



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADIANA

DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES ZONAS DE RIESGO PARA EL MEJILLÓN CEBRA EN LA CUENCA DEL GUADIANA Y RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA PREVENIR SU INTRODUCCIÓN Y SU CONTROL/ELIMINACIÓN



LIFE 10/NAT/ES/000582 Lucha contra las especies invasoras en las cuencas de los ríos Tago y Guadiana en la Península Ibérica (INVASEP). Acción A.3.



El presente estudio ha sido realizado por **GABINETE TÉCNICO AMBIENTAL S.L.U.** para la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

Director de los trabajos:

D. Nicolás Cifuentes y de la Cerra. Ingeniero de Montes. Jefe del Servicio de Aplicaciones Forestales y Agronómicas de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

Equipo autor:

Coordinador de los trabajos:

D. Alonso Salguero Rodríguez. Doctor Licenciado en Ciencias Ambientales e Ingeniero Técnico Forestal.

Técnicos redactores:

D. Francisco Blanco Garrido. Doctor Licenciado en Ciencias Ambientales.

Dña. Estíbaliz Correa Romero. Licenciada en Ciencias Ambientales.

Dña. María del Mar Lozano Núñez. Licenciada en Ciencias Ambientales.

Así mismo, se ha contado con la colaboración de la Confederación Hidrográfica del Guadiana a través de:

D. Ángel Nieva Pérez. Jefe del Servicio de Control del Estado de las Masas de Agua de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

D. José Antonio Torres Cedillo. Jefe Sección Técnica de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

Juan Manuel Pérez Pérez. Auxiliar Técnico de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

En Mérida, septiembre de 2015.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
0. INTRODUCCIÓN.....	1
0.1. ANTECEDENTES.....	1
0.2. PROYECTO LIFE INVASEP.....	5
0.3. PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO.....	6
BLOQUE 1.....	11
1. EL MEJILLÓN CEBRA.....	13
1.1. PRESENTACIÓN DE LA ESPECIE.....	13
1.1.1. TAXONOMÍA.....	13
1.1.2. IDENTIFICACIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA.....	13
1.1.3. ÁREA DE DISTRIBUCIÓN Y EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN.....	14
1.2. BIOLOGÍA DEL MEJILLÓN CEBRA.....	16
1.3. REQUERIMIENTOS AMBIENTALES Y HÁBITAT PREFERENTE.....	19
1.4. EL POTENCIAL INVASOR DEL MEJILLÓN CEBRA.....	22
1.4.1. CAPACIDAD DE DISPERSIÓN.....	22
1.4.2. VECTORES DE PROPAGACIÓN.....	24
1.5. IMPACTOS DEL MEJILLÓN CEBRA.....	27
1.5.1 IMPACTOS GENERADOS POR LAS INVASIONES DE MEJILLÓN CEBRA.....	27
1.5.2. COSTES ECONÓMICOS.....	29
BLOQUE 2.....	33
2. ESTUDIO DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA COLONIZACIÓN Y VULNERABILIDAD DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA ANTE EL MEJILLÓN CEBRA.....	35
2.1. INTRODUCCIÓN.....	35
2.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LAS METODOLOGÍAS DESARROLLADAS PARA EL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD ANTE LA INVASIÓN EL MEJILLÓN CEBRA.....	37
2.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE VULNERABILIDAD.....	39
2.4. ESTIMA DEL RIESGO DE INVASIÓN.....	40
2.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	40
2.4.2. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE INVASIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA EN LA CUENCA DEL GUADIANA.....	42
2.4.2.1. Ámbito de aplicación.....	42



2.4.2.2. Introducción a la metodología aplicada.....	46
2.4.2.3. Variables empleadas.	48
2.4.2.4. Variables de conexión con zonas ya infectadas por mejillón cebra en otras cuencas cercanas y del uso que se realiza en las masas de agua.....	50
2.4.2.5. Variables descriptoras de las características físico-químicas del agua.	52
2.4.2.6. Variables descriptoras de las propiedades hidromorfológicas de las masas de agua.	55
2.4.2.7. Descripción del proceso de estima del riesgo de invasión.....	58
2.4.3 RESULTADOS.	66
2.4.3.1. Estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en embalses.	66
2.4.3.2. Estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en lagunas.....	78
2.4.3.3. Consideraciones sobre el riesgo absoluto al que están sujetas las masas de agua analizadas frente a la posible invasión del mejillón cebra.	81
2.4.4. CONCLUSIONES.	84
2.5. ESTIMA DEL RIESGO DE PROPAGACIÓN.....	87
2.5.1. INTRODUCCIÓN.....	87
2.5.2. DEFINICIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO.....	87
2.5.3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA.....	88
2.5.4. RESULTADOS OBTENIDOS.	90
2.6. ESTUDIO DE LA DISPERSIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA.....	95
2.6.1. INTRODUCCIÓN.....	95
2.6.2. DEFINICIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO.....	96
2.6.3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA.....	97
2.6.4. RESULTADOS OBTENIDOS.	100
2.6.4.1. Primera hipótesis de estudio.....	101
2.6.4.2. Segunda hipótesis de estudio.....	102
BLOQUE 3.....	105
3. PREVENCIÓN Y CONTROL DEL MEJILLÓN CEBRA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUADIANA.....	107
3.1. INTRODUCCIÓN.....	107
3.2. LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA Y EL MEJILLÓN CEBRA.....	108
3.2.1. ACTUACIONES PARA LA PREVENCIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA.	108



3.2.1.1. Instalaciones para la limpieza y desinfección de embarcaciones.....	108
3.2.1.2. Desinfecciones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Guadiana.....	115
3.2.1.3. Acceso del usuario a las instalaciones.....	116
3.2.2. RED DE VIGILANCIA PREVENTIVA DE LARVAS DE MEJILLÓN CEBRA (DREISSENA POLYMORPHA).....	121
3.2.2.1. Metodología empleada para la toma de muestras.....	121
3.3. PROTOCOLOS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DEL MEJILLÓN CEBRA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUADIANA.....	129
3.3.1. INTRODUCCIÓN.....	129
3.3.2. PROTOCOLO DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE EMBARCACIONES.....	130
3.3.2.1. Embarcaciones a motor.....	131
3.3.2.2. Embarcaciones sin motor.....	133
3.3.2.3. Embarcaciones de vela.....	134
3.3.2.4. Tablas de windsurf y float tubes.....	134
3.3.2.5. Desinfección de equipos.....	134
3.3.2.6. Competiciones deportivas.....	135
3.3.3. PROTOCOLO DE DESINFECCIÓN PARA MATERIAL DE PESCA Y DE OTROS USOS RECREATIVOS.....	137
3.3.4. PROTOCOLO DE DESINFECCIÓN PARA PEQUEÑOS EQUIPOS DE TRABAJO EN MEDIOS ACUÁTICOS.....	138
3.3.5. PROTOCOLO DE LIMPIEZA PARA HIDROAVIONES Y OTROS MEDIOS PARA EXTINCIÓN DE INCENDIOS.....	139
3.3.6. PROTOCOLO DE LIMPIEZA PARA MAQUINARIA DE TRABAJO.....	141
3.3.7. PROTOCOLO DE DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS POBLACIONES DE MEJILLÓN CEBRA.....	142
3.3.7.1. Actuaciones de detección temprana.....	143
3.3.7.2. Seguimiento de poblaciones.....	144
3.3.7.3. Afección a especies amenazadas.....	147
BLOQUE 4.....	149
4. ACTUACIONES EN CASO DE DETECCIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA.....	151
4.1. MEDIOS PARA LA COORDINACIÓN DE ACTUACIONES.....	151
4.2. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN EN CASO DE DETECCIÓN TEMPRANA.....	153
4.3. PROPUESTAS DE ACTUACIÓN EN CASO DE MASAS DE AGUA AFECTADAS.....	159



4.4. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN EN CASO DE SISTEMAS CERRADOS.....	163
4.5. RECURSOS A DISPONER PARA GARANTIZAR UNA RÁPIDA RESPUESTA.....	165
4.6. MECANISMOS PARA LA ERRADICACIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA.....	167
4.6.1. INTRODUCCIÓN.....	167
4.6.2. MÉTODOS MECÁNICOS.....	169
4.6.2.1. Diseño del proyecto.....	169
4.6.2.2. Utilización de materiales antiadherentes.....	169
4.6.2.3. Recubrimientos.....	170
4.6.2.4. Flujos de alta velocidad.....	171
4.6.2.5. Presión.....	172
4.6.2.6. Limpieza mecánica.....	172
4.6.3. TRATAMIENTOS FÍSICOS.....	173
4.6.3.1. Sistemas de infiltración.....	173
4.6.3.2. Filtración mecánica.....	173
4.6.3.3. Tratamientos térmicos.....	177
4.6.3.4. Desección.....	178
4.6.3.5. Congelación, enfriamiento.....	181
4.6.3.6. Shock eléctrico.....	181
4.6.3.7. Protección catódica.....	182
4.6.3.8. Electromagnetismo de baja frecuencia.....	182
4.6.3.9. Pulsos acústicos.....	182
4.6.3.10. Ondas de radio.....	183
4.6.3.11. Exposición a luz ultravioleta.....	183
4.6.3.12. Cubrimiento.....	183
4.6.4. TRATAMIENTOS QUÍMICOS.....	184
4.6.4.1. Tratamientos Químicos oxidantes.....	184
4.6.4.2. Tratamientos químicos no oxidantes.....	186
4.6.5. TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS.....	186
4.6.5.1. Control por toxinas de origen microbiano.....	186
4.6.5.2. Control por medio de depredadores del mejillón cebra.....	187
4.6.5.3. Control por medio de parásitos.....	187



4.6.5.4. Control por medio de competidores bentónicos	188
4.6.6. TRATAMIENTOS DE GESTIÓN HIDRÁULICA.	188
4.6.7. LAS BIOBULLETS O BIOBALAS.....	189
4.6.7.1. Mecanismo de acción.....	189
4.6.7.2. Efectividad de la técnica.	191
4.6.7.3. Formulación del producto.	195
4.6.7.4. Administración de las biobalas.	195
4.6.7.5. Seguimiento	195
4.6.8. VIABILIDAD DE LOS MÉTODOS DE CONTROL/ERRADICACIÓN.....	196
BLOQUE 5.....	205
5.1. ANEJO CARTOGRÁFICO.....	207
5.2. DÍPTICO INFORMATIVO.....	214
BLOQUE 6.....	217
6. REFERENCIAS.....	219
6.1. INDICE DE ILUSTRACIONES	219
6.2. INDICE DE TABLAS.....	221
6.3. BIBLIOGRAFÍA.....	223





INTRODUCCIÓN



“Determinación de las principales zonas de riesgo para el mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y recomendaciones prácticas para prevenir su introducción y su control/eliminación”.



0. INTRODUCCIÓN.

0.1. ANTECEDENTES.

Desde que en el año 2001 se detectó la presencia del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en el bajo Ebro (Cataluña), esta especie ha proliferado y se ha extendido hacia otras cuencas, llegando a convertirse en una de las introducciones de especies exóticas más peligrosas en España. Transcurridos catorce años desde su aparición, en los que se ha confirmado la presencia en las cuencas del Ebro, Júcar, Segura y Guadalquivir, queda demostrado el importante daño económico y ambiental que el mejillón cebra supone en la actualidad.

Con independencia de las posibles soluciones de control, contención o erradicación que se desarrollen sobre esta especie, es obvio que la prevención supondrá al menos, el retraso en la aparición en la cuenca del Guadiana, y por tanto este hecho supondrá ya por si solo un ahorro económico y un retraso en la aparición de los problemas ambientales y sociales asociados. Así mismo, la detección precoz de la especie es fundamental para gestionar la posible invasión, especialmente para evitar su propagación y aislar los focos, ya que por el momento no se conocen métodos efectivos de control o erradicación.

En este sentido, el conocimiento de la especie y de las experiencias desarrolladas en otras cuencas afectadas, unido a una buena planificación, son fundamentales para poder reaccionar con celeridad ante el inicio de esta bioinvasión, aun siendo conscientes del riesgo existente, evitable o no, de que el mejillón cebra aparezca en un futuro en la cuenca del Guadiana. Este es por tanto el objeto principal del presente estudio.

Con fecha 3 de agosto de 2013, el Boletín Oficial del Estado publica **el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras**. Este real decreto desarrolla las disposiciones sobre especies exóticas de la **Ley 42/2007, de 13 de**



diciembre, establece la estructura, el funcionamiento y el contenido del **Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras**, y especifica los procedimientos administrativos para la inclusión o exclusión de especies exóticas invasoras, los contenidos y procedimientos de elaboración y aprobación de las estrategias, así como aquellas medidas necesarias para prevenir la introducción y evitar la propagación de las mismas.

Conceptualmente, se entiende como **especie invasora** una especie exótica que se establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural que no es el suyo original. Es un agente externo que afecta al ecosistema, que induce cambios y amenaza a la biodiversidad biológica nativa (UICN, 2000).

Una especie no puede ser considerada como invasora hasta que no lleva un tiempo instalada en un ecosistema y se adapta a él, y a partir de ahí empieza a inducir cambios y a amenazar la diversidad biológica nativa. Muchas especies, alcanzan nuevos nichos ecológicos pero no persisten en ellos lo suficiente como para considerarlas colonizadoras de ese lugar en concreto. Este hecho puede deberse a la presencia de algún depredador o simplemente a que no se dan las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de ese ser vivo a lo largo de todo el año. Así son muchas las invasiones que periódicamente se producen en un determinado ecosistema, pero sólo algunas de ellas pueden llegar a tener éxito considerándose una auténtica invasión.

