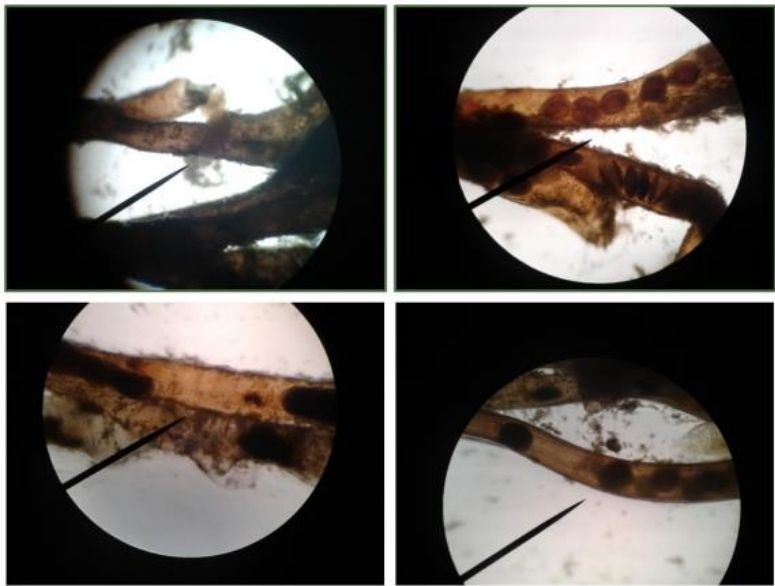


Figura 51. Colonia de Plumatella sometida a tratamiento ultrasónico (Izquierda) y colonia de Plumatella no tratada con el ultrasonido (Derecha) vistas bajo microscopio. Fuente: Toscano Línea Electrónica, S.L.

Debido a los buenos resultados obtenidos en las pruebas, se decidió realizar un experimento a gran escala para valorar la viabilidad del tratamiento en las tuberías. El 7 de

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

abril de 2014 se procedió a instalar un equipo ultrasónico más potente en el sector VI en una de las tuberías afectadas. Antes de la instalación del equipo se procedió a una limpieza de la tubería utilizando agua a presión, de esta forma se retiró toda la biomasa de briozoos que había acumulada en esa zona.



Figura 52. Instalación de un equipo ultrasónico en una tubería afectada por la plaga de briozoos en el Sector VI. Fuente: Toscano Línea Electrónica, S.L.

El principal inconveniente que tenía esta prueba es que resultó imposible hacer un seguimiento en el crecimiento de los briozoos con la tubería en carga. El equipo estuvo funcionando desde el 7 de abril hasta el 20 de octubre de 2014. Como se puede observar en la siguiente figura, el crecimiento de los briozoos no seguía el patrón habitual, presentando una importante diferencia cualitativa antes y después del tratamiento.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 53. Interior de la tubería afectada por la plaga de briozoos en el Sector 6 de la CRVIG antes del tratamiento ultrasónico (arriba) y después del tratamiento (abajo). Fuente: Toscano Línea Electrónica, S.L.

Estos resultados como sistema antibiofouling podrían no ser suficientes como para justificar la viabilidad del uso de este tipo de equipo ultrasónico. No obstante, los resultados obtenidos podrían justificar que se continuarán con nuevas pruebas en esta línea de investigación, para conseguir una mayor eficiencia en estas condiciones tan adversas.

4.3.2. Pintura antifouling

En las cántaras de llenado de las balsas y de filtrado son las ubicaciones dónde se incrustan más facilmentente los individuos de mejillón cebra y briozoos. Por este motivo, a partir del año 2016 se comenzaron con las limpiezas de estas infraestructuras con ayuda de agua a presión y ácido clorhídrico, para proseguir con la aplicación de pintura antifouling.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

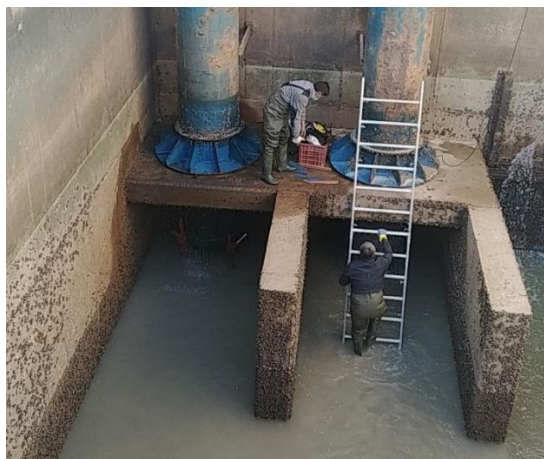


Figura 54. Preparación para la limpieza y pintado de la cántara de llenado de balsa. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Antes de comenzar con la aplicación de este tipo de pintura bastante costosa, se realizaron pruebas en placas de granito con partes pintadas y otras sin pintar. De este modo, se pudo comprobar que los briozoos no se adhieran a la parte pintada como se observa en la siguiente imagen.



Figura 55. Placa con tratamiento antifouling donde no se adhieren los briozoos. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

La pintura elegida fue Sigma Ecofleet 530 que se caracteriza por ser antiincrustante, autopulimentante, no presentar estaño, tener alta actividad y presentar óxido cuproso y biocidas orgánicos para condiciones agresivas de incrustación. Controla el asentamiento de incrustaciones animales y vegetales durante periodos de hasta 60 meses.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

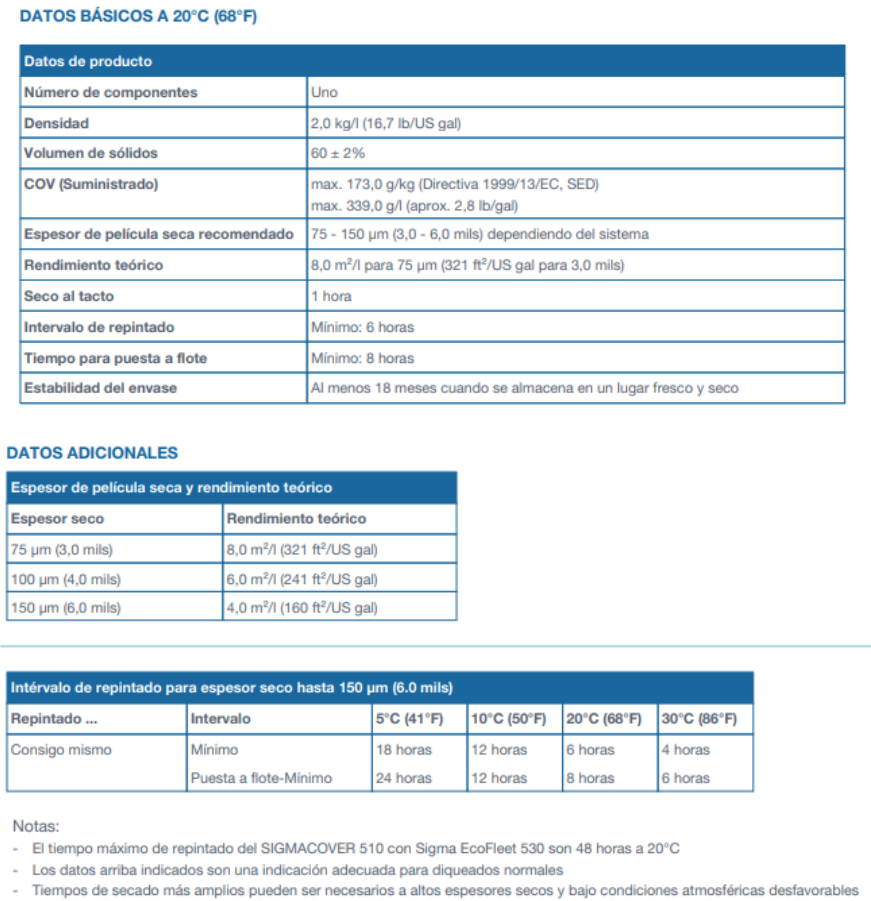


Figura 56. Especificaciones técnicas pintura Sigma Ecofleet 530. Fuente: PPG Protective and Marine Coatings.

El disolvente recomendado para la aplicación de esta pintura es el Thinner 21-06 de la misma marca comercial. Se debe aplicar con pistola sin aire con un volumen de disolvente de 0-3 % dependiendo del espesor recomendado y de las condiciones de aplicación. El orificio de la boquilla debe ser de 0,53-0,69 mm y la presión de trabajo debe estar comprendida entre 120 a 150 bar.

La aplicación de estas pinturas se realiza sobre los paramentos verticales de las arquetas donde toman agua las bombas de impulsión, arquetas de llenado, sobre elementos de anclaje existente en la balsa, tuberías de llenado, etc; cualquier estructura que sea susceptible de ser colonizada por estas especies.

La aplicación no es una tarea fácil, sobre todo en momentos de incertidumbre por la situación hidrológica, ya que para acceder a estas zonas donde es habitual que se encuentren colonizadas por especies invasoras, se requiere el vaciado parcial o total de algunas balsas. De modo, que en la Comunidad se opta por hacer estas aplicaciones de forma consecutiva en los diferentes sectores de riego.