La introducción de especies animales o vegetales exóticas con comportamiento invasor está considerada por la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) como la segunda causa de extinción de especies después de la destrucción directa de hábitats. El impacto que este fenómeno genera sobre la biodiversidad se traduce tanto en efectos sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas como en impactos directos sobre poblaciones nativas, a través de fenómenos de competición, depredación, contaminación genética e introducción de patógenos, que provocan procesos como la merma de poblaciones y del crecimiento de los



individuos, reducción del éxito reproductor, cambios en el uso del hábitat o en los patrones de actividad.

Este efecto negativo se ha multiplicado peligrosamente en los últimos años en paralelo a los procesos de globalización, debido al incremento del comercio internacional y el transporte, así como a causa de los viajes turísticos intercontinentales, que constituyen los principales canales de introducción de estas especies. Asimismo, la alteración continuada de los ecosistemas y el aumento de su fragilidad, disminuyen la capacidad de resistencia de los mismos frente a la entrada de potenciales especies invasoras originarias de ecosistemas foráneos. En la actualidad, esta problemática produce además enormes daños económicos en sectores tan relevantes como la agricultura, la pesca, el sector forestal o la sanidad.

Así, en los últimos años, se ha podido observar como la aparición de especies invasoras ha llegado a poner en serio peligro muchos de nuestros ecosistemas. Se han producido auténticas bioinvasiones como nunca se habían observado anteriormente, poniendo en jaque a las diferentes administraciones incapaces de reaccionar frente a un problema que exige rapidez en su control. En muchas ocasiones el problema llega a ser irreversible y en otras se requiere de grandes esfuerzos económicos para su control.

La alarma social que produce la aparición de determinadas especies de carácter invasor, junto con los graves problemas ambientales y económicos que provocan, hacen necesario profundizar en el conocimiento de estas especies, de los sistemas de entrada en los ecosistemas que pueden invadir y el establecimiento de estrategias y planes de gestión que establezcan protocolos de actuación para prevenir y controlar estas invasiones.

Actualmente, las dos especies exóticas invasoras de los ecosistemas acuáticos continentales peninsulares de mayor transcendencia ambiental, económica y mediática, han sido el **mejillón cebra** (*Dreissena polymorpha*) y el jacinto de agua o camalote (*Eichhornia crassipes*). Su perfil



biológico les otorga un potencial invasor extraordinario, gracias fundamentalmente a sus escasos requerimientos ecológicos y su gran capacidad reproductiva.

La del mejillón cebra es, posiblemente, la más espectacular de todas las invasiones, al menos en términos de capacidad de colonización y de repercusiones ecológicas y sociales directas e inmediatas. Está confirmada su presencia en las cuencas del Ebro, Júcar, Segura y Guadalquivir, siendo prácticamente inabordable el control de la especie en la Cuenca del Ebro.

En la Cuenca del Guadiana no se ha detectado la presencia del mejillón cebra, si bien desde que fue aprobada la *“Estrategia Nacional para el Control del mejillón cebra”*, el 6 de septiembre de 2007, por la Confederación Sectorial de Medio Ambiente, para coordinar las actuaciones a llevar a cabo por las distintas administraciones públicas, la Confederación Hidrográfica del Guadiana ha emprendido diversas actuaciones frente a la amenaza de esta plaga, tales como la realización de análisis y controles sistemáticos en muestras de agua tomadas de diferentes embalses de la cuenca, la implantación de la obligatoriedad de proceder a la desinfección de todo tipo de embarcaciones que usen las masas de agua de la cuenca del Guadiana, la creación de protocolos de autorización a terceros de las labores de desinfección de embarcaciones, la adquisición de distintos equipos móviles para la desinfección de embarcaciones y equipos de pesca y navegación, la instalación de estaciones fijas de limpieza en los embalses de Orellana y García de Sola para facilitar las labores de desinfección a cualquier usuario, el desarrollo de tareas divulgativas para darle la mayor difusión posible a este problema, etc. Por todo ello, la lucha contra las especies invasoras debe partir de una visión estratégica del problema, no limitándose a actuaciones de erradicación, sino buscando, dentro de la gestión integral del ecosistema y sus recursos, las causas de la invasión y las posibilidades e impactos de su gestión.



0.2. PROYECTO LIFE INVASEP.

La Confederación Hidrográfica del Guadiana actúa como una de las siete entidades colaboradoras del proyecto **LIFE 10/NAT/ES/000582** titulado ***“Lucha contra las especies invasoras en las cuencas de los ríos Tajo y Guadiana en la Península Ibérica” (INVASEP)***, siendo la Dirección General del Medio Natural de la Junta de Extremadura quien coordina las actuaciones.

Se trata del primer proyecto transfronterizo centrado en la lucha contra las especies exóticas invasoras, a través del cual se pretende combatir estas especies en las cuencas de los ríos Tajo y Guadiana.

El Programa LIFE+ es un instrumento financiero de la Unión Europea dedicado, de forma exclusiva, al medio ambiente. Su objetivo general es contribuir a la aplicación, actualización y desarrollo de la política y la legislación comunitaria en materia de medio ambiente, incluida la integración del medio ambiente en otras políticas, con lo cual contribuirá al desarrollo sostenible. En particular, LIFE+ financia medidas y proyectos con valor añadido europeo en los Estados miembros. A través del programa LIFE+BIODIVERSITY, la Unión Europea apoyará el proyecto INVASEP, una iniciativa liderada por la Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía de la Junta de Extremadura y en la que también participan Portugal y el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente antiguo Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, siendo su principal objetivo “detener” la pérdida de biodiversidad causada por especies exóticas invasoras en la Península Ibérica.

En este proyecto se persiguen alcanzar una serie de objetivos como el hecho de sentar las bases de cooperación entre España y Portugal en esta materia, desarrollando una estrategia Ibérica, así como desarrollar una legislación específica e identificar la presencia actual de especies exóticas invasoras en las cuencas hispanolusas de Tajo y Guadiana. En esta línea, también se pretende conseguir la evaluación de futuras ‘invasiones’, probar métodos piloto contra determinadas



especies como el mejillón cebra, la almeja asiática, el visón americano o la tortuga de Florida, entre otros; recuperar especies en peligro de extinción e incluso alguna ya extinguida y aumentar la sensibilización sobre este problema.

Para alcanzar estos objetivos, se ha diseñado una amplia gama de actuaciones concretas. Una de las actuaciones que la Confederación Hidrográfica del Guadiana lleva a cabo dentro del proyecto LIFE INVASEP, es la Acción A.3., denominada “Determinación de áreas de riesgo para el mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en las cuencas del Guadiana y Tajo y medidas de prevención”. Dentro de la citada acción, el ámbito de este estudio abarca concretamente la **“Determinación de las principales zonas de riesgo para el mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y sus recomendaciones prácticas para prevenir su introducción y su control/eliminación”**.

0.3. PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO.

En concordancia con los resultados esperados en el proyecto LIFE INVASEP, los trabajos que en este documento se presentan están encaminados a obtener los objetivos que se relacionan a continuación:

- La obtención de un mapa de riesgo de introducción del mejillón cebra en la cuenca del río Guadiana.
- Determinar las zonas de mayor riesgo o “puntos negros”, en las que las medidas preventivas deberán ser mucho mayores y estar enfocadas a las principales actividades de riesgo.
- El desarrollo de medidas y protocolos de prevención y control en caso de entrada para responder rápida y contundentemente.

El presente documento se ha estructurado en los siguientes bloques:



Bloque 1. El mejillón cebra.

En este bloque se lleva a cabo la descripción de las características de la especie, ofreciendo información de base para la comprensión de la susceptibilidad a la colonización y como consecuencia, a la localización de las zonas de riesgo, que se representará en los mapas de riesgo.

Bloque 2. Estudio de la susceptibilidad a la colonización y vulnerabilidad de la cuenca hidrográfica del Guadiana del mejillón cebra.

Los resultados del estudio realizado en este bloque se han utilizado, junto a la aplicación de herramientas de análisis espacial, para elaborar mapas de riesgo de entrada del mejillón cebra en diferentes masas de agua de la cuenca del Guadiana donde, tanto por motivos intrínsecos (características naturales) como por factores extrínsecos (actividades humanas desarrolladas), se han estimado diferentes niveles de riesgo de entrada, propagación y dispersión de esta especie.

Con este bloque se persigue, por tanto, ofrecer una herramienta que sirva para anticiparse a un posible evento de colonización del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y planificar posibles medidas de control de su expansión. De esta forma, cabe la posibilidad de detectar las zonas más sensibles de la red hidrográfica y dirigir hacia ellas la máxima atención y esfuerzos para evitar su contaminación o, dado el caso, la erradicación precoz de la eventual introducción del mejillón cebra. Asimismo, con ello, se pretende optimizar los escasos recursos económicos disponibles, como pueden ser los necesarios para realizar las labores de toma de muestras de agua y su análisis en laboratorio para localizar posibles larvas de mejillón cebra.



Bloque 3. Prevención y control del mejillón cebra en la cuenca hidrográfica del río Guadiana.

La importancia de la prevención de la entrada del mejillón cebra radica en el hecho de que una vez que esta especie se introduce con éxito, y teniendo en cuenta los antecedentes, se puede hablar ya de un grave riesgo ambiental. Además, su velocidad de propagación es enorme ya que basta con que algunos individuos se queden fijados en los cascos de las embarcaciones para que se propaguen rápidamente.

En este caso, dadas las características de la especie, la prevención es más efectiva que cualquier medida de control o erradicación de la misma. Ésta, a su vez, será tanto más rentable en esfuerzo y resultados cuanto más rápida sea, para lo cual las redes de detección temprana y los planes de contingencia adquieren una especial relevancia. Si de algo se ha aprendido en cuanto a la lucha contra especies invasoras, es que cuanto más tardía sea la toma de decisiones, más costosa y difícil es la labor de control. Por ello, es fundamental conocer y preparar una estrategia de actuación previa a la entrada del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana.

En este bloque se describen diversos protocolos de prevención y control con el objetivo de establecer los mecanismos adecuados para prevenir la introducción del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana. No obstante, cabe destacar que **estos protocolos son simplemente orientativos** y que en el caso de que se quisieran oficializar, deberían ser sometidos al estudio y análisis de distintas unidades y servicios de la propia Confederación Hidrográfica del Guadiana así como de otras Administraciones con competencia o intereses en esta problemática.

Bloque 4. Actuaciones en caso de detección del mejillón cebra.

Se incluyen en este bloque protocolos de actuación para que en el caso de detección del mejillón cebra dentro de la cuenca del Guadiana se pueda actuar de forma rápida y eficaz. Estos **protocolos** son, al igual que en el caso anterior **orientativos**, están diseñados desde el punto de



vista de la gestión del Organismo de Cuenca, y requerirán de la máxima difusión dentro de la propia Confederación Hidrográfica.

Finalmente, se incluye una exposición de los diferentes mecanismos existentes para la eliminación del mejillón cebra, acompañada de un análisis de la viabilidad de su aplicación en la zona de estudio.

Bloque 5. Anejos

En bloque contiene un anejo cartográfico donde se reflejan de forma gráfica los resultados obtenidos en el estudio sobre el riesgo de entrada y propagación del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana.

Así mismo, se incluye un díptico diseñado para la realización de actividades de divulgación acerca de las actuaciones desarrolladas por la Confederación Hidrográfica del Guadiana para la prevención, control y erradicación del mejillón cebra.

Bloque 6. Referencias.

Finalmente, en este bloque se aporta, además de la relación de la bibliografía consultada para la realización del presente estudio, un índice de las ilustraciones y tablas que integran el documento.

Este documento de ***“Determinación de las principales zonas de riesgo para el mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y recomendaciones prácticas para prevenir su introducción y su control/eliminación”***, es un primer estudio que requerirá de su mejora por las aportaciones que se puedan ir produciendo en el futuro procedentes de su difusión y puesta en conocimiento entre



los profesionales del sector del agua en el Guadiana, los diferentes usuarios y las administraciones involucradas en la conservación y protección del río Guadiana.





BLOQUE 1

El mejillón cebra.



“Determinación de las principales zonas de riesgo para el mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y recomendaciones prácticas para prevenir su introducción y su control/eliminación”.



1. EL MEJILLÓN CEBRA.

1.1. PRESENTACIÓN DE LA ESPECIE.

1.1.1. TAXONOMÍA.

A continuación, se especifica la clasificación detallada concerniente a la especie según Mackie y Schloesser (1996):

- **Clase:** Bivalvia, Linnaeus, 1758;
- **Subclase:** Lamelibranquios, Neumayr, 1884;
- **Orden:** Veneroida, Adams, 1856;
- **Suborden:** Dreissenacea, Gray, 1840;
- **Superfamilia:** Dreissenoidea, Gray, 1840;
- **Familia:** Dreissenidae, Gray, 1840;
- **Género:** *Dreissena*, S.I van Beneden, 1835
- **Subgénero:** *Pontodreissena*, Logvinenko y Starobogatov, 1966;
- **Especie:** *Dreissena polymorpha*, Pallas, 1771.

1.1.2. IDENTIFICACIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA.

El mejillón cebra presenta una concha de 2 a 3 cm de longitud de forma triangular alargada y borde externo romo. Aunque puede parecer similar en aspecto a un pequeño mejillón marino, su concha presenta un patente dibujo de bandas blancas y oscuras en zigzag. Se sujeta al sustrato mediante un biso, formando colonias en forma de extensos y densos racimos o tapetes semejantes a las mejilloneras marinas.





Ilustración 1. Diferentes imágenes de *Dreissena polymorpha*.

1.1.3. ÁREA DE DISTRIBUCIÓN Y EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN.

Atendiendo a la información del Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, el área de distribución natural del mejillón cebra se corresponde con las cuencas de los mares Negro y Caspio.

En cuanto a su introducción en España, se ha constatado la presencia de esta especie en las comunidades autónomas de Andalucía, Aragón, Cataluña, Castilla y León, La Rioja, Navarra, País Vasco y Comunidad Valenciana.



Los primeros datos conocidos de esta especie en España son de septiembre de 2001, en el río Ebro. Posteriormente se localiza en las cuencas del Júcar, Segura y tramos más altos del Ebro, entre las provincias de Burgos y Álava, habiéndose detectado en la vertiente cantábrica en el Embalse de Undurraga de la cuenca del río Arratia (Vizcaya) en 2011. El paso se ha producido a través del trasvase de agua desde el Ebro al río Arratia.

En 2009 se detecta su presencia en el embalse granadino de los Bermejales, que está conectado con el pantano de Iznájar, entre las provincias de Córdoba y Granada.

En 2011 se encontró el mejillón en las cuencas internas catalanas, concretamente en el embalse de La Baells (Berguedà); Durante el muestreo de 2012 se detectó la presencia de larvas en el embalse Gaià, y se verificó la gran expansión del mejillón cebra en La Baells. Aunque no se han vuelto a encontrar larvas en Gaià, la colonización en la Baells ha quedado consolidada.

En 2014, técnicos de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía detectan varios ejemplares de mejillón cebra en el embalse Conde del Guadalhorce, y recientemente se ha confirmado su presencia en el embalse de Zahara-El Gastor.

Actualmente, el mejillón cebra 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 ambientales y económicas. Cabe destacar, que la invasión se produce de una cuenca a la vecina, razón por la cual todavía no ha aparecido en el Guadiana. Pero hay que dar por hecho que la entrada del mejillón cebra en el Guadiana es una cuestión de tiempo, independientemente de su mayor o menor capacidad de proliferación dentro de la cuenca.



1.2. BIOLOGÍA DEL MEJILLÓN CEBRA.

El mejillón cebra habita preferentemente en grandes lagos y ríos, pero también en embalses, depósitos para riego y refrigeración y prácticamente todo tipo de aguas dulces cuya salinidad no supere niveles entre el 5 y 7‰ (Vinogradov, Smirnova, Sokolov & Bruznitsky, 1993).

Es una especie dioica (de sexos separados) que libera esperma y óvulos al agua, donde posteriormente se produce la fecundación; no obstante, se ha sugerido la posibilidad de que existan ejemplares hermafroditas (Ludyanskiy *et al.*, 1993), y normalmente mantienen una proporción 1:1.

Producen millones de larvas planctónicas de gran capacidad de dispersión, lo que favorece una rápida expansión de la especie. Después del cigoto (óvulo fecundado), las siguientes fases son: larva trocófora (sin concha), velígera (con dos pequeñas valvas y un velo), también llamadas larvas D cuando están un poco más crecidas y formas umbonales (cuando han desarrollado el umbo o ápice de la concha), pedivelígera (cuando han desarrollado el músculo del pie) y finalmente, postlarvas y juveniles cuando ya son capaces de fijarse a un sustrato.

En la siguiente figura se representa el ciclo biológico del mejillón cebra:



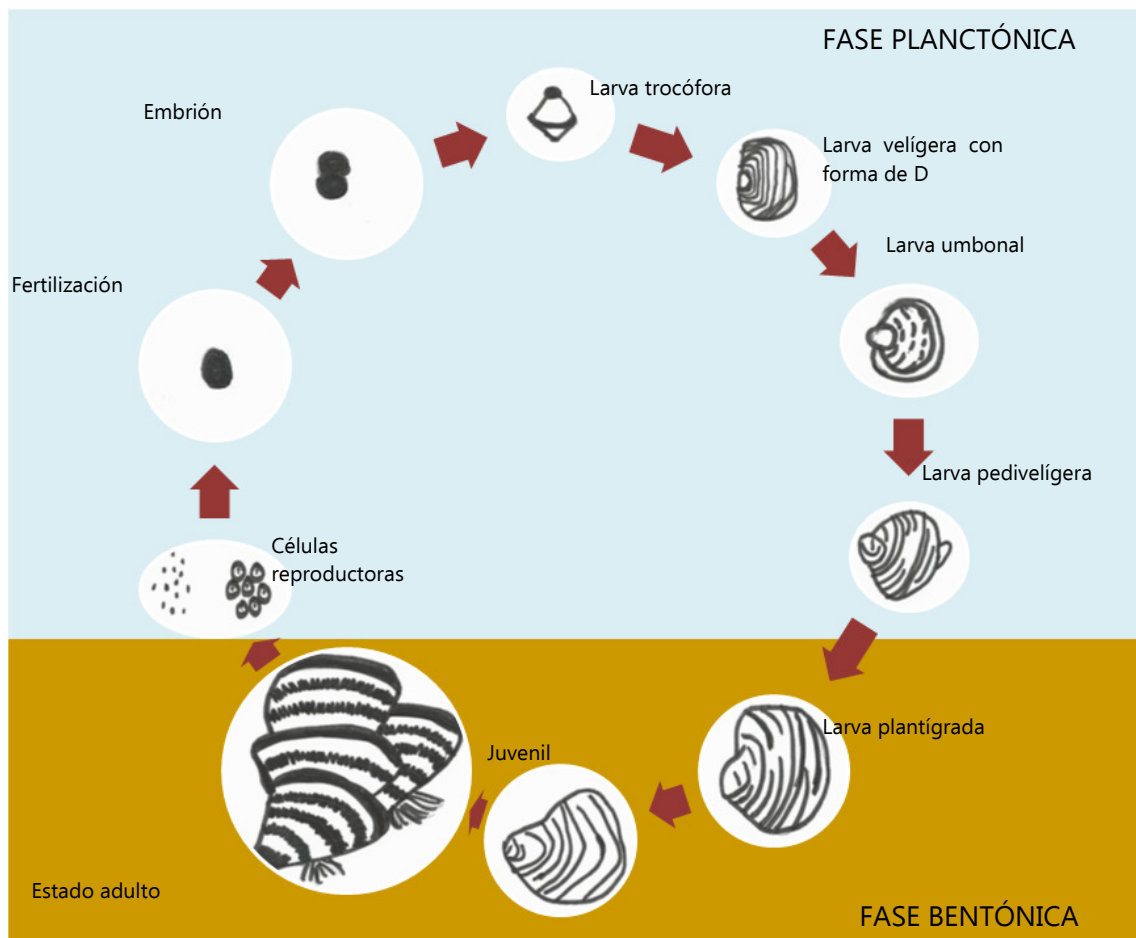


Ilustración 2. Ciclo completo de desarrollo del mejillón cebra (modificado de Claudi & Mackie, 1194; Ackerman et al., 1994; ZMIS, 2008).

Tal y como se muestra en la figura anterior, el ciclo biológico del mejillón cebra presenta dos fases, una planctónica (en la columna de agua) y la otra bentónica (sobre un sustrato).

Sin duda, se trata de la especie de molusco con mayor capacidad reproductiva de todas las conocidas. Una hembra puede liberar un millón de huevos al año durante sus dos o tres años de vida (Nalepa & Schloesser, 1993; Nichols, 1996), aunque dada la enorme mortandad que se produce (99%), no todos estos huevos se convierten en larvas y posteriores ejemplares adultos. Gran parte de esta mortalidad se produce a la hora de la fijación de las larvas, cuando éstas no encuentran un sustrato adecuado donde poder hacerlo.

Las larvas velígeras permanecen en la columna de agua y van creciendo en el agua durante un periodo de unos 15-28 días, según la temperatura del agua y otras condiciones del medio (Jenner *et al.*, 1998). Otros autores (Claudi y Mackie, 1994) hablan de tres a cinco semanas. Sólo las larvas que pueden permanecer en la columna de agua durante este tiempo van a poder fijarse y progresar, pudiendo colonizar varios kilómetros aguas abajo en unas pocas semanas.

Finalmente aparecen las larvas pedivelígera, que secretan el bisco, y siendo ya demasiado pesadas para mantenerse en la columna de agua, se hunden y se fijan con el bisco al sustrato que hayan alcanzado (Palau *et al.*, 2004).

La madurez sexual se alcanza para tamaños de valvas de 8-10 mm, antes de finalizar el primer año de vida, pero se han citado casos de madurez sexual en ejemplares con 3-5 mm de tamaño (O'Neill, 1996). Las hembras maduras pueden producir entre 4.000 y un 1 millón de óvulos fecundables por año (Miller *et al.*, 1992).

A lo largo del año aparecen dos o extraordinariamente tres periodos de máxima intensidad de reproducción. El primero es el más importante, durante el cual se libera la mayor parte de los gametos. Suele ser en mayo-junio-julio (variable según el régimen térmico), tal y como puede comprobarse con un análisis de agotamiento gonadal (Claudi y Mackie, 1994), y es debido al estado reproductor de los ejemplares fijados el año anterior.

Es importante destacar la dependencia que tiene el proceso reproductivo del régimen térmico del ecosistema acuático. Así, en lugares cálidos, la emisión de gametos puede prolongarse hasta cinco meses. También puede ocurrir que, en una masa de agua con zonas someras que pueden calentarse rápido en primavera pueda iniciarse en ellas la producción de larvas y pasar éstas al cuerpo principal de agua (Palau *et al.*, 2004).



Así mismo, la fertilización y los primeros estadios de desarrollo se ven limitados por concentraciones bajas de calcio ($< 8,0$ mg/l) y enlentecidos si la concentración de potasio es inferior a $0,4$ mg/l (Palau *et al.*, 2004).

1.3. REQUERIMIENTOS AMBIENTALES Y HÁBITAT PREFERENTE.

Los mejillones cebra suelen colonizar grandes lagos de agua dulce y ríos, (Strayer, 1991) pero también se fijan bien en estanques y balsas de riego.

El mejillón cebra coloniza preferentemente aguas ricas en calcio, con una concentración superior a los 15 mg/l.

La tasa de filtración de agua del mejillón cebra está entre los 10 y 100 ml por individuo y hora (Hinz & Schiel, 1972; Stanczykovska, Lodzimier, Mattice & Lewandowski, 1976), intermedia entre la de las náyades (60-490 ml/indiv/hora) y la de los esféridos (0,6-8,3 ml/indiv/hora), el otro gran grupo de bivalvos dulceacuícolas. La importancia filtrante del mejillón cebra no está en su tasa individual sino en las grandes densidades poblacionales que alcanza. Esta capacidad refleja el efecto que esta plaga puede ocasionar sobre los ecosistemas naturales una vez se ha establecido. En cuanto al tamaño de las partículas filtrables, el mejillón cebra filtra de forma eficiente partículas de hasta $0,7$ μm pero muestra preferencia por las comprendidas entre 15 y 40 μm (Claudi y Mackie, 1994), lo que equivale a fitoplancton, zooplancton pequeño (rotíferos) y restos orgánicos diversos, como principales integrantes de su dieta, aunque según otros autores, la preferencia por el tamaño de partículas se sitúa en torno a un tamaño comprendidas entre 4 - 50 μm (Mikheev, 1967).

El proceso de filtración normalmente se produce en ciertas condiciones tales como a una temperatura de 5 - 30 $^{\circ}\text{C}$ (Kondratiev, 1962), y a un pH de 8 - 9 (Morton, 1971).



Su espectro de tolerancia térmica es muy amplio, con capacidad de crecimiento desde 10 a 25 °C, se han hallado densas colonizaciones en el río Mississippi, en aguas que alcanzan temperaturas de 30 °C, y dicha temperatura es mantenida durante prolongados periodos del verano (Dietz y Silverman, 1995). No sobrevive cerca de los 0 °C ni tampoco por encima de los 31-32 °C, si bien estos límites no son estrictos dado que son posibles pequeñas desviaciones como consecuencia de distintas condiciones de aclimatación (Palau *et al.*, 2004).

La reproducción se interrumpe por debajo de los 10 °C y el crecimiento se ralentiza por encima de los 25 °C y por debajo de los 8-9 °C. El rango térmico óptimo de crecimiento se encuentra entre 18 y 20 °C, con el subóptimo entre 16-18 °C y 21-24 °C, según distintos autores (O'Neill, 1996; Claudi y Mackie, 1994).

Requiere aguas lentas, ya que si la corriente supera una velocidad de 1,5 m/s las larvas no son capaces de fijarse al sustrato. Por encima de 2 m/s incluso algunos ejemplares adultos pueden ser arrancados del sustrato.

Las poblaciones de mayor densidad se encuentran generalmente entre 2 y 7 metros de profundidad, aunque es posible encontrarlos hasta 15 metros y como individuos aislados hasta 45 metros. La profundidad en sí misma no es un factor limitante, pero sí el conjunto de factores asociados a ella (temperatura, concentración de oxígeno, disponibilidad de alimento, tipo de sustrato, etc.); la combinación óptima de estos factores permite al mejillón cebra alcanzar sus máximas densidades.

Dentro del agua tolera un amplio rango de parámetros físicos y químicos, a excepción de la contaminación por metales pesados.