La primera capa de pintura debe aplicarse con un porcentaje mayor de disolvente, de manera que pueda penetrar bien y deje sellado los poros de la superficie, consiguiendo

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

aumentar la resistencia al desprendimiento. En unas 6-12 horas, podrá aplicarse la segunda mano, ésta ya con menor o escaso disolvente añadido. Podremos volver a cubrir con agua la superficie pintada, a las 8-12 horas desde la última aplicación.



Figura 57. Cántara de filtrado antes y después del tratamiento de pintura antifouling. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

4.3.3. Desecación

La desecación consiste en el vaciado total o parcial de las infraestructuras de riego como canal, balsas, tuberías y arquetas. Esta operación resulta muy eficaz debido a que ninguno de los organismos de este estudio sobrevive a condiciones prolongadas de falta de humedad.

El inconveniente de esta medida es la limitación del momento de actuación ya que debido a la diversidad de cultivos que existe en la Zona Regable no cabe la posibilidad de vaciar los elementos de la red de riego durante un periodo considerable de tiempo.

Se procede a bajar el nivel de las balsas, preferiblemente en la época en la que la temperatura es más elevada. Evidentemente, en esta época no es posible vaciar completamente las balsas, ya que esto obligaría a interrumpir el servicio y afectaría a los riegos. Por ende, se trata de dejarlas en el mínimo nivel posible sin que la explotación se vea afectada, pero pudiendo acabar con la mayor colonia posible de mejillones cebra. Éstos aparecen en su fase adulta, en los pliegues de la lámina de polietileno que reviste la balsa, en las rampas de acceso y en los puntos singulares de hormigón (obra de llenado y de toma).

Estos individuos no aparecen en los niveles superiores e inferiores de la balsa, por lo que se trata de bajar el nivel hasta conseguir dejar al aire la gran mayoría de ellos sometidos al efecto de las altas temperaturas. El periodo mínimo para la desecación está en torno a los 5/6 días, aunque al tratarse de entornos con humedad y zonas resguardadas, es posible que algunos ejemplares queden aún con vida.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 58. Vaciado de balsa donde se aprecia la colonización por mejillón cebra y briozoos en la lámina impermeabilizante. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Tras la finalización de la pasada campaña de riegos 2023 y con la posibilidad de limpieza del canal, propuse a la Dirección de la Comunidad la limpieza mecanizada de los limos y de especies invasoras que se encontraban en esta infraestructura. Gracias a esta operación el primer llenado de las balsas con aguas de escorrentía no ha tenido arrastre de los sólidos que poseía el canal tras la campaña de riegos.

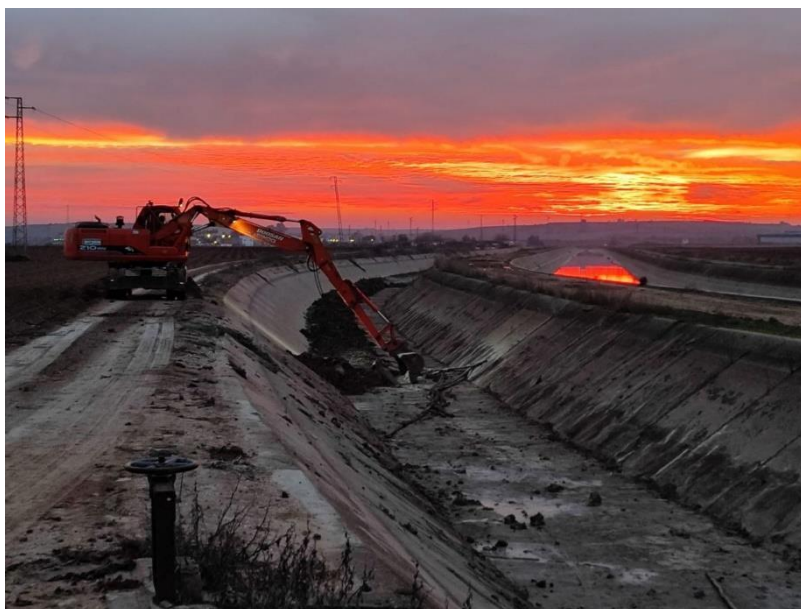


Figura 59. Limpieza del Canal del Valle Inferior del Guadalquivir. Fuente propia.

4.3.4. Adaptación de los filtros cazapiedras

La excesiva cantidad de cáscara de mejillón cebra y almeja asiática, unido con la presencia del briozoo, conlleva que el personal de campo de la Comunidad de Regantes ocupe

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

más del 80 % de su trabajo en la limpieza de filtros cazapiedras durante la campaña de riegos. Además, las aperturas y cierres continuas de los cazapiedras hacen que se deterioren sus componentes produciendo fugas en el hidrante. Este problema llegó a tal punto que algunos regantes se limpiaban los cazapiedras para que su jornada de riego no se viera interrumpida.

Todo esto dio lugar a que se solicitara a la firma STF antes de la campaña 2014, la construcción de un filtro especial de efecto ciclónico en Y, con el cuerpo de diámetro 2" y la entrada y salida con bridas diámetro 3" (8 taladros) y con una separación de 310 mm entre bridas, igual que el cazapiedras existente, con un cartucho en acero inoxidable perforado a 4 mm. En la tapadera se colocó una salida de diámetro 1 ½" centrada, para colocar una válvula de limpieza manual.

El funcionamiento y materiales de esta gama de filtros es igual a los filtros manuales de malla. La diferencia reside en los grados de filtración, siendo más grandes en el caso de estos filtros. La filtración se produce por retención física de las partículas de tamaño mayor al del elemento filtrante, que en este tipo de filtros es una chapa perforada de acero inoxidable. La limpieza del elemento filtrante es manual, pudiendo automatizarse. Presentan un excelente rendimiento debido a su gran superficie filtrante y baja pérdida de carga.



Figura 60. Instalación de filtro ciclónico STF FYCIC Tipo B. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 61. Interior del filtro cazapiedras STF. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

TECHNICAL DATA - DATOS TÉCNICOS - DONNÉES TECHNIQUES

General data - Características generales - Caractéristiques générales	FY-2-CIC	FY-3-CIC	FY-4-CIC	FY-5-CIC	FY-6-CIC
Inlet / Outlet diameter - Diámetro Entrada / Salida - Entrée/Sortie diamètre	DN-50 (2")	DN-80 (3")	DN-100 (4")	DN-125 (5")	DN-150 (6")
Max. working pressure - Presión de trabajo máx. - Pression de travail max. (bar)	10 (Any others, ask STF - Otras consultar - Pour autres, consulter)				
Max. fluid temperature - Tª máx. fluido - Temp. maximal du fluide (°C)	50 (Any others, ask STF - Otras consultar - Pour autres, consulter)				
Unladen weight - Peso en vacío - Poids à vide (Kg)	14	21	41	42	66

Filtration data - Datos de filtración - Données de filtration	FY-2-CIC	FY-3-CIC	FY-4-CIC	FY-5-CIC	FY-6-CIC
Filtering surface (cm²) - Sup. filtrante (cm²) - Surface de filtration (cm²)	1498	2004	3120	3120	5456
Filtration degrees - Grados de filtración - Finesse de filtration (µm)	125 µm, 2 mm				
Working flow - Cuadal de trabajo - Débit de travail (m³/h) - 125 µm	25	50	65	65	115
Working flow - Cuadal de trabajo - Débit de travail (m³/h) - 2 mm	25	50	65	65	115

Materials - Materiales - Matériaux	Standard - Estándar - Standard
Filter housing and lids - Cuerpo del filtro y tapas - Corps du filtre et couvercles	Carbon steel - Acero al carbono - Acier carbone
Coating - Tratamiento de acabado - Traitement de surface	Surface blasting up to degree SA 2 1/2 - Epoxi-polyester paint coating Granallado de superficies hasta grado SA 2 1/2 - Recubrimiento de pintura en polvo epoxi-poliéster Grenailage Grenailage de surface jusqu'à grade SA 2 1/2 - Epoxy-polyester revêtement de peinture
Filtration screen - Malla filtrante - Mailles filtrantes	125 µm: support - soporte - support PVC - Screen - malla - maille AISI-316 2 mm: AISI-304
Bolts & nuts - Tornillería - Boulonnerie	Bicr. 5.6 & 6.8
Seals - Juntas - Joints	EPDM

Any other material, contact the manufacturer: STF - Para cualquier otro material, contactar al fabricante: STF - Pour d'autres matériaux, merci de consulter le fabricant: STF.

Figura 62. Especificaciones técnicas filtro cazapiedras STF. Fuente: STF.

4.3.5. Operaciones de sobrevelocidades en la red de riego

Desde el final de la campaña de 2014, dónde comenzaron los serios problemas de obstrucciones en las instalaciones de riego debidos fundamentalmente a los briozoos, la Comunidad de Regantes decidió dicho año no dejar todo el invierno las tuberías cargadas de agua, sino vaciarlas hasta el límite que se pudo. El objetivo era no posibilitar el desarrollo de

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

los briozoos durante todo el invierno, ya que estos organismos al no adherirse a las paredes de las tuberías mueren. Los organismos que quedan ubicados en los depósitos de agua se han visto muy mermados debido a la insuficiencia de materia orgánica que les sirviera de alimento.