En la siguiente tabla se muestran los rangos de preferencia orientativos del mejillón cebra para los principales parámetros y variables que influyen en el establecimiento de la especie, según O'Neill (1996) y complementado con datos de Claudi y Mackie (1994):

CONDICIONES DE COLONIZACIÓN Y CRECIMIENTO POTENCIALES						
Variable	Nulas	Muy Bajas	Bajas	Medias	Altas	Óptimas
Calcio (mg/l)	5-6	< 9	9-20	20-25	25-125	> 125
Dureza total (mg CaCO₃/l)	0-22	< 25	25-45	45-90	90-125	> 125
pH	0-6,0	< 6,5 > 9,0	6,5-7,2 9,0	7,2-7,5 8,7-9,0	7,5-8,7	8,0 < pH < 8,5
Temperatura (°C)	< 2 > 40	< 8 > 30	9-15 28-30	16-18 25-28	18-25	18-20
Oxígeno disuelto (mg/l)	Anoxia	< 4	4-6	6-8	8- 10	±100% saturación
Conductividad (µS/cm)	0-21	< 22	22-36	37-82	83-110	> 110
Velocidad agua (m/s)		< 0,07 > 1,5	0,07-0,09 1,25-1,5	0,09-0,1 1,0-1,25	0,1-1,0	

Tabla 1. Condiciones de colonización y crecimiento potenciales del mejillón cebra. Fuente: Ecología del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en el tramo inferior del río Ebro. Problemática y posibilidades de control. Autor: Imanol Cia Abaurre.

Otras variables no recogidas en la tabla pero también relevantes son, por ejemplo, el fósforo total que parece favorecer la presencia de mejillón cebra para concentraciones altas (100 a 300 µg/l). Paradójicamente, parece que densidades de clorofila entre 10 y 40 µg/l, menores que las correspondientes al rango de fósforo total indicado, son las que favorecen tasas de crecimiento mayores (Imanol Cia Abaurre). Cabe pensar que además de la cantidad de algas tiene importancia el tipo.



La turbidez del agua se sabe que afecta negativamente a la filtración, pero no se han establecido ni umbrales, ni tipos de materiales en suspensión, ni tiempos de exposición (Palau *et al.*, 2004).

La profundidad como tal no parece ser un factor limitante, pero sí el conjunto de condiciones que existen en profundidad (temperatura, oxígeno disuelto, disponibilidad de alimento, tipo de sustrato, etc.); de hecho, se considera que estos ejemplares de fondo son errantes y traslocados (caídos desde profundidades menores), con posibilidades de desarrollo viable muy reducidas (Claudi y Mackie, 1994). Esto significa que una toma de agua profunda limita de forma significativa las posibilidades de captación de larvas y los problemas asociados (Palau *et al.*, 2004).

Asimismo, es capaz de tolerar cierta salinidad lo que lo convierte en potencial colonizador de zonas deltaicas o de estuarios.

1.4. EL POTENCIAL INVASOR DEL MEJILLÓN CEBRA.

1.4.1. CAPACIDAD DE DISPERSIÓN.

La probabilidad de que una población de mejillón cebra, capaz de reproducirse, se establezca en una nueva masa de agua se ve afectada por las características de la propia masa de agua, la gran variedad de mecanismos de dispersión, la frecuencia con la que es inoculada la especie, la magnitud de dicha inoculación y la capacidad del mejillón cebra para sobrevivir en ella (Baker *et al.*, 1993).

El mejillón cebra presenta, en su fase adulta, una muy reducida capacidad de desplazamiento, ya que ésta se encuentra limitada al movimiento a favor de las corrientes de agua de ejemplares que puedan ser desprendidos del sustrato por cualquier fenómeno, natural o no. La colonización de masas de agua no conectadas directamente con otras en las que ya existan ejemplares adultos es



más difícil. Para que la especie llegue a aquellas, es necesaria la intervención de vectores de dispersión que trasladen a los individuos desde su zona origen.

No obstante, dado que en varias de sus fases larvarias el mejillón cebra se encuentra suspendido en el agua a diferentes profundidades, se amplían significativamente sus posibilidades de dispersión, registrando la capacidad máxima en estas fases. En ríos con corriente, las larvas siempre serán arrastradas aguas abajo de las poblaciones parentales, que, salvo que tengan un aporte superior de nuevas larvas (por ejemplo de un embalse existente aguas arriba), desaparecerán en pocos años.

Calculando un período de 10 días de duración de estado planctónico de las larvas antes de su fijación (en realidad es de entre 10 y 30 días dependiendo de las poblaciones), y un río con baja corriente (por ejemplo 0,1 m/s), estas larvas alcanzarían en dicho período una zona 86,4 km aguas abajo del punto donde han sido emitidas ($0,1 \text{ m/s} \times 1 \text{ km}/1000 \text{ m} \times 10 \text{ días} \times 60 \text{ seg}/\text{min} \times 60 \text{ min}/\text{hora} \times 24 \text{ horas}/\text{día} = 8,64 \text{ km}/\text{día}$) (Mackie, 1999).

Pese a todo, el mejillón cebra no es capaz de invadir todos los ecosistemas posibles. Según Padilla (2005), en EE.UU. solamente se ha encontrado en menos del 1% de los lagos, mientras que en Bielorrusia, donde la especie lleva más de 200 años, de los 500 lagos estudiados sólo el 17% están infectados. Según esta autora, para que la invasión prospere, deben cumplirse cinco pasos que no siempre se producen con éxito:

- 1) Un determinado vector debe traslocar individuos adultos reproductores desde la población original.
- 2) El vector debe trasladar los individuos a un hábitat apropiado.
- 3) Los individuos traslocados deben sobrevivir al transporte.



- 4) Los ejemplares (o su descendencia, si se han reproducido durante el transporte) deben ser depositados en un hábitat donde no sólo sobrevivan sino que también puedan reproducirse.
- 5) Estos ejemplares traslocados, además de reproducirse con éxito, deben producir reclutamiento de juveniles que a su vez deben mantenerse para dar lugar a una población sostenible.

1.4.2. VECTORES DE PROPAGACIÓN.

En el caso del mejillón cebra, los principales vectores de dispersión son las actividades humanas que, trasladando volúmenes de agua cargados de larvas de la especie, permiten a éstas asentarse en nuevos territorios y generar poblaciones adultas viables.

Atendiendo a las diferentes referencias bibliográficas existentes, las principales vías de entrada de la especie, por orden de importancia, son: el agua de lastre de grandes barcos, los trasvases de agua, las embarcaciones de pesca y recreo, la utilización de la especie como cebo vivo, los acuarios y el comercio de jardinería.

Son generalmente las embarcaciones pequeñas las responsables de invasiones desde lugares más próximos, como ha sido el caso de la cuenca del Ebro desde probablemente aguas infectadas de Francia (Rajagopal, com. pers.). Además, las corrientes de agua, aves migratorias y otros animales pueden contribuir a su potencial distribución natural. (Mackie, 1999; Thorp, Alexander & Cobbs, 2002).

A continuación, se muestra un listado de los principales mecanismos de propagación de *Dreissena polymorpha* clasificados según su tipología (factores naturales o relacionados con el hombre):



FACTORES NATURALES:

- **Vegetación acuática.**

La vegetación acuática puede desempeñar la función de sustrato para la fijación de mejillones. En caso de que esta vegetación se traslade hacia masas de agua no infestadas, los mejillones fijados en ella también serían transportados.

- **Aves y otros animales.**

En particular, la llegada de aves migratorias desde otras áreas afectadas puede suponer un factor de riesgo ya que pueden alojar larvas alojadas en sus cuerpos.

- **Corrientes de agua y turbulencias.**

Las corrientes de agua pueden dispersar al mejillón cebra durante su fase larvaria y durante la fase planctónica que esta especie presenta.

FACTORES RELACIONADOS CON LA ACTIVIDAD HUMANA:

- **Canales, trasvases y conducciones de agua desde cuencas infestadas.**

Los canales y trasvases de agua que conecten diferentes masas de agua pueden ser un factor importante de riesgo de expansión del mejillón cebra desde zonas afectadas hacia otras zonas.

- **Contenedores de agua.**

Los contenedores para el transporte de agua pueden albergar en el propio agua larvas de mejillón; así mismo, los mejillones pueden adherirse en sus paredes infestando cada agua que se transporte en caso de no llevarse a cabo las labores de limpieza y desinfección oportunas.



- **Embarcaciones (Aguas de lastre, superficie, anclas, circuitos de refrigeración de los motores).**

Los mejillones adheridos a embarcaciones o bien las larvas contenidas en embarcaciones pueden ser transportados hacia aguas no infestadas cuando las embarcaciones se trasladan de una masa a otra, invadiendo nuevos hábitats.

- **Cebo vivo y artes de pesca.**

Puede producirse el traslado de larvas de mejillón cebra en contenedores con agua y peces para cebo vivo. Así mismo, dado que las larvas pueden adherirse a redes, boyas y otros materiales empleados para la pesca, si éstos se trasladan a otra masa de agua sin ser desinfectados pueden actuar como vectores de dispersión.

- **Operaciones de extinción de incendios.**

El riesgo de propagación puede generarse, aunque de forma ocasional, durante la carga de aguas con hidroaviones u otros sistemas tras haber cargado anteriormente en aguas infestadas.

- **Piscicultura.**

El desarrollo de esta actividad económica puede llevar implícito el riesgo de traslado de peces o materiales que hayan estado en contacto con aguas infestadas.

- **Materiales sumergidos (Boyas, material de construcción, embarcaderos, bateas, rejillas, etc.).**

Los materiales que hayan estado sumergidos o bien en contacto con aguas infestadas pueden suponer un importante vector de propagación de larvas, juveniles y adultos de mejillón cebra.

- **Llegada de nuevas especies invasoras, especialmente peces.**

Una de las vías que quizás sea la que más esté contribuyendo a la contaminación de las aguas constituye la translocación ilegal de fauna ictícola realizada por personas particulares. Si estas translocaciones se realizan partiendo de aguas infestadas de mejillón cebra, las larvas pueden ser



fácilmente transportadas, iniciando así un nuevo proceso de colonización. De hecho, según estudios de la Confederación Hidrográfica del Ebro, la causa más probable de su entrada en España es la introducción de larvas o adultos (seguramente más larvas que adultos) en aguas utilizadas para el transporte hasta el Ebro, de especies exóticas de peces procedentes de ríos con mejillón cebra.

- **Movimientos de tierra en zonas de divisorias de aguas.**

El empleo de maquinaria de obra sin las posteriores labores de limpieza o desinfección en zonas limítrofes respecto a las cuencas afectadas puede conllevar riesgo de traslado de ejemplares.

1.5. IMPACTOS DEL MEJILLÓN CEBRA.

1.5.1 IMPACTOS GENERADOS POR LAS INVASIONES DE MEJILLÓN CEBRA.

Según diversos estudios desarrollados en ámbitos afectados por el mejillón cebra, la presencia de esta especie puede conllevar la aparición de diversos impactos, afectando tanto a sistemas naturales como a las infraestructuras donde se instalan. A continuación se incluye una breve descripción de estos impactos, en función de los sistemas afectados:



SISTEMAS NATURALES

Modificación de hábitats	• Modifican la calidad físico-química del agua (Strayer <i>et al.</i>, 1999; Navarro <i>et al.</i>, 2006). • Aumenta la claridad de las aguas, la concentración de nutrientes, contaminantes y oligoelementos motivados por la excreción, disminuye la concentración de oxígeno disuelto como consecuencia de la respiración. • Producen una alteración física del sustrato (por ocupación y presencia de conchas usadas).
Afección a otras especies	• Pueden simplificar las comunidades de macroinvertebrados a través de la ocupación del espacio mediante competencia por los puntos de arraigo (Hallac & Marsden, 2000), a través de la tasa de filtración del agua (competencia: Baker & Levinton, 2003; estrés metabólico: SOUSA <i>et al.</i>, 2011; eliminación de materia orgánica disuelta: Hakenkamp & Palmer 1999) y actuando sobre la calidad físico-química del agua (Strayer <i>et al.</i>, 1999; Navarro <i>et al.</i>, 2006). • Una de las afectaciones más obvias de la invasión del mejillón cebra es sobre los bivalvos autóctonos, con los que compite con ventajas a todos los niveles, en mayor o menor medida. Los efectos pueden ser más indirectos, como la afectación a la biomasa de peces, incluidos los que sirven de huéspedes para los gloquidios (larvas) de especies autóctonas de bivalvos. Aumento de las cianobacterias (<i>Microcystis</i>) provocados por el descenso de la relación N/P y la selección del alimento realizado (Vanderploeg <i>et al.</i>, 1995). • Cambios estructurales en las asociaciones de zooplancton como consecuencia de la eliminación selectiva de algunas especies basada en el tamaño (MacIsaac <i>et al.</i>, 1991). • Cambios estructurales en el microzooplancton motivados por las larvas de Dreissena (MacIsaac <i>et al.</i>, 1992).
Posibles efectos positivos	Se han descrito repercusiones, no siempre negativas, sobre el resto de la biota acuática: cambios en la transparencia del agua por eliminación de partículas del seston y mayor tasa fotosintética del fitoplancton (Zhu <i>et al.</i>, 2007; De Stasio <i>et al.</i>, 2008), en la composición de la ictiofauna (Robinson & Wellborn, 1988; Matute, 2010) o en la microfauna epizoótica (Beckett <i>et al.</i>, 1996). Posible adición de una nueva presa para los peces y las aves acuáticas por inclusión de los individuos adultos de mejillón en su dieta (Karataev y Burlakova, 1993; Wormington, 1992).