Esta medida, junto con la generación de importantes flujos de agua mediante accionamiento de las válvulas principales, han provocado el arranque y arrastre de una importante cantidad de los briozoos que históricamente tenían colonizadas las tuberías, habiendo observado en varios puntos los beneficios obtenidos con estas medidas, no exentas de ciertos riesgos tales como, averías y daños en los elementos de riego.

Para evitar la merma de sección por el tapizado que producen sobre todo el mejillón cebras y los briozoos, se generan sobrevelocidades superiores a los 2,5 m/s poniendo al máximo rendimiento las estaciones de bombeo para proporcionar a la red grandes caudales y presiones inusuales de la forma más controlada posible.

Actualmente, la Comunidad de Regantes continúa con esta operación antes y después de la campaña (esta última tras el tratamiento químico con peroxiacéticos). En torno al mes de abril, y siempre y cuando haya disponibilidad de recursos hídricos en las balsas de riego, se realiza la generación de sobrevelocidades en la red de tuberías con el objetivo de arrastrar las especies invasoras alojadas en las tuberías y provocar su salida por los elementos de desagüe.

El procedimiento se ha ido perfeccionando con el paso del tiempo y siempre la Dirección de la Comunidad de Regantes ha permitido nuevas ideas de mejora como la aportación propia de realizar estas operaciones únicamente por los tramos afectados, reduciendo así el consumo de agua evacuada por los desagües:

- 1- Anular el bombeo por caudal de las estaciones de bombeo, en el apartado protecciones y parámetros generales del SCADA para que la velocidad de giro de las bombas no dependa del caudal demandado, sino del consignado manualmente.
- 2- El personal de campo debe abrir los desagües y dejar el filtro rotativo en manual con anterioridad a estas operaciones. Además, es conveniente que se abra ligeramente la compuerta de bypass del filtro rotativo para que no se obstruya este debido a la demanda de tanto caudal. Tras la apertura de los desagües, se cierran las válvulas de corte de las arquetas de línea para que se hagan las operaciones por tramos.
- 3- El personal de campo cierra las válvulas de cabecera de las tuberías principales y se carga la red con ayuda del bypass de las estaciones de bombeo.
- 4- Establecer fase I de bombeo (20 m.c.a.) y una vez alcanzada asignar la fase II llegando a 38 m.c.a. El objetivo es obtener el máximo caudal a la presión establecida, haciendo que funcionen las bombas a más del 90 % de velocidad de giro. Una vez estabilizado el bombeo, se puede abrir paulatinamente las válvulas de cabeceras en algunos tramos de la red. Podemos aumentar la velocidad de la bomba auxiliar en fuera de secuencia.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Nunca se debe sobrepasar los 50 m.c.a. de presión ya que se para el bombeo a red porque lo asemeja a una avería.

- 5- El personal de campo irá abriendo válvulas de corte e irán cerrando los desagües cuando el agua no tenga restos orgánicos. Si se realiza fuera de la campaña de riegos, es aconsejable dejar abiertos los desagües después del paro de las bombas para vaciar lo máximo posible la red de riego.
- 6- Para expulsar la mayor cantidad de restos orgánicos es aconsejable cambiar de fase I a II y viceversa. De este modo se producen mayores arrostres de las especies invasoras que estén en el interior de las tuberías.



Figura 63. Filtro cazapiedras antes (izquierda) y después (derecha) de la generación de sobrevelocidades. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



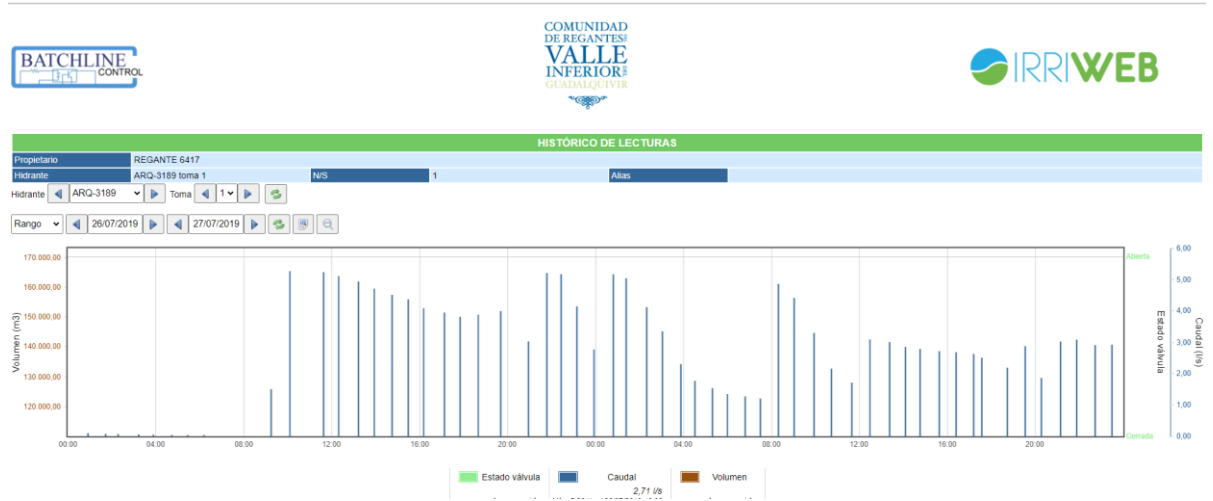
Figura 64. Vaciado de tuberías por desagües hacia acequia secundaria (izquierda). Formación de aglomeraciones de briozoos y sedimentos disecados tras las primeras operaciones de sobrevelocidades. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.



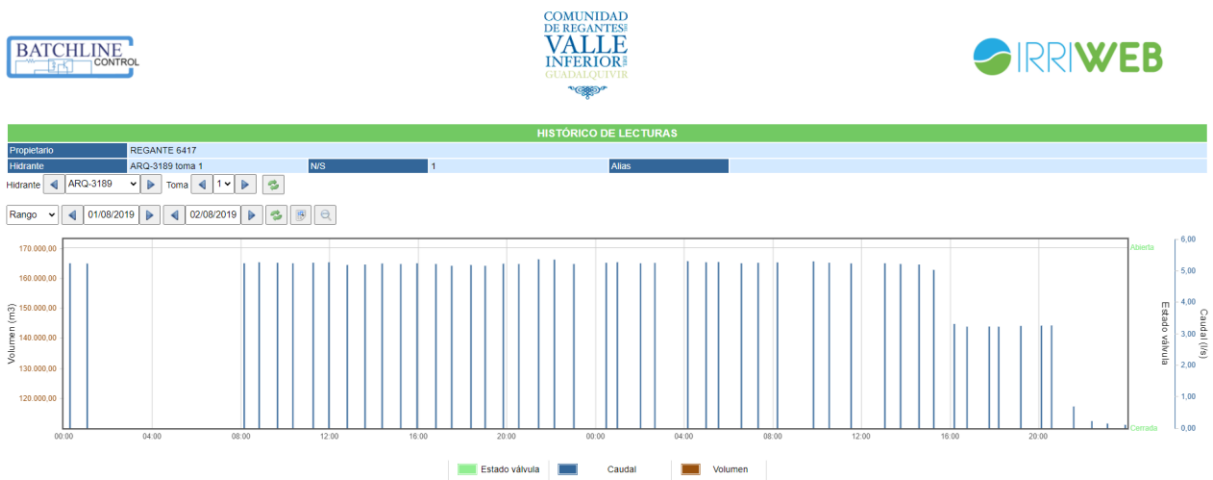
Figura 65. Estado del interior de la tubería antes de las operaciones de sobrevelocidades (izquierda) y después (derecha). Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

Debido a la gran actividad de estas especies invasoras durante el periodo estival, los hidrantes registran evoluciones de riego anormales debido a la obstrucción del filtro cazapiedras, provocando que la jornada de riego no sea satisfactoria para el regante. Antes estos problemas, son muy eficaces generar sobrevelocidades puntuales en los ramales de riego afectados. Las siguientes imágenes ratifican la efectividad de dichas operaciones.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Gráfica 2. Evolución del riego del hidrante 3189 (Sector VIII) antes de la operación de sobrevelocidades. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.



Gráfica 3. Evolución del riego del hidrante 3189 (Sector VIII) después de la operación de sobrevelocidades. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

4.4. Tratamientos químicos

Dentro de los tratamientos químicos que ha llevado a cabo la Comunidad de Regantes desde que comenzó la problemática de las especies invasoras son el ácido sulfuroso y la aplicación de productos peroxiacéticos.

Cabe destacar que los primeros productos utilizados a modo de pruebas por la Comunidad de Regantes eran inviables. En concreto, el cloro y el permanganato potásico. El primero de ellos se descartó por la difícil y peligrosa aplicación, y por los daños producidos en las infraestructuras de riego. El uso del permanganato potásico conllevaba muchas restricciones debido al uso para la obtención de sustancias estupefacientes.

4.4.1. Ácido Sulfuroso

Los comienzos con el ácido sulfuroso fueron experimentales con la ayuda de un trabajo de investigación del efecto de este producto sobre las especies invasoras (*mejillón cebra*, *almeja asiática* y *Plumatella sp.*) dirigido por la Dra. María Luisa de la Torre Sánchez, Profesora Titular de la Universidad de Huelva y solicitado por la Asociación de Comunidades de Regantes de Andalucía (FERAGUA).