INFRAESTRUCTURAS/SISTEMAS SOCIOECONÓMICOS	
Limitación de usos/afección de infraestructuras	Las actividades recreativas asociadas a la pesca y a la navegación o el baño pueden verse notablemente afectadas, bien sea por una disminución de los recursos (pesca), bien a causa de unos mayores gastos de mantenimiento motivados por la eliminación de ejemplares adheridos, tratamientos preventivos, mayores incomodidades (baño) o, en general, una pérdida de atractivo y reclamo turístico (Palau <i>et al.</i> , 2004).
	Limitación del uso del agua: afecta a las captaciones urbanas, riegos, centrales hidroeléctricas y nucleares e industrias de cualquier tipo con tomas de agua.
	Afección de Obras e infraestructuras: obturación de captaciones y conducciones por fijación de la especie (biofouling) en paredes y fondo de depósitos, rejillas, tuberías, etc.
	Efectos sobre equipos de medición y control que distintas industrias o actividades de aprovechamiento de aguas puedan tener en zonas infestadas por mejillón cebra; inutiliza equipos de muestreo o genera registros erróneos en las mediciones (Palau <i>et al.</i> , 2004).
Posibles efectos positivos	Efectos físico-químicos: aumenta la corrosión del hierro y el acero en los puntos de fijación. (Palau <i>et al.</i> , 2004).
	Un posible aspecto positivo derivado de la invasión del mejillón cebra puede ser su efecto filtrador que puede contribuir al saneamiento de cursos y masas de agua contaminadas o eutróficas, por la retirada de partículas orgánicas y algas; Según Ludiansky <i>et al.</i> , (1993) el comportamiento filtrador (movimiento de las valvas, duración de los sifonados, etc.) de <i>Dreissena</i> se utiliza como test bioindicador.

Tabla 2. Síntesis de los impactos generados por el mejillón cebra en función de los sistemas afectados

1.5.2. COSTES ECONÓMICOS.

Desde la aparición del mejillón cebra en la Península Ibérica, hace ya una década (Altaba *et al.*, 2001; Álvarez, 2001; Navarro *et al.*, 2006), este bivalvo ha provocado y provoca importantes impactos ecológicos y económicos (Hunter & Bailey, 1992; Karatayev *et al.*, 1997; Strayer, 1999; Araujo & Álvarez, 2001; Bobat, 2004; Connelly *et al.*, 2007; Higgins *et al.*, 2008; Strayer, 2009; Sousa *et al.*, 2011). Las implicaciones económicas de esta invasión han resultado imprescindibles a



la hora de poner en marcha políticas de prevención y control sobre los ecosistemas indemnes y afectados.

Los costes se originan a partir de la afección a obras e infraestructuras hidráulicas, donde su presencia masiva causa la obturación de captaciones y conducciones de agua al fijarse sin dificultad en paredes y fondos de depósitos, rejillas, tuberías, etc. De esta afección se derivan problemas de funcionamiento en instalaciones de abastecimientos, industrias, infraestructuras de riegos y de centrales hidroeléctricas o en sistemas de refrigeración de centrales térmicas y nucleares, además de gastos adicionales de mantenimiento por actuaciones de limpieza y aplicación de métodos de control para su mitigación; en ciertos casos, incluso es necesario introducir cambios en el proceso productivo. En ausencia de un tratamiento adecuado, la experiencia muestra que la mayoría de las conducciones, a medio o largo plazo, acaban parcial o totalmente obturadas. La aparición de mejillón cebra en las infraestructuras de regadío puede ocasionar graves problemas afectando a compuertas, bombeos y falseando los caudales circulantes por los canales de distribución.

Gozlan (2010) recopiló recientemente los trabajos científicos existentes sobre especies exóticas invasoras en España con el fin de establecer la proporción de especies acuáticas exóticas introducidas en el país que son responsables de impactos ecológicos y económicos. A pesar de la gravedad de las consecuencias que pueden llegar a tener estas invasiones, las valoraciones de los costes económicos de las especies invasoras son escasas y aún menor, el número de estudios disponibles en la literatura económica especializada (US-OTA, 1993; Perrings *et al.*, 2000; Pimentel *et al.*, 2000; McLeod, 2004; Born *et al.*, 2005; Pimentel *et al.*, 2005; Collautti *et al.*, 2006; Lovell *et al.*, 2006; Olson, 2006; Binimelis *et al.*, 2007; Vilà *et al.*, 2010).

Cuando se desciende en el análisis a escala de una especie concreta, no solo el número de estudios en la literatura económica se reduce aún más drásticamente, sino que también se constatan divergencias entre las estimaciones de los costes que provocan estas invasiones.



El estudio "Estimación de los costes de la invasión del mejillón cebra en la cuenca del Ebro (periodo 2005-2009)" (*Concha Durán et al. 2012*), presenta los costes monetarios que ha supuesto la invasión del mejillón cebra en la cuenca del Ebro desde el año 2005 al 2009 para los sectores que utilizan el agua en sus actividades. La metodología de trabajo se basó en el análisis de una encuesta dirigida a los sectores energético, industrial, agrícola, lúdico-deportivo, administraciones públicas y abastecimientos, susceptibles de estar afectados por la invasión del mejillón cebra. Los resultados indican que los costes asociados a la expansión del mejillón cebra en la cuenca del Ebro no han cesado de crecer en los últimos años, llegando a alcanzar los 11,6 millones de euros en el periodo de estudio. De los costes totales cuantificados, las administraciones públicas han aportado el 55.1 %. Al sector energético le corresponde un 26.4% del coste total estimado. Los mayores costes se presentan en las centrales hidráulicas, seguidos por las nucleares y térmicas. Las comunidades de regantes y empresas agrícolas representan el 8.3% del coste total y las empresas industriales no energéticas, el 5.7 %. Los costes en el sector de usos lúdicos deportivos del agua suponen el 2.3% de los costes totales. Finalmente, los abastecimientos, pioneros junto a las centrales energéticas en la lucha contra la expansión del mejillón cebra en 2001 en la cuenca del Ebro, representan el 2.2% de la inversión total.

En este estudio se analizan también las distintas tipologías de daños que originan los costes. Hay que advertir que los costes de las administraciones son costes de control que han ido dirigidos fundamentalmente a estudios para el conocimiento de la biología del invasor y para el desarrollo de métodos de control, seminarios, labores de información y concienciación, campañas de muestreos larvarios y de adultos para una detección precoz de la plaga, etc. En los restantes sectores prácticamente los costes se podrían denominar "reactivos", al responder directamente al descubrimiento de daños en las instalaciones y servicios.

Debido a que actualmente no se tiene constancia de la presencia del mejillón cebra en la Cuenca Hidrográfica del Guadiana, no es posible realizar una cuantificación de los costes que llevaría asociada su aparición. No obstante, atendiendo a las características socioeconómicas del ámbito



geográfico de la cuenca, estos costes estarían relacionados mayoritariamente con gastos de la administración pública en actuaciones prevención, control y eliminación, así como los costes derivados de la reparación de daños producidos por el mejillón cebra en infraestructuras de abastecimiento y regadío.





BLOQUE 2

Estudio de la susceptibilidad a la colonización y vulnerabilidad de la cuenca hidrográfica del Guadiana del mejillón cebra.



“Determinación de las principales zonas de riesgo para el mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y recomendaciones prácticas para prevenir su introducción y su control/eliminación”.



2. ESTUDIO DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA COLONIZACIÓN Y VULNERABILIDAD DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA ANTE EL MEJILLÓN CEBRA.

2.1. INTRODUCCIÓN.

Uno de los métodos más eficaces a la hora de luchar contra la colonización de especies invasoras es desarrollar herramientas que sirvan para predecir de forma objetiva las zonas donde estas especies pueden asentarse y proliferar (Herborg et al., 2007). Además, la aplicación de estos métodos predictivos en ambientes donde aún no se ha producido la llegada y asentamiento de las especies objetivo garantiza un mayor éxito en la lucha contra las mismas. En estas circunstancias, la determinación de las zonas con mayor riesgo de entrada y proliferación permiten de forma anticipada diseñar estrategias específicas de control y destinar recursos de la manera más efectiva posible. Este es el caso de la cuenca del Guadiana, donde de momento no se ha detectado la presencia del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*).

El éxito en el asentamiento y la proliferación de las especies invasoras depende de una gran cantidad de factores, como la diversidad de especies nativas existentes en el medio receptor, la densidad de individuos de la especie invasora que coloniza el nuevo ambiente, la intensidad de la perturbación del medio natural, la disponibilidad de recursos, la productividad del hábitat o la capacidad de la especie invasora de hacer frente a competidores y/o depredadores naturales (Lodge, 1993; Levine y D'Antonio, 1999; Davis y Pelsor, 2001; Kolar y Lodge, 2002; Levine et al., 2004; Lockwood et al., 2005; Walker et al., 2005). Otros estudios han puesto de manifiesto que los factores determinantes del éxito de la invasión actúan de forma compleja y, en muchos casos, simultáneamente (Lonsdale, 1999; Rouget y Richardson, 2003; Forsyth et al., 2004; Romanuk and Kolasa, 2005).



En este bloque, se presenta un estudio sobre la susceptibilidad y vulnerabilidad de la cuenca hidrográfica del río Guadiana a la colonización del mejillón cebra, atendiendo a una serie de factores:

- Variables fisicoquímicas de las masas de aguas (concentración de calcio, conductividad eléctrica, dureza del agua, pH, oxígeno disuelto y temperatura).
- Morfología y comportamiento hidrológico de las masas de agua.
- Gestión de embalses y sistemas de explotación.
- Usos y actividades que se desarrollen en las masas de agua estudiadas
- Posibles conexiones con zonas ya infectadas en otras cuencas hidrográficas cercanas.

Los resultados de este estudio han servido, junto a la aplicación de herramientas de análisis espacial, para elaborar mapas de riesgo de entrada del mejillón cebra en diferentes masas de agua de la cuenca del Guadiana donde, tanto por motivos intrínsecos (características naturales) como por factores extrínsecos (actividades humanas desarrolladas), se han estimado diferentes niveles de riesgo de entrada y proliferación de esta especie.

Se persigue, por tanto, ofrecer una herramienta que sirva para anticiparse a un posible evento de colonización del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y planificar posibles medidas de control de su expansión. De esta forma, cabe la posibilidad de detectar las zonas más sensibles de la red hidrográfica y dirigir hacia ellas la máxima atención y esfuerzos para evitar su contaminación o, dado el caso, la erradicación precoz de la eventual introducción del mejillón cebra. Este hecho es de gran importancia en una cuenca como la del Guadiana, donde en el momento de redacción de este documento, no se ha detectado la presencia de este bivalvo invasor. La aplicación del principio de cautela, así como la disponibilidad de unos protocolos de actuación derivados de la identificación anticipada de las zonas con mayor riesgo de invasión son garantía de éxito frente a la lucha contra el mejillón cebra.



2.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LAS METODOLOGÍAS DESARROLLADAS PARA EL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD ANTE LA INVASIÓN EL MEJILLÓN CEBRA.

En el caso del mejillón cebra, se han diseñado y aplicado distintos métodos que han servido para predecir las zonas más susceptibles a la invasión de este bivalvo. Uno de los más extendidos, especialmente en EE.UU., es el basado en los modelos matemáticos relacionados con las teorías gravitacionales (Schneider et al., 1998; Bossenbroek et al., 2001; Bossenbroek et al., 2007). Estos modelos parten de la base de que el principal vector de transporte del mejillón cebra son las embarcaciones. La probabilidad de contacto entre dos masas de agua (una contaminada por mejillón cebra y otra no contaminada) a través de las embarcaciones y, por tanto, del transporte del mejillón cebra, se relaciona con las posibilidades de que una misma embarcación sea usada en las dos masas de agua y con la distancia entre ellos. En realidad se trata de un modelo de atracción entre dos puntos similar al gravitacional de Newton, donde la fuerza de atracción entre dos lagos es directamente proporcional al producto de sus masas (barcas) e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia.

Los modelos gravitacionales proporcionan una buena medida de la probabilidad de entrada del mejillón cebra en los lagos norteamericanos. Sin embargo, presentan el problema de una notable complejidad a la hora de construir su estructura matemática-probabilística. Por otra parte, se necesitan datos más o menos precisos del censo de barcas que usan cada masa de agua, algo que se antoja complicado en el caso de la cuenca del Guadiana.

Otro método que se ha ensayado con el mejillón cebra es el propuesto por Timar y Phaneuf (2009), que combina un modelo numérico sobre la expansión espacial y temporal del mejillón cebra en Wisconsin con la demanda de uso de embarcaciones en masas de agua de ese estado norteamericano. Esta aproximación integrada permite asociar directamente la probabilidad del riesgo de invasión por parte del mejillón cebra a decisiones de gestión relacionadas con el uso de las embarcaciones, de tal forma que determinadas decisiones permiten aumentar o disminuir la



probabilidad de invasión de este molusco en masas de agua concretas. Este modelo, que *a priori* puede resultar interesante para los organismos de cuenca en la lucha y planificación frente a la invasión de especie exóticas, es extraordinariamente complejo en su formulación matemática-probabilística, lo que disminuye su operatividad y aplicabilidad.