El ácido sulfuroso es producido a partir de un equipo quemador de azufre elemental para transformarlo en dióxido de azufre para que al combinarse con el agua provoque la formación del ácido sulfuroso y su posterior oxidación a ácido sulfúrico, reduciendo el pH y la concentración de oxígeno disuelto en agua de riego. La empresa propietaria del equipo quemador es AguaDulce Ibérica.

La experiencia se ha llevado a cabo con la colaboración del Dr. Khalid Fahd Draissi, investigador de la Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua CENTA, en una planta piloto construida al efecto en las instalaciones que dicha Fundación tiene en Carrión de los Céspedes (Sevilla), y que participa en este estudio mediante subcontratación de sus servicios por parte de la Universidad de Huelva. El estudio tuvo lugar desde junio hasta noviembre de 2016. Por otro lado, la experiencia en campo se realizó en un ramal de tuberías del sector II de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir el 18 de octubre de 2016.

Tras la recogida de muestras de las especies invasoras del estudio y del agua de riego, estas se llevan a laboratorio donde habitarán en 13 acuarios de plexiglás de 45 litros de capacidad unitaria. Para cada especie se dispusieron 4 acuarios (1 blanco (testigo) y 3 réplicas). Además, se ha construido un acuario adicional para la experimentación con materiales de riego.

El agua de riego de origen de cada especie se introduce en el acuario correspondiente, estando este oxigenado y agitado por burbujas homogéneas producidas por difusores conectados a bombas de aire. Las tres especies se alimentan con algas procedentes de un Lagunaje de alta carga instalado en la Planta Experimental. Las especies de fitoplancton predominantes han sido: *Pandorina sp.*, *Eudorina sp.*, *Micractinium sp.*, *Euglena sp.* *Scenedesmus sp.*

Entre los meses de junio y julio de 2016 se realizó una experimentación previa con las especies invasoras sin adición de ácido sulfuroso para evaluar la incidencia previa de aclimatación de cada especie a distintos factores como temperatura, oxigenación del agua, número de individuos por acuario, tipo de sedimento para la almeja asiática, tipo de alimentación y cantidad por acuario; para que la experiencia final tenga la mayor fiabilidad posible. El cultivo de las especies en los acuarios se ha realizado de la siguiente forma:

- Mejillón cebra. Se ha colocado en el fondo de cada acuario losas de 20x20 cm, sobre las que se han colocado 30 individuos procedentes de una balsa de la Comunidad de

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Regantes del Villar (Córdoba). Se alimentan dos veces al día para que se desarrollen lo antes posible, los individuos que no se desarrollen en el sustrato se remplazan por otros vivos.



Figura 66. Ejemplares de mejillón cebra aclimatadas en un acuario del laboratorio del CENTA.
Fuente: CENTA

- Almeja asiática. En el fondo del acuario se colocó una capa de arena gruesa (0,5-1 mm). En cada uno de ellos se han colocado 15 individuos juveniles y otros 15 adultos procedentes del Canal de Piedras que abastece a la Comunidad de Regantes de Palos de la Frontera (Huelva).



Figura 67. Ejemplar de almeja asiática en periodo de aclimatación. Fuente: CENTA

- Briozoos. Colocación de las losas colonizadas por briozoos recogidas en la arqueta de llenado del S.IX de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 68. Placas con colonia de briozoos en el interior de los acuarios. Fuente: CENTA

Durante el periodo de aclimatación se midieron diariamente en cada uno de los acuarios los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales; con la ayuda de un multiparamétrico de medida in situ.



Figura 69. Multiparamétrico de medida in situ YSI 556 MPS. Fuente: CENTA

El pH de la Comunidad de Regantes el Villar en todos los casos es superior al resto, como se puede observar en la siguiente gráfica.

La temperatura tiene una variación mínima de 20,4 °C a 21,1 °C, debido a la idónea climatización del laboratorio. Gracias a la oxigenación forzada mediante difusores, el oxígeno no es limitante en las especies estudiadas. Los mayores valores de conductividad eléctrica se corresponden con los acuarios de mejillón, seguido de *Plumatella* y los más bajos en los de almeja asiática. Los valores de sólidos disueltos de los acuarios de mejillón superan con creces al resto. Cabe puntualizar, que, en el momento del muestreo, el agua de la Comunidad

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

de Regantes del Villar estaba completamente turbia, decantando pasados dos días al fondo del acuario.

El contacto entre el agua de riego y el producto de la combustión de azufre genera las siguientes reacciones:

- En el quemador de azufre: azufre más oxígeno produce dióxido de azufre, y dióxido de azufre más agua da lugar a ácido sulfuroso o sulfito de hidrógeno.
- En el agua a tratar: ácido sulfuroso más oxígeno del agua produce hidrógeno más sulfato. El hidrógeno más los bicarbonatos generan agua más dióxido de carbono.

Los efectos de estas reacciones químicas según la casa comercial del quemador de azufre afectan a las especies invasoras del siguiente modo:

- Altera el pH del agua
- Reduce el oxígeno disuelto en agua
- Aumenta el dióxido de carbono disuelto
- Reduce el bicarbonato disponible para formar la concha y el esqueleto
- Los sulfitos son bactericidas, surfactantes y desecantes. Desnaturalizan las proteínas y la quitina
- Dilución de la cubierta gelatinosa hidrófila del molusco
- Disminuye la adherencia y bloquea la formación del viso del mejillón, interrumpiendo el ATP. El ATP (Adenosín Trifosfato o Trifosfato de Adenosina) es la molécula portadora de la energía primaria para todas las formas de vida.

AguaDulce Ibérica recomienda que para eliminar todos los organismos vivos que se encuentran en un medio acuático, la cantidad de ácido sulfuroso que hay que añadir, se corresponde a la cantidad necesaria para bajar el pH del medio en un punto y medio.

En estas condiciones, durante 8 días de experimentación, no se ha registrado ningún individuo muerto de mejillón cebra ni de almeja asiática en ninguno de los tratamientos. En cambio, durante el tercer día todas las colonias de *Plumatella sp.* de los tratamientos con ácido sulfuroso habían muerto.

Tras el desarrollo en una primera fase del protocolo recomendado por la empresa AguaDulce Ibérica, el grupo de investigación optó por añadir la cantidad necesaria de ácido sulfuroso para reducir la concentración de oxígeno por debajo de 1 mg/l en todas las réplicas del mejillón cebra y almeja asiática. En este caso se utilizan recipientes opacos y cerrados

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

para que no haya presencia de oxígeno atmosférico y para evitar la presencia de algas que puedan hacer la fotosíntesis y producción de oxígeno (condiciones similares al interior de las tuberías).

Tras los primeros cinco días, todos los individuos de mejillón cebra en las tres réplicas habían muerto. Esto corrobora lo mencionado en trabajos anteriores, donde se indica que el oxígeno disuelto en el agua se considera uno de los factores que influyen en la supervivencia y proliferación del mejillón cebra. Por ello, durante la estratificación del embalse Iznájar, el crecimiento y supervivencia del mejillón cebra está limitado en las aguas hipolimnéticas debido a la ausencia del oxígeno (Gros et al., 2014).

El 95 % de los individuos de almeja asiática murieron tras 14 días del tratamiento de las tres réplicas. Normalmente, cuando las concentraciones de oxígeno son muy bajas, estos individuos cierran sus valvas y tienen respiración anaeróbica.

Finalmente, la propuesta de dosis de ácido sulfuroso de AguaDulce Ibérica solo es efectiva para el género *Plumatella*, sp. Adicionando la cantidad suficiente de ácido sulfuroso para bajar el oxígeno disuelto por debajo de 1 mg/l, si se tiene efectividad para la erradicación del mejillón cebra y la almeja asiática. Los materiales de riego soportan las concentraciones de ácido sulfuroso que se han aplicado durante el estudio, teniendo en cuenta que cabe la posibilidad de que elementos metálicos de las instalaciones pueden sufrir daños ante mayores bajadas de pH.

Gracias al estudio de experimentación anteriormente comentado, la Comunidad de Regantes decide comenzar con el trabajo de campo aplicando esta técnica en un ramal de riego del sector II. Se aplica el ácido sulfuroso en la arqueta que comunica la balsa con el bombeo a red, monitorizando continuamente el nivel de concentración de oxígeno disuelto en el punto de aplicación y al final del tramo de tubería tratada, hasta que en este último punto se alcancen los valores por debajo de 1 mg/l dejando cerrado este tramo durante mínimo 12 días; evacuando el agua sin afectar a los ecosistemas de la zona.

Tras estos datos obtenidos, podemos destacar que el ácido sulfuroso es efectivo en fase experimental, pero en fase de explotación su aplicación no es sencilla, requiere de personal cualificado y su limitación principal es la reducción de eficacia cuando se proyecta en redes de riego de grandes dimensiones.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR



Figura 70. Equipo quemador de azufre AguaDulce Ibérica en la arqueta de filtrado de la estación de bombeo del sector II de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir. Fuente: C.R. Valle Inferior del Guadalquivir.

4.4.2. Tratamientos con productos peroxiacéticos

Debido a la gran influencia del mejillón cebra en la Cuenca Hidrográfica del Ebro, la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir contacta directamente con el grupo OX-CTA, empresa pionera a nivel nacional e internacional y con gran experiencia en estrategias de control y erradicación de tales especies invasoras.

Grupo OX es un grupo empresarial de primera línea cuya actividad principal es el desarrollo, implantación y gestión de Soluciones Integrales en Bioseguridad. Sus pilares de crecimiento son la I+D+i+a (Investigación + Desarrollo + innovación + aplicación de la innovación), la potenciación del capital humano y la internacionalización.

Las primeras pruebas realizadas datan del año 2014, realizando tratamientos más orientados a los principales problemas ocasionados por los briozoos. Para el cálculo del tipo de materia activa y dosis de esta, la Comunidad de Regantes facilita análisis de agua en diferentes puntos de interés tales como hidrantes y diversos puntos del canal además de la red de riego en formato SHP y TIF.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Tras varios años de experiencia, **se ha conseguido la combinación perfecta de materias activas para el control del mejillón cebra y a su vez para disminuir la población de briozoos y almeja asiática.** El producto en cuestión tiene el nombre de OX-VIRIN compuesto por:

- 25 % de peróxido de hidrógeno
- 8 % de ácido acético
- 5 % de ácido peracético
- Núcleo OX-VI
- Excipientes y agua.

Este desinfectante ecológico tiene aplicaciones como bactericida, fungicida, virucida, alguicida, esporicida y activo frente a protozoos, ooquistes de coccidios y otros parásitos. Cumple las Normas de Eficacia Estandarizada UNE EN 1276, 1650, 13697, 1656, 1657, 14675, 14476 y 13704. Las dosis calculadas para cada sector de riego son las siguientes:

- Sector I: 210 kg
- Sector II: 210 kg
- Sector III: 900 kg
- Sector IV: 2000 kg
- Sector V: 1100 kg
- Sector VI: 800 kg
- Sector VII: 900 kg
- Sector VIII: 1100 kg
- Sector IX: 1800 kg

El uso continuado de este producto no provoca resistencias por parte de los microorganismos, por lo que no existe la necesidad de rotación de materias activas. No produce corrosión en los elementos de riego de la comunidad de regantes. Este producto permite evacuar los restos de ejemplares de las especies invasoras por los elementos de desagües ya que es biodegradable. Facilita el tratamiento fuera de campaña de riegos, entre los meses de octubre y noviembre se realiza el tratamiento en la Comunidad de Regantes estudiada, ya que el producto es independiente a la temperatura de trabajo y de los parámetros fisicoquímicos del agua. El control de concentración de las materias activas es muy intuitivo gracias a las tiras reactivas.

El procedimiento para el tratamiento específico con OX-VIRIN de la red de riego de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir es el siguiente:

- 1- Vaciado de la red de tuberías: días antes del tratamiento el personal de campo abre los desagües de la red de riego con el fin de evacuar todos los organismos que pueda alojar el agua.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- 2- Instalación del equipo: el equipo de OX-CTA conecta la bomba inyectora (caudales comprendidos entre 200 y 1200 l/s) al depósito IBC para aplicar el producto en la arqueta del filtrado y aspiración de las bombas.
- 3- Cerrar las válvulas de cabecera: el personal de campo impide la salida del agua de la estación de bombeo cerrando las válvulas de corte en cabecera.
- 4- Cargar la red hasta las cabeceras: se abre el bypass de la estación de bombeo hasta que la presión de aspiración e impulsión sean similares.
- 5- Inicio de bombeo a red: establecer la fase I del bombeo (20 m.c.a.) y una vez alcanzada, se evoluciona a fase II ajustando la presión para que el caudal de la bomba inyectora del tratamiento sea igual que el caudal de salida de la estación de bombeo. En este momento se abren ordenadamente los ramales de cada sector para aprovechar al máximo el producto. Todas las bombas de la estación de bombeo deberán ser impregnadas del producto.
- 6- Medición de concentración del producto: la toma de muestras se realiza con la ayuda de tiras reactivas, cuando la concentración es superior a 10 mg de peróxido de hidrógeno por litro de agua en la salida de los desagües se procede al cierre de estos. El producto debe estar como mínimo dentro de la red de riego 48 horas. Gracias al estudio de la biología de las especies invasoras pude proponer ampliar este plazo hasta 72 horas (mejillón cebra y briozoos), siendo aconsejable que perdure hasta 9 días para que tenga mayor efectividad en el control de la almeja asiática.
- 7- Operación de sobrevelocidades: tras la semana del tratamiento, se generan sobrevelocidades en la red para que se desprendan las últimas valvas de mejillón cebra y restos de briozoos y almeja asiática. Estas operaciones se detallaron en el apartado 4.6.5.

Este tratamiento ha evolucionado en la eficacia de ejecución, ya que los tratamientos se realizan en los nuevos sectores de riego en tan solo 4 jornadas laborales, comparadas con las 8 jornadas que suponía los primeros años.

El equipo humano que se encarga en la realización de estos tratamientos está conformado en cada uno de los sectores por:

- 1 técnico de la empresa OX-CTA
- 1 técnico de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir
- De 2 a 4 trabajadores de campo de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir.



Figura 71. Tratamiento con OX-VIRIN tras la campaña de riego de 2023 (07/11/2023). Fuente propia.

5- Estudio económico

5.1. Impacto económico

Hay que tener presente que toda la superficie agrícola regada con agua superficial es susceptible de sufrir potenciales daños por especies exóticas invasoras, lo que en Andalucía supone, según la Agenda de Regadíos, unas 670.000 ha.

Por otro lado, de la superficie total susceptible a estos daños, el 60 % de ellas tienen riesgo de daños tanto en las instalaciones de distribución como instalaciones en parcelas (balsas, filtros, contadores, válvulas y otros accesorios). Estas 400.000 ha se corresponden a los sistemas de riegos a presión.

Además, el mayor coste energético que provocan las obstrucciones de las infraestructuras de riego por estas especies invasoras y los sobrecostes energéticos de limpieza de los filtros se estima en 0,166 kg de CO₂/kWh consumido (WWF, 2010).

El tapizado por las especies invasoras en los sistemas de protección (rejillas en obras de toma de canales, protecciones de tomas flotantes y/o captaciones de balsas, filtros de seguridad de estaciones de bombeo, etc.) provoca una mayor pérdida de carga en el tránsito del agua a través de ellos, tanto más elevada cuanto más severo es el grado de tapizado, pero alcanzando con facilidad, en cualquier caso, valores del orden del 1,0 a 1,5 m.c.a. de exceso de pérdida, en cada uno de ellos. En la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir se dispone de rejilla de desbaste en toma de canal, captación ranurada en toma flotante y filtro de mallas aguas arriba de la estación de bombeo y la pérdida adicional

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

acumulada en estos elementos, en caso de ser colonizados por las especies invasoras, alcanzaría fácilmente los 3 o 4 m.c.a.

Si traducimos este problema en unidades monetarias, podemos suponer que, si hay que dotar de esta sobrepresión al volumen de dotación media en condiciones normales de 5.000 m³/ha, estaríamos hablando de un consumo extra de energía de 65 kW/h. Si tenemos en cuenta que el coste de la energía medio (últimos 10 años) es de 0,15 €/kWh, resultaría un sobrecoste de unos 10 €/ha. Si tenemos en cuenta la superficie de la comunidad de regantes estudiada arrojaría un sobrecoste de unos 190.000 € anuales. Si lo extendemos a la superficie de riego susceptible de toda Andalucía alcanzaría la cifra de 6.700.000 €.

Si evaluamos el problema de las especies invasoras en el interior de las tuberías, tendríamos que destacar el aumento de la pérdida de carga debido a la menor sección de la red y al aumento de la rugosidad por la colonización de las especies invasoras. Para hacernos una idea del impacto económico, plantearemos dos ejemplos.

Supongamos una tubería de PVC de 200 mm. de diámetro y 1.000 metros de longitud, cuyo caudal de diseño es de, por ejemplo, 35 l/s. La pérdida de carga normal de esta conducción sería de 6,5 mca. Si suponemos ahora que tiene cubierto de briozoos un espesor de tan solo 5 cm. y que, por tanto, su coeficiente de rugosidad aumenta hasta 0,50, las pérdidas de carga serían de 14 m.c.a. Si en lugar de pensar en una tubería de reducidas dimensiones, nos ponemos en el caso de un gran colector, por ejemplo, de 1.000 mm. de diámetro, transportando un caudal de 1.000 l/s, la pérdida de carga normal sería de tan solo 1 m.c.a. Si ese colector sufre la colonización de briozoos en un espesor de 20 cm. (como ha ocurrido en casos reales ya contrastados), con las mismas hipótesis anteriores, obtendríamos que la pérdida de carga sería de casi 2 m.c.a.

Si en lugar de pensar en briozoos lo hiciéramos en mejillón cebra, las conclusiones a las que llegaríamos resultarían aún peores, ya que los espesores de colonización resultarían aún mayores y los coeficientes de rugosidad todavía más altos. En este caso, la pérdida de carga en el interior de la tubería supondría un sobrecoste de 30 €/ha que, por las 400.000 ha susceptible de afección en sus instalaciones colectivas, totalizan 12.000.000 €.