Por último, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) también han demostrado su validez a la hora de estimar el riesgo de invasión del mejillón cebra e identificar zonas susceptibles a la llegada de este bivalvo invasor. Tal es el caso de la experiencia desarrollada por Trichkova et al. (2007), donde intervinieron el Instituto de Zoología de la Academia de Ciencias de Bulgaria, así como las Facultades de Geología, Geografía y Biología de la Universidad de Sofía. Este equipo de trabajo identificó los hábitats acuáticos más vulnerables a la invasión del mejillón cebra mediante la combinación de capas de información sobre características biológicas y ambientales y el posterior procesado y análisis de estos datos a través de los SIG (interpolación espacial y geoestadística de factores limitantes, reclasificación y superposición de capas de información).

En la Península Ibérica, los métodos utilizados para predecir el riesgo de invasión del mejillón cebra se han basado en la aplicación de índices diseñados para este fin. Este es el caso del índice desarrollado por Palau (2007, Universitat de Lleida), que se centra en valorar la vulnerabilidad de las masas de agua frente a la invasión de esta especie invasora en la cuenca del Ebro. En concreto, este índice, cuyo autor denomina IVMC (Índice de Vulnerabilidad al Mejillón Cebra), está diseñado para ser aplicado en masas de agua sin corriente, como lagos, represas, embalses y lagunas (masas de agua lénticas). Además de este índice, existe otro (Sánchez-Herranz et al., 2011) diseñado por Anhidra S. L. P. para masas de agua del País Vasco, que admite la posibilidad de ser aplicado tanto en aguas quietas como a ríos.

Ambos índices podrían aplicarse *a priori* para estimar el riesgo de invasión del mejillón cebra en las masas de agua de la cuenca del Guadiana. Sin embargo, un análisis detallado de sus estructuras de cálculo pone de manifiesto que esto no es posible o, al menos, en la formulación



original de los índices. Esto se debe al hecho de que para poder aplicar tanto el IVMC como el diseñado por Anhidra S. L. P., se precisa de una elevada cantidad de variables cuya disponibilidad no es total en el caso de las masas de agua de la cuenca del Guadiana. Por tanto, la aplicabilidad de ambos índices en otras cuencas es limitada, de hecho, no se ha encontrado en la literatura especializada ninguna referencia relacionada con la aplicación del IVMC o del índice de Anhidra fuera de las zonas para las que han sido diseñados (cuenca del Ebro y masas del País Vasco, respectivamente). Por otra parte, los algoritmos de cálculo empleados para estimar el riesgo de invasión del mejillón cebra en ambos índices incluyen algunas ponderaciones de variables con cierto grado de subjetividad. Por todas estas razones, **se ha optado en este documento por el diseño y puesta en marcha de una metodología propia para las masas de agua de la cuenca del Guadiana**, aplicando técnicas estadísticas multivariantes con la intención de evitar, en todo lo posible, el empleo de valoraciones subjetivas a la hora de estimar el riesgo de invasión.

Además hay que tener en cuenta que sea cual sea la técnica utilizada para la determinación del riesgo de entrada e infección del mejillón cebra, se debe buscar una simplificación final que permita la zonificación más práctica, y aún así asumiendo el riesgo de que finalmente pueda iniciarse la entrada por el punto más inverosímil.

2.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE VULNERABILIDAD.

Los objetivos del presente trabajo se enumeran a continuación:

- Diseñar una metodología que permita valorar el riesgo de invasión por parte del mejillón en la cuenca hidrográfica del Guadiana.
- Obtener una estima del riesgo de invasión del mejillón cebra asociado a cada una de las masas de agua incluidas en el estudio, aplicado para ello la metodología anterior.



- Realizar una cartografía de riesgo de invasión del mejillón cebra a partir de la aplicación de la metodología diseñada para tal fin en la cuenca del Guadiana.
- Conocer el posible alcance geográfico de la propagación natural de esta especie en caso de detectarse en la zona de estudio.

2.4. ESTIMA DEL RIESGO DE INVASIÓN.

2.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Previo al desarrollo de la metodología específica para estimar el riesgo de invasión del mejillón cebra en la cuenca hidrográfica del río Guadiana, además de llevar a cabo un profundo análisis de las experiencias desarrolladas en otros ámbitos, es necesario realizar una descripción del ámbito de estudio, de cara a identificar todas aquellas características que pueden influir a la hora del diseño y elaboración de la metodología empleada para la estima de la vulnerabilidad.

El ámbito geográfico del presente estudio se corresponde con la parte española de la cuenca hidrográfica del río Guadiana. La cuenca del río Guadiana, con un área total de drenaje de 67.039 Km², se localiza en el suroeste de la Península Ibérica y desemboca en el Océano Atlántico. Se trata de una cuenca compartida entre España (81,8%) y Portugal (17,2%), de características claramente mediterráneas desde el punto de vista climático, con una elevada variación intra e interanual en las precipitaciones (Gasith y Resh, 1999). Estas precipitaciones oscilan entre los 350-1200 mm/año, con una media para toda la cuenca de 450 mm/año. La temperatura media anual del aire ronda los 13.0-18.1 °C, con una fuerte oscilación a lo largo del ciclo anual que en algunos casos supera ampliamente los 40°C. Estas características climáticas, en especial el patrón de temperaturas, es compatible con los requerimientos ecológicos del mejillón cebra (Palau et al., 2004), en el caso de que esta especie invasora llegara a las masas de agua de la cuenca.



A pesar de no ser una cuenca demasiado poblada (unos 30 hab/km²) ha sufrido una profunda transformación durante el último siglo especialmente debido a actividades agrícolas. Casi la mitad de la cuenca (49,1%) se encuentra actualmente ocupada por algún tipo de cultivo, bien intensivo, bien extensivo (30,6% y 18,5% respectivamente). Esta actividad es altamente demandante de agua y por ello existen en la cuenca un total de 86 embalses grandes-medianos (>1 hm³) y más de 200 pequeños embalses (<1 hm³) que acumulan más de 13.000 hm³. Esta capacidad supera con creces la aportación media anual estimada en algo más de 6.000 hm³. Además, existen censados más de 60.000 pozos, existiendo un número indeterminado de puntos de extracción ilegal. Otras alteraciones comunes relacionadas con la intensa actividad del hombre son las modificaciones y canalizaciones de los tramos naturales, especialmente en el tramo alto de la cuenca, deterioro o eliminación del bosque de ribera y contaminación por vertidos difusos y puntuales (Hermoso, 2008). Esta alteración de los hábitats acuáticos facilita el asentamiento y proliferación de las especies invasoras (p. ej. Clavero et al., 2004; Hermoso et al., 2011). En el caso del mejillón cebra, es bien sabido que la especie puede proliferar y mantener poblaciones en los embalses (Palau, 2007), siendo con toda probabilidad uno de los ambientes más propicios para el asentamiento de la especie. En este sentido, la gran cantidad de embalses y represas existentes, algunas de ellas de enormes dimensiones (embalses de Orellana, La Serena, García Sola), hace que la cuenca del Guadiana tenga un aparente riesgo intrínseco evidente de cara a la invasión del mejillón cebra que es preciso evaluar.

En la porción española de la cuenca hay declarados dos Parques Nacionales, tres Parques Naturales y ocho Reservas Naturales, además de 53 Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPAS). En total suponen alrededor de 3.150 km² (5,2% de la cuenca), aunque está previsto aumentar la protección legal hasta el 14,7% a través de los numerosos Lugares de Importancia Comunitaria (LIC's) propuestos dentro de la red de espacios naturales protegidos Natura 2000.

La cuenca del Guadiana es, en todos los sentidos, muy peculiar. Según Hernández-Pacheco (1928), el Guadiana es *"el río más singular, extraño y anómalo de todos los hispanos"*.



Contrariamente a todos los demás, no se origina entre montañas ni en serranías, sino en la llanura más extensa, plana y sin pendientes que existe en la Península: en la llanura de la Mancha. Los diversos segmentos que lo componen no corresponden por sus características, a los tres normales de la generalidad de los cursos fluviales; presentando cada tramo de los que se reconocen en el Guadiana, morfología en la cuenca y en el cauce, y variación en el caudal, muy diferentes de unos a otros. Las palabras de este autor dan una idea de la singularidad geomorfológica de esta cuenca y, por ende, de la biocenosis que alberga. De hecho, la cuenca del río Guadiana destaca en el ámbito circunmediterráneo por la singularidad de sus comunidades biológicas, en especial los peces, tanto por su elevada riqueza específica, sólo comparable a la de otras dos cuencas (río Po en el Norte de Italia y río Orontes en el Sur de Turquía, según Smith y Darwall, 2006), como por el grado de amenaza al que están sometidas sus especies (el 90% está incluida en alguna categoría de la UICN). Esto convierte a la cuenca del río Guadiana en un centro de especial atención para la conservación de la biodiversidad acuática dentro del contexto mediterráneo.

2.4.2. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE INVASIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA EN LA CUENCA DEL GUADIANA.

2.4.2.1. Ámbito de aplicación.

La estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana se ha centrado en masas de aguas lénticas (embalses y lagunas). Este tipo de cuerpos de agua son los que se consideran más apropiados para el asentamiento y la proliferación del mejillón cebra (Palau, 2007).

Por tanto, quedan fuera del ámbito de aplicación de la metodología que aquí se presenta los cauces fluviales de la cuenca por una serie de razones que se explican a continuación:



En los últimos años se han realizado diversos ensayos de laboratorio y estudios de campo acerca de la dinámica de las poblaciones de mejillón cebra en los ríos y las condiciones de tipo hidráulico que afectan a la supervivencia de las larvas y su capacidad de adherirse a un sustrato. De entre los factores que afectan la tasa de mortalidad de las velíferas que se hallan en suspensión dentro de la corriente del río y afectan al reclutamiento, se destacan la depredación, la posibilidad de fijarse a un sustrato y la turbulencia. La depredación es considerada como un factor que afecta a la mortalidad de los huevos y las larvas, que pueden ser consumidos por el zooplancton, microcrustáceos y peces. No obstante, no se dispone de datos para valorar el efecto real de este factor en el medio natural. Por otra parte, y con respecto a la posibilidad de que las larvas planctónicas puedan adherirse a un sustrato adecuado, hay que resaltar que las probabilidades de que esto ocurra son muy bajas. Esto es debido principalmente a que en la etapa de asentamiento las larvas son muy sensibles al estrés físico y ambiental, estimándose una tasa de mortalidad que puede ser de hasta el 90-99% (Mackie *et al.*, 1989; Nalepa y Schloesser 1993). En los cauces fluviales las larvas sufren un elevadísimo estrés ambiental debido a la propia velocidad del flujo circulante, que a su vez influye en la turbulencia, y a la movilización del sustrato del lecho del río. Todo ello disminuye enormemente las posibilidades de asentamiento y fijación de las larvas a los sustratos del lecho fluvial. Además, la turbulencia asociada a la corriente de los ríos puede contribuir a una mayor mortalidad de larvas debido a las lesiones físicas, el estrés producido por el aumento de gasto energético, y la disminución de las tasas de ingestión. De hecho, se considera que el tiempo de exposición a la turbulencia puede ser uno de los factores más relevantes que determinan la mortalidad de las larvas de mejillón cebra (Horvath y Crane, 2010). En este sentido, es necesario tener en cuenta que los cauces fluviales de la cuenca del Guadiana están sujetos a un régimen hidrodinámico de tipo mediterráneo, donde los episodios de torrencialidad (elevada turbulencia) y estiaje suelen ser frecuentes. Bajo estas condiciones se minimizan aún más las probabilidades de sedimentación exitosa de una población de mejillón cebra.



Por todo lo anterior, es posible afirmar que las probabilidades de asentamiento del mejillón cebra en los cauces fluviales de la cuenca del Guadiana son muy remotas, por lo que queda justificado no incluir estos ambientes lóticos (aguas corrientes) en la estima del riesgo de invasión. Asimismo, los procesos ecológicos y ambientales que determinan el éxito de las larvas de mejillón cebra en los sistemas lóticos aún no se comprenden bien, ya que requieren una modelización que considere y combine las condiciones ambientales, las condiciones hidráulicas y las etapas de la vida de las larvas. Con estos condicionantes pierde sentido el intentar realizar una estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en cauces fluviales, ya que, como ha quedado expuesto, aún no se tiene un buen conocimiento de la ecología de la especie en sistemas de aguas corrientes. Además, y en el caso de que se produjese la entrada del mejillón cebra a través de un cauce, el resultado seguiría siendo el mismo, es decir, la colonización se produciría aguas abajo de la primera masa de agua (embalse o lago), que es donde tendría más posibilidades de establecerse.

No obstante, tal y como se verá en próximos apartados, aun cuando los cauces fluviales han quedado fuera del ámbito de aplicación del estudio sobre estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana, sí se valorará la capacidad de los mismos como vectores de transmisión de larvas a lo largo de la cuenca.

En total se han sometido a estudio 45 masas de agua. De ellas, 35 se corresponden con embalses y 10 son lagunas naturales (Tabla 3). En la cuenca del Guadiana existen muchas más masas de agua pero, por lógica y viabilidad del estudio se ha optado por las más representativas.

Nombre	Tipo
PEÑARROYA	Embalse
PUERTO DE VALLEHERMOSO	Embalse
GASSET	Embalse
VICARIO	Embalse
TORRES DE ABRAHAM	Embalse
CJARA	Embalse





Nombre	Tipo
GARCÍA DE SOLA	Embalse
ORELLANA	Embalse
ZUJAR	Embalse
ALANGE	Embalse
MONTIJO	Embalse
VILLAR DEL REY	Embalse
VEGA DEL JABALÓN	Embalse
CANCHALES	Embalse
LOS MOLINOS	Embalse
PIEDRA AGUDA	Embalse
TENTUDÍA	Embalse
LA CABEZUELA	Embalse
HORNO TEJERO	Embalse
VALUENGO	Embalse
CHANZA	Embalse
EL AGUIJÓN	Embalse
NOGALES	Embalse
RUECAS	Embalse
GARGÁLIGAS	Embalse
SIERRA BRAVA	Embalse
PROSERPINA	Embalse
LA SERENA	Embalse
ANDEVALO	Embalse
CANCHO DEL FRESNO	Embalse
LLERENA	Embalse
CORNALVO	Embalse
CUBILAR	Embalse
EL BOQUERÓN	Embalse
BROVALES	Embalse
LAGUNA DEL REY	Laguna
LAGUNA LA COLGADA	Laguna
LAGUNAS BAJAS DE RUIDERA	Laguna
LAGUNAS LA TAZA Y REDONDILLA	Laguna



Nombre	Tipo
LAGUNA LA SALVADORA	Laguna
LAGUNA LA TOMILLA	Laguna
LAGUNA SAN PEDRO	Laguna
LAGUNA SANTOS MORCILLO	Laguna
LAGUNA VILLAFRANCA (GRANDE Y CHICA)	Laguna
TABLAS DE DAIMIEL	Laguna

Tabla 3. Masas de agua lénticas incluidas en el estudio de estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana.

2.4.2.2. Introducción a la metodología aplicada.

La metodología empleada para estimar el riesgo de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana se basa, en un primer paso, en seleccionar un conjunto de variables que sean directamente proporcionales al riesgo de invasión del mejillón cebra, es decir, el aumento de los valores de estas variables puede interpretarse como un aumento del riesgo de invasión. Estas variables se han agrupado en varios conjuntos que describen varios aspectos del proceso de invasión y proliferación del mejillón cebra (conexión con otras cuencas infectadas y uso que se realiza en las masas de agua, características físico-químicas del agua y propiedades hidromorfológicas de las masas de agua; ver apartado “Variables empleadas”). El siguiente paso consiste en reducir la dimensionalidad de cada uno de los grupos de variables antes mencionados mediante el empleo de **Análisis de Componentes Principales**.

El Análisis de Componentes Principales (en adelante **PCA**, siglas de *Principal Component Analysis*) es una técnica estadística muy versátil, ampliamente utilizada en los estudios sobre ecología (Sanguansat, 2012), tanto de especies animales como vegetales. Pertenece a la familia de las técnicas multivariantes, ya que permite el tratamiento simultáneo de un conjunto de n variables. Estas técnicas se diferencian de la estadística univariante que esta última tan sólo permite el análisis de una sola variable en cada operación. En esencia, el PCA se aplica a un conjunto inicial



de n variables del que se persigue mantener la mayor parte de la información que aportan todas esas variables (es lo que se conoce como varianza original del conjunto de variables), pero con un número de variables más reducido. Es decir, se reduce la dimensionalidad del conjunto de datos sin perder apenas información. Por tanto, partiendo del conjunto inicial de variables, el PCA genera unas nuevas variables que son combinaciones lineales de las variables iniciales y que aglutinan la mayor parte de la información aportada por éstas. Estas nuevas variables ficticias son lo que se conocen como “componentes principales”, ya que incorporan la mayor parte de la información contenida en las variables originales. El primer componente que se extrae es el que aglutina la mayor información presente en el conjunto inicial de variables y es, por tanto, el que asume el mayor porcentaje de la varianza original de los datos. A partir de éste, el resto de componentes que se pueden generar (2^o , 3^o , 4^o , ..., n) asumen un porcentaje de varianza cada vez menor. Por esta razón, los primeros componentes son lo que se suelen extraer del PCA y los que se retienen para análisis posteriores.

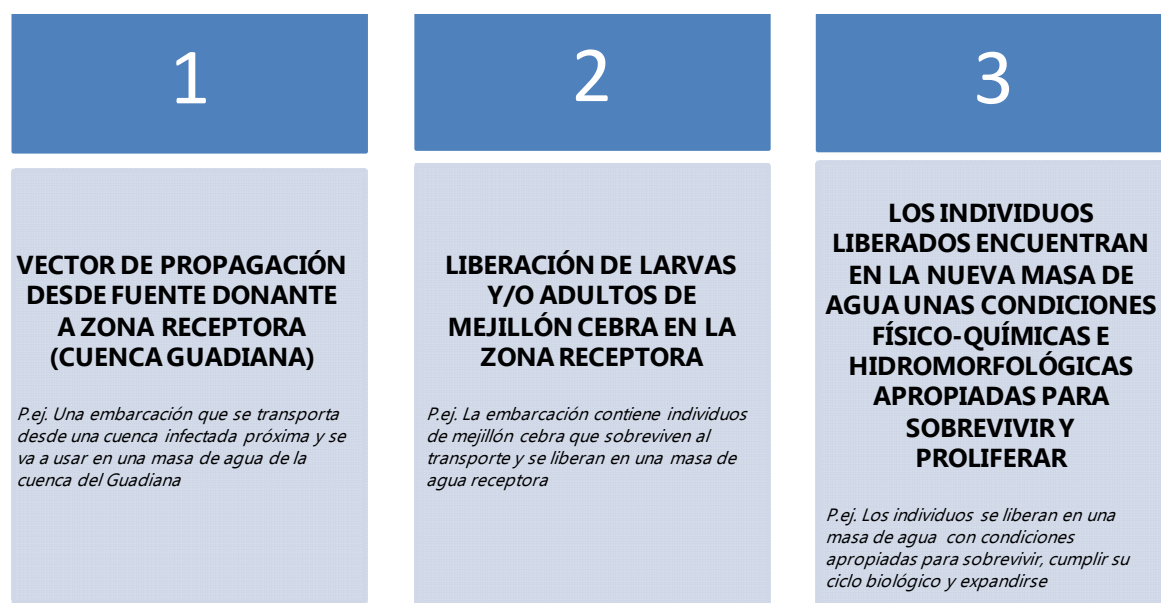
En el caso del presente estudio se va a partir de varios conjuntos de variables que definen distintos aspectos del proceso de invasión del mejillón cebra. Al aplicar el PCA se generará una nueva variable (componente) que será una combinación lineal de las variables originales y que asumirá la mayor parte de la información aportada por éstas. Como las variables empleadas son directamente proporcionales al riesgo de invasión por parte del mejillón cebra, la nueva variable ficticia que se genera también será directamente proporcional a dicho riesgo. De este modo, cuanto mayor sea el valor que adquiera esta variable en una masa de agua determinada, mayor será el riesgo de invasión asociado a dicha masa.

Esta metodología empleada presenta la ventaja de no basarse en ponderaciones subjetivas de las variables relacionadas con el riesgo de invasión del mejillón cebra, sino que se fundamenta en criterios objetivos derivados de la aplicación de técnicas estadísticas.



2.4.2.3. Variables empleadas.

Un hipotético evento de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana podría esquematizarse del siguiente modo:



Por ello, para definir el riesgo de invasión en este trabajo se han tenido en cuenta las variables que intervienen en este proceso, especialmente aquellas que participan de las fases 1 y 3. Es necesario resaltar que la obtención de la totalidad de variables que intervienen en un evento de invasión biológica es inabarcable desde un punto de vista operativo, debido a la enorme complejidad de este proceso ecológico.

Las variables que finalmente se han seleccionado por el equipo de trabajo son las que, según la bibliografía consultada (p. ej. Schneider et al., 1998; Bossenbroek et al., 2001; Bossenbroek et al., 2007; Palau, 2007; Timar y Phaneuf, 2009), se consideran más influyentes en el proceso de invasión y sobre las que existen datos disponibles y manejables.



En total se han empleado 12 variables para definir el riesgo de entrada y proliferación del mejillón cebra en las masas de agua sujetas a estudio. Estas variables se han agrupado en tres conjuntos que definen distintos aspectos del proceso de invasión y proliferación del mejillón cebra en las masas de agua de la cuenca del Guadiana, siendo los que a continuación se describen:

- **VARIABLES DE CONEXIÓN CON ZONAS YA INFECTADAS POR MEJILLÓN CEBRA EN OTRAS CUENCAS CERCANAS Y DEL USO QUE SE REALIZA EN LAS MASAS DE AGUA.**

Teniendo en cuenta que en el momento de la realización de este trabajo este bivalvo invasor no está presente en la cuenca del Guadiana, la llegada del mismo a la cuenca tendría lugar a partir de otras zonas infectadas próximas, es decir, las cuencas del Júcar y/o Guadalquivir. (Lógicamente se ha tenido en consideración que en la actualidad la cuenca vecina del Tajo tampoco se encuentra presente el mejillón cebra). Es decir, para que el mejillón cebra pueda llegar a las masas de agua de la cuenca del Guadiana debe ser transportado desde otras zonas donde ya está presente. Por tanto, puede pensarse de forma gráfica que el vector primario que protagonizaría un evento de invasión de mejillón cebra sería cualquier vehículo que transporte consigo algún medio de navegación (barco, kayak, bote neumático, etc.) que haya sido utilizado previamente en una zona próxima con mejillón cebra y con el que se pretenda navegar en alguna masa de agua de la cuenca del Guadiana. Las variables incluidas en este conjunto son las que definen el primer paso de un hipotético evento de invasión por parte del mejillón cebra.

- **VARIABLES DESCRIPTORAS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA.**

Estas variables son las que describen la mayor o menor idoneidad de las masas de agua, en cuanto a sus características físico-químicas, para la proliferación del mejillón cebra. Estas variables son: concentración de calcio, conductividad eléctrica, dureza del agua, pH del agua, oxígeno disuelto y temperatura del agua.



- **VARIABLES DESCRIPTORAS DE LAS PROPIEDADES HIDROMORFOLÓGICAS DE LAS MASAS DE AGUA.**

Las características relacionadas con la morfología de la cubeta, la longitud de costas, el tiempo de residencia del agua en cada masa, velocidad del agua, caudal, etc. también influyen en la mayor o menor idoneidad de los cuerpos de agua para albergar al mejillón cebra y que este prolifere. Estas variables se incluyen para completar a las anteriores (físico-químicas) y, en todo caso, aumentarían el riesgo de proliferación de la especie.

Las variables contempladas proceden de diversas fuentes, como es el caso del Sistema Automático de Información de la Calidad del Agua (SAICA) de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, así como de las diferentes bases de datos que maneja la Dirección Técnica de este organismo. Así mismo, se ha recurrido a la recopilación bibliográfica y normativa, a la consulta de información cartográfica oficial, así como a la realización análisis con Sistemas de Información Geográfica para el tratamiento y obtención de diversos datos.

2.4.2.4. Variables de conexión con zonas ya infectadas por mejillón cebra en otras cuencas cercanas y del uso que se realiza en las masas de agua.

- **CONEXIÓN CON OTRAS CUENCAS INFECTADAS.**

La conexión a través de carreteras de las masas de agua estudiadas con la zona más cercana invadida por mejillón cebra constituye una variable esencial a la hora de estimar el riesgo de invasión. De hecho, numerosos estudios sobre estimas de riesgo de invasión por parte de este bivalvo (p. ej. Schneider et al., 1998; Bossenbroek et al., 2001; Bossenbroek et al., 2007; Palau, 2007; Timar y Phaneuf, 2009) utilizan la distancia entre el foco emisor más cercano y la masa de agua en estudio como medida del riesgo de invasión relacionado especialmente con actividades



lúdicas de pesca y navegación. En este sentido, se considera que el riesgo de invasión es inversamente proporcional a la distancia que separa ambas masas de agua.

En este estudio se ha considerado una variante de este método, pues, en vez de utilizar la distancia existente entre el foco emisor y la masa de agua receptora se ha decidido usar el tiempo de viaje (en horas) por carretera que se emplearía en realizar el trayecto existente entre ambas masas, con objeto de obtener una mayor aproximación a la realidad. Se ha tomado el tiempo de viaje como una mejor estima de conexión con zonas ya invadidas, puesto que de este modo se tiene en cuenta, además de la distancia, el tipo de vías de conexión y el estado de las mismas, aspectos que determinan el tiempo de llegada del vector, que en este caso es el factor crítico al que se refiere la variable analizada.

En el momento de realización de este trabajo, los focos más próximos a la cuenca del Guadiana con presencia de mejillón cebra son el embalse de Embarcaderos (Cofrentes, cuenca del Júcar) y el embalse de Iznájar (Iznájar, cuenca del Guadalquivir). Recientemente, se ha detectado la presencia del mejillón cebra en otros embalses próximos, como el del Conde del Guadalhorce (cuenca del Guadalhorce) y el de Zahara-El Gastor (cuenca del Guadalete). No obstante, estos focos no se han tenido en cuenta en este estudio por considerarse que las poblaciones de mejillón cebra no se encuentran aún asentadas. Es necesario señalar que la metodología que se ha aplicado en este estudio para estimar el riesgo de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana exige que las variables sean directamente proporcionales al riesgo de invasión, por tanto, en vez de utilizar el tiempo de viaje (que es inversamente proporcional al riesgo) se ha empleado el inverso de dicho tiempo ($\text{Inv. Tiempo} = 1/\text{tiempo de viaje}$).