En las instalaciones particulares de los regantes los efectos en ellas serían idénticos a los de las instalaciones generales, y cuantitativamente, podrían alcanzar una cifra global de 12.000.000 € para las 400.000 ha de sobre coste eléctrico en parcela. El aumento del funcionamiento de los sistemas de limpieza de los filtros para riego localizado, produce además de la pérdida de energía, una considerable pérdida de agua al aumentar el agua de rechazo de los filtros, que en lugar de limpiar 4 o 5 veces por día podrán pasar a limpiar hasta 100 veces al día, pasando de un consumo normal de 1,5 m³/ha y año en funcionamiento normal sin briozoo a más de 30 m³/ha y año; que para las 400.000 ha de superficie de regadío afectada en Andalucía supondría una pérdida por limpieza de 12.000.000 m³ de agua, como consecuencia de la presencia de los briozoos u otras especies invasoras.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

En resumen, concluimos que los sobrecostes eléctricos por mayores requerimientos de presión debido a la colonización por briozoos o por mejillones cebra de las infraestructuras de riego de Andalucía podrían superar, más que probablemente, los 30.000.000 euros al año, lo que supone un incremento de energía de 200 GWh/año, alcanzándose unas emisiones de gas de 33.200 t de CO₂.

La estimación de coste de mano de obra bajo estas circunstancias de mayor afección es la siguiente. Suponiendo un filtro por cada 5 ha. de superficie de riego (superficie media de la explotación de riego en Andalucía) y 80.000 explotaciones de riego en las 400.000 ha. susceptible de afección, y que se consumen quince minutos en limpiar el filtro de forma manual, siendo necesarias dos limpiezas diarias para los aproximadamente 120 días de una campaña de riego, se estima el coste de mano de obra de limpieza de filtros manual, a razón de 8 €/hora, en 38.600.000 €.

El siguiente paso de máxima afección en el avance de la colonización por especies invasoras en las instalaciones de riego de Andalucía (400.000 ha.), sería la total colmatación de las tuberías, filtrados y emisores de goteo, lo que provocaría el daño de tener que abandonar la instalación o hacer una nueva, cuyo coste medio por hectárea. supera los 6.000 €, lo que supondría una pérdida superior a los 2.400 millones de euros.

Al objeto de luchar contra los briozoos y otras especies invasoras en las instalaciones de riego se emplean productos químicos y físicos, siempre compatibles con el medio ambiente. Según la naturaleza de estos productos, los equipos necesarios para su aplicación y las propias dosificaciones, se estima un coste aproximado de 9 €/ha que incluye tanto los costes de amortización de los equipos de almacenamiento e inyección de productos, como el coste de consumo de producto. Bajo este supuesto, el coste de la lucha química para las 400.000 ha alcanzaría un importe superior a 3.600.000 €.

A modo de conclusión, el impacto económico medio anual que le suponía la lucha contra las especies exóticas invasoras a la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir en los años con una dotación normal de 6.000 m³/ha y en el periodo donde todas sus instalaciones estaban afectadas, se desglosa en los siguientes apartados:

- Sobrecostes energéticos: 757.800 €
- Sobrecostes de mano de obra: 609.397 €
- Sobrecostes en tratamientos: 170.505 €
- Exceso de consumo eléctrico: 6 GWh
- Emisiones de gases de efecto invernadero: 939 t de CO₂
- Pérdida de agua por limpiezas de filtros: 568.350 m³/año.

5.2. Costes actuales de los tratamientos

Los tratamientos de ultrasonidos y la aplicación de ácido sulfuroso solo se utilizaron de forma experimental, debido a la falta de efectividad generalizada y a la difícil

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

cuantificación de resultados, ya que en el interior de las tuberías no se puede realmente conocer la evolución de las especies invasoras durante la campaña de riego.

La instalación de los filtros STF en lugar de los cazapiedras originales de la Comunidad de Regantes fue a modo de experimento, debido a la efectividad selectiva contra la almeja asiática y no generalizada para el resto de las especies invasoras de este estudio. Además, el coste es mucho más elevado (604 €) frente al filtro cazapiedras original (95 €) para el caso de hidrantes de 4 pulgadas.

Por otro lado, la desecación es el método más eficaz y prácticamente a coste cero de todos los valorados en este estudio; teniendo como inconveniente la limitación de recursos hídricos que se dispone en la zona regable actualmente y la prolongación de las campañas de riego a causa de la gran diversidad de cultivos de invierno que se ha implantado en los últimos años en la zona regable debido a la escasez de recursos y al aumento de la temperatura media invernol.

La pintura antifouling es un tratamiento de los más costosos que se realizan de forma generalizada y ordenada por sectores en la comunidad de regantes, ya que junto a la desecación periódica son las estrategias que más efectividad tienen a largo plazo. El coste de adquisición del material para el pintado de las estructuras metálicas y las arquetas de hormigón de filtrado son los siguientes.

Sector	Superficie (m²)	Rendimiento (m²/l)	Pintura (l)	Capas	Sigma Ecofleet 530 (l)	Importe (incl. IVA) (€)
I	300	7	42,86	2	90,23	4.258,650
II	240	7	34,29	2	72,18	3.406,920
III	378,4	7	54,06	2	113,80	5.371,570
IV	430	7	61,43	2	129,32	6.104,060
V	412,8	7	58,97	2	124,15	5.859,900
VI	261	7	37,29	2	78,50	3.705,020
VII	516	7	73,71	2	155,19	7.324,870
VIII	378,4	7	54,06	2	113,80	5.371,570
IX	344	7	49,14	2	103,46	4.883,25
TOTALES	3260,6		465,80		980,63	38.244,63

Tabla 8. Material necesario para pintado antifouling de arquetas de filtrado de las estaciones de bombeo de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir.

El coste de mano de obra para la aplicación de las pinturas y de preparación de las estructuras para el posterior pintado es de 3.000 € por estación de bombeo. La Comunidad de Regantes ya dispone de todas sus arquetas de filtrado con este tratamiento, ya que desde el año 2016 se ha venido realizando esta operación paulatinamente aplicando este tratamiento en

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

dos estaciones de bombeo anualmente. Esto ha permitido que hoy en día se pueda hacer el mantenimiento de conservación de estas infraestructuras a un costo más reducido.

Otra estrategia fundamental para esta Corporación es la generación de sobrevelocidades en la red de riego. Estas operaciones se llevan a cabo antes de comenzar la campaña, durante la campaña en ramales con problemas de presión y caudal debido a la colonización de las especies invasoras y después de la campaña tras el tratamiento con peroxiacéticos. Para esta operación se recurre al personal propio de la Comunidad de Regantes, componiéndolo para cada sector de riego un técnico de explotación y de dos a cuatros trabajadores de campo. El coste de esta operación por cada sector completo asciende a 1096 €.

El tratamiento químico más efectivo que se lleva a cabo en la zona regable del Valle Inferior del Guadalquivir consiste en la aplicación de productos peroxiacéticos, en concreto el OX-VIRIN del Grupo OX. El importe que abona la Comunidad de Regantes para la adquisición del material y la mano de obra especializada asciende a 27.134,88 €. A esto se le debe sumar el despliegue de personal propio para el apoyo en campo de esta tarea, lo que supone para realizarla en todos los sectores de riego la disponibilidad de todos los trabajadores de la comunidad (10 trabajadores de campo, 1 técnico de instalaciones eléctricas y 1 técnico de explotación). El coste de mano de obra propia asciende a 8.484 €.

En resumen, la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir asume un gasto total de 49.925,74 € para el control y erradicación de las especies invasoras en el ejercicio de 2023. Estos gastos se desglosan a continuación:

- Mantenimiento de arquetas con pintura antifouling: 4.442,86 €
- Generación de sobrevelocidades para limpiezas de la red: 9.864 €
- Tratamiento con peroxiacéticos: 35.618,88 €.

5.2. Evaluación de los tratamientos

En este apartado abordaremos la evolución del histórico de costes que suponen año tras año el control de las especies invasoras y las formas de adaptación que realiza la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir.

Para este caso, he recurrido a las últimas diez liquidaciones del presupuesto de la Comunidad de Regantes y los datos se pueden observar en la siguiente tabla y gráfico adjunto.

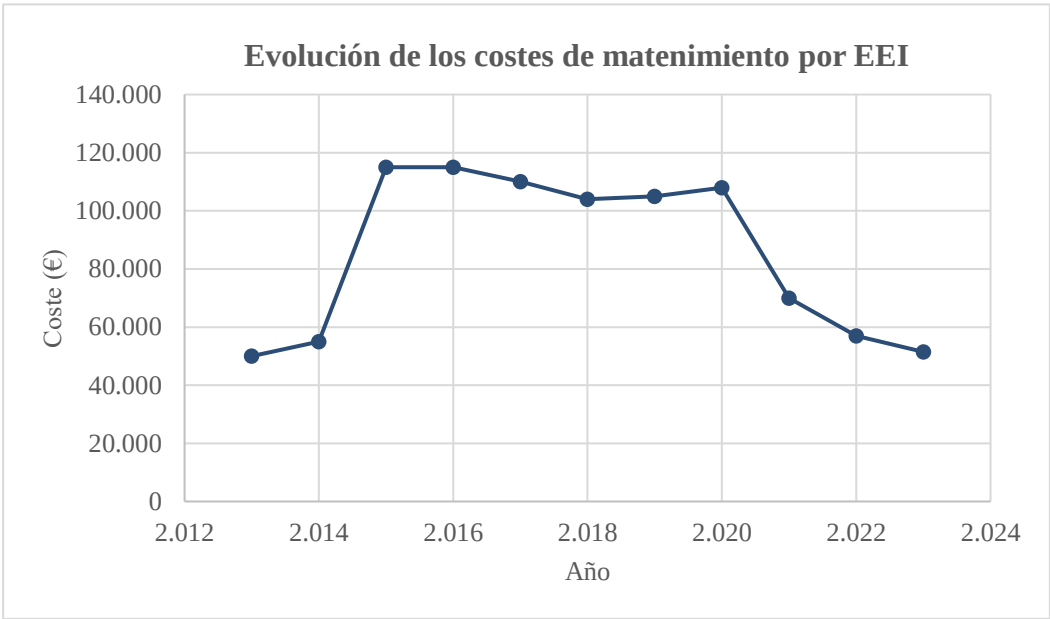
Años	Tratamientos de agua (€)	Mantenimiento de hidrantes (€)	Construcción y adaptación de desagües (€)	Total (€)
2.013	20.000	30.000	0	50.000
2.014	20.000	35.000	0	55.000
2.015	60.000	35.000	20.000	115.000
2.016	60.000	35.000	20.000	115.000
2.017	60.000	30.000	20.000	110.000
2.018	60.000	30.000	14.000	104.000

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

2.019	60.000	30.000	15.000	105.000
2.020	65.000	35.000	8.000	108.000
2.021	30.000	30.000	10.000	70.000
2.022	30.000	25.000	2.000	57.000
2.023	30.000	20.000	1.500	51.500

Tabla 9. Evolución de los costes de mantenimiento y de adaptación de la red como consecuencia de las especies invasoras.

Como consecuencia de la propagación de las especies invasoras en las infraestructuras de riego de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir, se llevan a cabo varias actuaciones que afectan directamente al presupuesto de esta Corporación tales como tratamientos de agua, mantenimiento de hidrantes y adaptación de la red, mediante la construcción de nuevos desagües para la purga de las tuberías tras las operaciones de sobrevelocidades.



Gráfica 4. Evolución de los costes de mantenimiento y de adaptación de la red como consecuencia de las especies invasoras.

Antes de comenzar a evaluar los tratamientos en base a los costes mostrados anteriormente, aprovecho para resumir la evolución de las especies invasoras en la Comunidad de Regantes y de sus pertinentes estrategias de control que hemos abordado a lo largo de este trabajo:

- 2010. Aparición de la almeja asiática en las infraestructuras de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir
- 2012. Aparición de los briozoos en las infraestructuras de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- 2014. Adaptación de los filtros cazapiedras
- 2014-Actualidad. Generación de sobrevelocidades en la red de riego
- 2014. Tratamiento con tecnología de ultrasonidos
- 2015, 2016 y 2019. Vaciado y secado de las balsas e infraestructuras de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir
- 2016. Aparición del mejillón cebra en las infraestructuras de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir
- 2016-2020. Aplicación de pintura antifouling
- 2016. Tratamiento químico con ácido sulfuroso para el control de los briozoos
- 2017-Actualidad. Tratamiento químico con productos peroxiacéticos para el control de las especies invasoras.

La concentración mayor de costes derivados de las especies tiene lugar entre los años 2015 al 2020, debido a que el mayor número de tratamientos se realizan en este periodo. Otro aspecto importante para destacar es que la adaptación de la red de riego se realiza en su mayor medida entre los años 2015 al 2017, donde se construyen más desagües debido a la necesidad de purga de las tuberías. El coste mantenimiento de hidrantes, debido principalmente a la limpieza de los filtros cazapiedras por obstrucciones causadas por las especies invasoras, se ve mermado en los últimos dos años (2022 y 2023) debido a la eficacia de los tratamientos y de la experiencia de la Comunidad de Regantes.

A continuación, concretaremos qué tratamientos han generado un ahorro en los costes de mantenimiento y adaptación de la red como consecuencia de las especies invasoras debido a su efectividad.

- Adaptación de los filtros cazapiedras. No tiene una repercusión de ahorro económico ya que solo se realizó en hidrantes específicos y el coste es considerable con respecto al cazapiedras original como hemos comentado en el anterior apartado.
- Generación de sobrevelocidades en la red de riego. La sobrevelocidades es un método a largo plazo y se confirma su efectividad ya que los costes de mantenimiento se ven reducidos considerablemente tras los 6 años desde sus inicios.
- Tratamiento con tecnología de ultrasonidos. Este método no genera un ahorro económico ya que solo se realizó en el sector IX y además los resultados obtenidos no

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

justificaban al completo su continuación de uso generalizado en las infraestructuras de la Comunidad de Regantes.

- Desecación. Esta operación está limitada por la demanda hídrica del momento y la escasez del recurso hídrico. Tras analizar los datos económicos, la desecación no genera un gran sobre coste y si podemos afirmar que permite un ahorro en los costes de mantenimientos que se presenta a partir del año 2020.
- Aplicación de pintura antifouling. El uso de esta pintura continuamente desde el año 2016 hasta el 2020 ha permitido que no sea necesario la limpieza de las zonas donde se ha aplicado y por lo tanto supone un ahorro en costes de mantenimiento.
- Tratamiento químico con ácido sulfuroso. Tras el tratamiento con ácido sulfuroso en un ramal de riego del sector II, se pudo comprobar que el alto coste de realización y la reducción de eficacia en grandes redes de riego no supone una disminución de costes de mantenimiento de infraestructuras.
- Tratamiento químico con productos peroxiacéticos. Este tratamiento genera un impacto positivo en el estado de la red de riego a largo plazo y permite aplicar tratamientos de choques como se realizaban en los inicios. Actualmente, es el único tratamiento químico que se lleva a cabo en la Comunidad de Regantes y es debido al ahorro en los costes de tratamientos de agua y a la eficacia en la red de riego en general.

En definitiva, los tratamientos más eficaces y que mayor ahorro económico generan para la Comunidad de Regantes es la combinación de generación de sobrevelocidades en la red de riego, desecación, aplicación de pintura antifouling y tratamiento químico con productos peroxiacéticos.

6- Conclusiones

Tras la realización del presente Estudio de Ingeniería sobre la evaluación de los tratamientos para el control de las especies invasoras en las instalaciones de riego de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir, podemos establecer las siguientes conclusiones:

- Los ríos son más vulnerables a las invasiones de especies invasoras, debido a que es el lugar hacia donde se dirigen los flujos naturales de agua, materia y energía dentro de una cuenca; actuando como medios de dispersión de estas especies una vez instaurados en ellos.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- La prevención para evitar la llegada de otras especies invasoras presentes en otras zonas cercanas es aún más importante que la lucha y gestión de las ya instauradas en la cuenca.
- La participación pública, la sensibilización de la sociedad, las actividades de carácter voluntario son herramientas fundamentales en la lucha contra las especies invasoras.
- Las Administraciones deben aunar fuerzas de cara al control, la contención y la erradicación de las especies invasoras, promoviendo las especies autóctonas e integrando procedimientos de buenas prácticas y de colaboración entre administraciones en su funcionamiento, gestión de recursos naturales, inversiones y procedimientos administrativos que abarquen más contexto que el cumplimiento del Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, que regula el Catálogo Oficial Español de Especies Exóticas Invasoras.
- La lucha contra las especies invasoras debe contar con financiación a largo plazo ya que se trata de un camino arduo y largo.
- Se debe reflexionar sobre la interpretación de la presencia de EEI en la valoración del estado ecológico de las masas de agua, de acuerdo con la Directiva Marco del Agua. Es interesante valorar el enfoque de dirigir los esfuerzos a la investigación, la prevención y a aumentar la resiliencia de los ecosistemas.
- La lucha contra las especies invasoras no debe ser selectiva en base si los principales daños son del ámbito ecológico o económico, ya que ambos tienen mucha importancia.
- El coste de prevención de las especies invasoras es mucho menor que el de la gestión en estos momentos.
- Es fundamental conocer la ecología y biología de las especies invasoras para desarrollar herramientas adecuadas de lucha contra ellas.
- Las políticas legislativas deben ser más estrictas para prevenir la llegada de nuevas especies invasoras.
- Las especies piscícolas son especialmente vulnerables a las especies invasoras, ya que las cuencas hidrográficas tienen un carácter de ecosistema evolutivo que les hace más sensibles a las alteraciones. Para el control de esas especies invasoras es fundamental trabajar en las entradas de estas.
- El papel de los ciudadanos es innegable en todos los casos de expansión de las especies invasoras. La lucha contra estas es muy relevante ya que altera nuestra

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

economía, nuestro entorno y nuestro modo de vida. El ser humano tiene la responsabilidad y la capacidad de gestionar mejor sus actividades para que no tengan impactos negativos en los ecosistemas que nos rodean.

- La erradicación total de las especies invasoras es prácticamente imposible, por lo que debemos acostumbrarnos a convivir con ellas y tener muy presentes que no debemos bajar la guardia ya que estos organismos nunca descansan.
- La Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir tras la realización de diferentes pruebas y ensayos, ha conseguido conocer más en profundidad el comportamiento de estas especies invasoras para realizar el control más efectivo posible.
- Los ciclos reproductivos de las especies invasoras dificultan realizar los ensayos en las instalaciones de riego durante el periodo estival, debido a la propia gestión de la Comunidad de Regantes.
- En la Zona Regable, los briozoos es la especie más resistente, seguida por el mejillón cebrado y, por último, la almeja asiática.
- La capacidad de las almejas y mejillones de cerrar sus valvas en presencia de productos químicos tóxicos hace que muchos tratamientos no sean eficaces. Por este motivo, es necesario que los productos permanezcan un periodo de tiempo considerable dentro de las tuberías para que sean viables.
- El tratamiento químico más efectivo para la comunidad de regantes es la aplicación de productos peroxiacéticos, seguidos de generación de sobrevelocidades para la purga de las tuberías.
- La combinación del tratamiento físico de desecación con la aplicación de pintura antifouling en arquetas de hormigón y estructuras metálicas permite la protección de forma económica y eficiente frente al mejillón cebrado y los briozoos.

Para finalizar este trabajo, es necesario especificar algunas recomendaciones que me ha permitido obtener la realización de este estudio y la experiencia como Técnico en las Comunidades de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir.

- En los diseños de los proyectos de nuevas Comunidades de Regantes o de modernización de las ya existentes, es necesario incluir desagües de purga en las redes de tuberías de distribución.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

- Longitud de los ramales de riego inferior a 500 metros con el objetivo de seccionar la red, para la limpieza en casos puntuales de necesidad por pérdida de sección debido a la colonización por organismos orgánicos.
- Proyectar testigos de desarrollo y crecimiento para las especies invasoras tales como sogas de rescate para el mejillón cebrá y placas de PVC para los briozoos. Además, es necesario habilitar puntos de inspección en el interior de la red de tuberías para el control remoto de la evolución de estas especies invasoras.
- Para que la desecación sea lo más eficaz posible se debe dotar de desagües de fondo en balsas.
- Proyectar la construcción de paredes lisas en arquetas en contacto directo con el agua, y si es posible protegerlas con pintura antifouling.
- Informar a los organismos competentes de la presencia en cuanto se detecte alguna especie invasora o inusual de la zona. Seguidamente hacer un estudio continuo y actuar lo más rápido posible.
- Los propios regantes deberán tener en cuenta los análisis de agua de riego y la presencia de briozoos a la hora de elegir su sistema de filtrado particular. Estos organismos son los que más daño causan en las instalaciones de riego por goteo ya que en ocasiones pueden traspasar el filtro cazapiedras, llegando al sistema de filtrado particular e impidiendo el riego por el exceso de limpiezas. Tras la experiencia en campo, los filtros de anillas con limpieza automática poseen los mayores rendimientos de filtrado con la presencia de briozoos.
- Para la prevención y control de los briozoos en las redes de riego por goteo se recomienda utilizar hipoclorito de sodio, a la dosis de 15-20 cm³/m³ de agua. Se aplica al final de riego, en los últimos 10 minutos y de tal forma que el agua quede retenida en el interior de la instalación entre dos riegos. También se han obtenido idóneos resultados con tratamiento frecuentes, cada 10-15 días, a dosis de 100-200 cm³ de hipoclorito sódico por metro cúbico de agua, manteniendo la solución clorada en la instalación durante media hora, lavando posteriormente.
- Si se requiere realizar un control curativo es necesario que la aplicación de hipoclorito de sodio deba incrementarse a 2-3 litros/m³ agua de riego, manteniendo la solución durante 12 horas en la instalación y posteriormente realizar el lavado.
- Los residuos de los briozoos deben ser almacenados en condiciones adecuadas para impedir su propagación ya que se tratan de organismos vivos. El regante deberá solicitar su retirada a un gestor autorizado para el transporte y destrucción de estos residuos.

7- Bibliografía

Álvarez, R. y Javierre, A. (27-28 de enero de 2015). Especies exóticas invasoras en el ámbito ripario. Jornadas Científicas. Murcia. <https://www.chsegura.es/es/cuenca/restauracion-de-rios/segura-ripisilva/jornadas-eei/>

Andreu, J., Pino, J., Basnou, C., Guardiola, M. y Ordóñez, J.L. (2012). Les espècies exòtiques de Catalunya: Resum del projecte EXOCAT 2012. Elaborat per CREA i Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/EXOCAT2012.pdf>

Blanch, B. y Soto, S. (2013). Gestió de les espècies exòtiques invasores a Catalunya: Paper dels centres de recuperació de fauna salvatge. Deontologia veterinària. UAB. <https://core.ac.uk/download/pdf/19576615.pdf>

Camacho, A., Abellán, J., Palacios, J., López, M. y Heredia, B. (2007). Estrategia nacional para el control del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaria General Técnica. Centro de Publicaciones. <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/publicaciones/pbl-fauna-flora-estrategias-eei-mejillon-cebra.html>

Camacho, E., Fernández, I., Flores, J., Rodríguez, J., y Van de Loo, M. (2023). Energía solar fotovoltaica y regadío. El caso de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir. Universidad de Córdoba. <https://serea23.com/wp-content/uploads/2023/06/6249.pdf>

Camacho, H. y Longobucco, I. (2008). Los invertebrados fósiles. Vázquez Mazzini editores. <https://www.fundacionazara.org.ar/img/libros/invertebrados-fosiles-I.pdf>

Castro, P., Valladares, F. y Alonso, A. (2004). La creciente amenaza de las invasiones biológicas. Ecosistemas, 13, 61-68. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/532>

Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir. (2010). 100 años Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir.

Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir. (2022). Los 10 últimos años de historia de la Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir.

Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir. <https://valleinferior.es/>

Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD). 2002. Naciones Unidas. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-la-biodiversidad/conservacion-de-la-biodiversidad-en-el-mundo/cb_mundo_convenio_diversidad_biologica.html

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Determinación experimental de técnicas para el control y Eliminación de las poblaciones de Almeja Asiática en la Cuenca del Guadiana. (2018). Lucha contra las especies invasoras en las cuencas de los ríos Tajo y Guadiana en la Península Ibérica” (INVASEP).

<https://www.chguadiana.es/cuenca-hidrografica/especies-exoticasinvasoras/actuaciones/actuaciones-contrala-almeja-asiatica/control-y-eliminacion-de-laalmeja-asiatica-en-la-cuenca-del-guadiana>

Dirección General de Medio Ambiente (DG ENV). 2014. Comisión Europea. <https://commission.europa.eu/about-european-commission/departments-and-executive-agencies/environment>

Gappa, J. y Sabattini, N. (2008). Bryozoa. En Vázquez Mazzini editores. Los invertebrados fósiles (pp. 221-242). <https://www.fundacionazara.org.ar/img/libros/invertebrados-fosiles-I.pdf>

GEIB (2006). TOP 20: Las 20 especies exóticas invasoras más dañinas presentes en España. GEIB Grupo Especialista en Especies Invasoras, Serie Técnica N.2. http://www.invasep.eu/TOP20_final_2.pdf

Gros V., de la Cruz, M., Cifuentes V., Álavarez R., Palero J., 2014. Distribución vertical del mejillón cebra en el embalse de Iznájar. Estrategias de control: gestión de niveles. Ambianta, 109. (pp. 104-112).

Hilton-Taylor, C y Brackett, D. (2000). 2000 IUCN red list of threatened species. IUCN <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/RL-2000-001.pdf>

Kettunen, M., Genovesi, P., Gollasch, S., Pagad, S., Starfinger, U., Brink, T. y Shine, P. (2008). Assessment of the impacts of IAS in Europe and the EU.

Kraemer & Galloway (1986). Características invasivas del bivalvo de agua dulce Corbicula fulmínea.

https://www.researchgate.net/publication/313642798_Invasive_characteristics_of_the_freshwater_bivalve_Corbicula_fulminea

Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. 14 de diciembre de 2007. BOE. No. 299.

Lopera, I. (6 de octubre de 2014). Los regantes andaluces declaran la guerra a la creciente invasión del mejillón cebra. ABC Córdoba. <https://sevilla.abc.es/andalucia/cordoba/20141006/sevp-regantes-andaluces-declaran-guerra-20141006.html>

Pérez, J. (13 de junio de 2013). Problemática y reconocimiento de las especies invasoras. Jornadas de Salud Pública: El riesgo de las Especies Exóticas Invasoras. Dirección General de Medio Ambiente. Junta de Extremadura. <http://www.invasep.eu/Problematica%20y%20reconocimiento%20de%20las%20especies%20invasoras.pdf>

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LAS ESPECIES INVASORAS EN LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL VALLE INFERIOR DEL GUADALQUIVIR

Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/08/02/630/con>

Sánchez, R., Martín, I., Fahd, K. (2016). Efectos del tratamiento ultrasónico sobre las microalgas y algunos parámetros relacionados con la calidad del agua en una balsa de riego. Tecnoagua, 18 (pp. 74-8).

Serrano, M. y Gros, V. (2015). Detección e identificación de briozoos de agua dulce en la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir y propuesta de buenas prácticas para su control.