- **NAVEGACIÓN.**

La vocación y el uso tradicional que presenta una masa de agua para la navegación es, sin duda, un factor de riesgo en la cuantificación de la susceptibilidad a la entrada del mejillón cebra. De



hecho, y como ya se ha comentado anteriormente, hay numerosos estudios (Carlton, 1993; Schneider et al., 1998; Bossenbroek et al., 2001; Palau et al., 2004; Bossenbroek et al., 2007; Cia-Abaurre, 2008; Timar y Phaneuf, 2009;) que afirman que el principal vector de transporte del mejillón cebra son las barcas y, por tanto, las actividades relacionadas con la navegación. De hecho, se considera que dentro de la Península Ibérica la navegación recreativa entre masas de agua ha sido el principal vector de transmisión de la especie, ya que los primeros positivos siempre se detectan en embalses navegables (Durán et al., 2010).

La Confederación Hidrográfica del Guadiana actualmente establece una regulación de la modalidad de navegación que se permite realizar en los embalses de la cuenca ("float tube", "remos y vela", "con motor eléctrico" y "con motor de explosión").

A cada modalidad contemplada en la normativa vigente se le ha asignado un valor (1, 2, 3 y 4), tanto mayor cuanto más elevada se haya considerado su capacidad para transportar individuos de mejillón (adultos y/o larvas). Se ha asignado el valor "0" en las masas de agua donde no se permite la navegación o no existe información al respecto. El valor final que adquiere la variable Navegación en cada masa de agua estudiada resulta de sumar los valores que se han asignado a cada modalidad de navegación, teniendo en cuenta las modalidades permitidas en cada una de ellas.

2.4.2.5. Variables descriptoras de las características físico-químicas del agua.

- **CONCENTRACIÓN DE CALCIO (mg/l).**

La disponibilidad de este catión es fundamental para el desarrollo del mejillón cebra, ya que la especie lo necesita para la formación de sus valvas y la osmoregulación (McMahon, 1996). Por debajo de 6 mg/l no hay posibilidad de que se desarrolle la especie y por encima de 35 mg/l, deja



de ser limitante; es decir, a partir de ese valor la especie desarrollará su ciclo biológico sin problemas.

El rango de valores de la concentración de calcio presente en las masas de agua de la cuenca del Guadiana sujetas a estudio se encuentra dentro de las posibilidades de vida del mejillón cebra. Cabe destacar que, dentro de este rango de valores, cuanto mayor es la concentración de calcio, más idóneas son las condiciones del agua para el asentamiento y la proliferación del mejillón cebra.

- **CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{S}/\text{CM}$).**

La conductividad eléctrica es una medida de la mineralización de la masa de agua estudiada. Los datos de conductividad eléctrica se expresan en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Además, puede servir como medida indirecta para la estima de la concentración de calcio. Como ocurre en el caso del calcio, los valores de conductividad eléctrica en las masas de agua en estudio están dentro de las posibilidades de vida del mejillón cebra de tal forma que a mayor valor, mejores condiciones químicas encontrará este bivalvo para completar su ciclo biológico y sus posibilidades de proliferación.

- **DUREZA DEL AGUA ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$).**

Es una variable a tener en cuenta, pues, por debajo de 20-22 mg/L no es posible la vida del mejillón cebra, localizándose el óptimo a partir de los 125 mg/L . Los valores de dureza que presentan las masas de agua analizadas están dentro de las posibilidades de vida del mejillón cebra. Además, esta variable evoluciona de forma directamente proporcional al riesgo de invasión y proliferación del mejillón cebra en las masas de agua sujetas a estudio.



- **pH DEL AGUA.**

El pH es una variable que condiciona el desarrollo del mejillón cebra, de modo que valores de pH por debajo de 6,5 resultan letales para los adultos de mejillón cebra, las larvas no sobreviven si el pH no supera las 6,9 unidades y es a partir de 7,4 cuando el ciclo biológico se desarrolla sin limitaciones (crecimiento y reproducción), encontrando su óptimo en valores de pH entre 8,0 y 8,5 unidades (Cia-Abaurre, 2008). El pH del agua es una variable muy relacionada con la concentración de calcio. Los valores de pH que presentan las masas de agua analizadas están dentro de las posibilidades de vida del mejillón cebra. Además, en dichas masas, esta variable evoluciona de forma directamente proporcional al riesgo de invasión y proliferación del mejillón cebra.

- **OXÍGENO DISUELTO (mg/L, o % saturación).**

El oxígeno disuelto en el agua condiciona la vida del mejillón cebra en el sentido que concentraciones por debajo de 4 mg/L hacen que la supervivencia de la especie sea prácticamente nula o se den muy bajas probabilidades de sobrevivir. La probabilidad de supervivencia mejora a medida que aumenta la concentración de oxígeno disuelto. Los valores de oxígeno disuelto que presentan las masas de agua analizadas están dentro de las posibilidades de vida del mejillón cebra. Además, en dichas masas, esta variable evoluciona de forma directamente proporcional al riesgo de invasión y proliferación del mejillón cebra.

- **TEMPERATURA DEL AGUA (°C, MEDIA ANUAL).**

Las posibilidades de supervivencia y proliferación del mejillón cebra aumentan a medida que lo hace la temperatura del agua hasta llegar a los 20-25 °C. A partir de ahí, la supervivencia de la especie se ve afectada, llegando a probabilidades de colonización bajas a partir de los 30°C y nulas cuando la temperatura del agua supera los 40°C. En la cuenca del río Guadiana, la



temperatura del agua no será nunca un limitante en sentido estricto, puesto que sólo valores extremos mantenidos durante suficiente tiempo podrán producir muerte ($<2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ó $>40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Al igual que en los casos anteriores, el rango de temperaturas medias anuales que se han obtenido en las masas de agua en estudio están dentro de las posibilidades de vida del mejillón cebra. No se dan temperaturas extremas que imposibiliten el asentamiento y proliferación del mejillón cebra. En dichas masas, esta variable, al igual que todas las anteriores, evoluciona de forma directamente proporcional al riesgo de invasión y proliferación del mejillón cebra.

2.4.2.6. Variables descriptoras de las propiedades hidromorfológicas de las masas de agua.

- **TIEMPO DE RESIDENCIA DEL AGUA (TR, DÍAS).**

Se trata de una variable que informa sobre el tiempo que permanece el agua en cada masa de agua estudiada. Aquellas masas con tiempos de residencia mayores son *a priori* más adecuadas para albergar una población de mejillón cebra, ya que la especie puede asentarse con mayor facilidad. Por el contrario, las masas con tiempo de residencia cortos implican una alta tasa de renovación del agua y, por tanto, poseen una menor probabilidad de que se instale una población de esta especie. El tiempo de residencia del agua se calcula a partir del volumen de agua del embalse (Hm^3) y el promedio entre la entrada y la salida media de agua en el embalse ($\text{Hm}^3/\text{día}$):

$$Tr\text{ (días)} = \text{Promedio [entrada y salida media de agua diaria (Hm}^3\text{/día)]} / \text{volumen del embalse (Hm}^3\text{)}.$$

- **OSCILACIÓN VOLUMÉTRICA RELATIVA (EN INVERSO).**

La oscilación volumétrica relativa es una variable muy relacionada con la anterior, ya que informa sobre la tasa de oscilación del volumen de agua (en Hm^3) en un embalse relativizándolo a su volumen total (en Hm^3). La oscilación volumétrica crece de forma inversamente proporcional al



riesgo de invasión, por lo que el inverso de su valor es la variable que finalmente se ha utilizado para la estima del riesgo de invasión. Esto es debido a que, como se comentó en el caso del tiempo de viaje, se precisan variables que sean directamente proporcionales al riesgo de invasión del mejillón cebra.

- **MORFOLOGÍA DE LA CUBETA.**

Es un parámetro que indirectamente informa de la vocación trófica de una masa de agua y, en la medida en que define la forma de la cubeta, indica la idoneidad teórica de ésta a la colonización por parte del mejillón cebra. Así, las cubetas más profundas y de paredes más verticales, son menos idóneas. Esta variable se determina con el cociente entre la superficie de la lámina de agua a cota máxima (ha) y la profundidad máxima de la masa de agua (m). Un cociente elevado indica una cubeta con paredes suavizadas y con buena predisposición para albergar colonias de mejillón cebra (Palau, 2007). En el estudio que aquí se presenta se ha recurrido a una variante, utilizando la altura del muro de contención como estima de la profundidad máxima del embalse (Palau, 2007), ya que no pudo obtenerse información sobre la variable “profundidad máxima”.

- **LONGITUD DE COSTAS (Km).**

La longitud de costas o perímetro de la masa de agua es una variable que informa sobre la disponibilidad de microhábitats adecuados para que pueda asentarse una población de mejillón cebra. El mejillón cebra no suele formar colonias en aguas demasiado profundas por las condiciones ecológicas que se dan en esas zonas (poco oxígeno disuelto, escasa disponibilidad de alimento o la existencia de sustratos no adecuados para su asentamiento. De hecho, se considera que los ejemplares que se encuentran en zonas profundas son errantes y traslocados, es decir, caídos desde profundidades menores (Claudi y Mackie, 1994). Por tanto, la mayor concentración de mejillones cebra se dará en zonas próximas a la orilla hasta una determinada profundidad. De esta forma, puede afirmarse que una masa de agua con una longitud de costas



elevada tiene *a priori* más posibilidades de contener zonas con microhábitats adecuados para la especie que una masa con una longitud de costas reducida.

Una vez descritas todas las variables que se han tenido en cuenta para definir el proceso de invasión del mejillón cebra y, por ende, del riesgo asociado a este hipotético evento, se hace necesario incidir en las siguientes cuestiones:

1. El conjunto de variables que podrían poner en marcha un hipotético evento de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana sería el denominado de "conexión y uso". Son estas variables (tiempo de viaje y navegación) las primeras que se deben tener en cuenta para poder estimar el riesgo de invasión.
2. Las variables denominadas "físico-químicas" marcarían el siguiente paso en el proceso invasivo, dado que una vez que aparece el mejillón cebra en una masa de agua, ya sea en estado adulto o larvario, su proliferación va a depender de las limitaciones/oportunidades impuestas por las características del agua. Serían, por tanto, las siguientes variables a tener en cuenta al estimar el riesgo de invasión.
3. Las variables "hidromorfológicas" actúan de forma complementaria a las "físico-químicas", es decir, aumentaría en cierto grado el riesgo de invasión en una masa de agua siempre que ésta presente unas propiedades físico-químicas que permitan la proliferación de la especie.

Es necesario señalar que no todas las variables descritas anteriormente pudieron obtenerse en la totalidad de masas de agua estudiadas (Tabla 4.), siendo los embalses las masas de las que se han podido obtener mayor cantidad de variables. Esto se debe a la menor disponibilidad de información existente en las masas de aguas naturales, lo que ha determinado que en las lagunas no puedan contemplarse variables como la "Navegación", ni variables descriptoras de las propiedades hidromorfológicas (tiempo de residencia del agua, oscilación volumétrica, morfología de la cubeta y longitud de costas). Debido a este motivo, a la hora de realizar la



estima del riesgo de invasión del mejillón cebra se ha hecho una diferenciación entre embalses y masas de agua naturales (lagunas), con objeto de evaluarlos de forma independiente.

Variables	Variables necesarias para su cálculo	Expresión de cálculo	Recopiladas en embalses (E) y/o lagunas (L)
Conexión y uso			
Inverso tiempo de viaje (h^{-1})	Tiempo de viaje (h)	1/Tiempo de viaje	E y L
Navegación	Navegación		E
Físico-químicas			
[Ca ²⁺] (mg/L)	[Ca ²⁺]		E y L
Conductividad ($\mu S/cm$)	Conductividad		E y L
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	Dureza		E y L
pH	pH		E y L
O ₂ disuelto (mg/L ó %)	O ₂ disuelto		E y L
Temperatura del agua (°C)	Temperatura		E y L
Hidromorfológicas			
Tiempo residencia (Tr, días)	Entrada media de agua (Hm ³ /día) Salida media de agua (Hm ³ /día) Volumen del embalse (Hm ³)	promedio[entrada y salida media de agua diaria]/volumen del embalse	E
Inverso oscil. volum. relativ	Oscil. volum. (Hm ³) Volumen del embalse (Hm ³)	Volumen del embalse/oscil. volum	E
Morfología de la cubeta (ha/m)	Superf. lámina a cota máx. (ha) Profundidad máx. (m)	Superf. lámina/Profundidad máx.	E
Longitud de costas (Km)	Longitud de costas		E

Tabla 4. Listado de variables empleadas en la estimación del riesgo de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana. Se indican en su caso las variables accesorias necesarias para su cálculo, la expresión de cálculo y si la variable en cuestión se ha podido obtener para embalses, lagunas o en ambos casos.

2.4.2.7. Descripción del proceso de estima del riesgo de invasión.

En el proceso de estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en las masas de agua de la cuenca del Guadiana, se han llevado a cabo los siguientes pasos secuenciados:



- **1º. APLICACIÓN DE UN PCA A LAS VARIABLES DE CONEXIÓN CON OTRAS ZONAS INFECTADAS POR MEJILLÓN CEBRA Y DE USO DE LAS MASAS DE AGUA (tiempo de viaje y navegación).**

Las variables “tiempo de viaje (en inverso)” y “navegación” se sometieron a un PCA con el fin de generar otras variables, que el método denomina “componentes”, resultantes de la combinación lineal entre ellas y que aglutinan la información de ambas a la vez. Al aplicar el PCA se utilizó la opción “*varimax*” para maximizar la relación de las variables originales con los componentes generados. Como criterio de restricción se introdujo que sólo se considerarían en análisis posteriores el primer componente extraído del PCA, ya que es el que aglutina la mayor parte de la varianza original de los datos. Dicho componente puede interpretarse como una nueva variable que es directamente proporcional al riesgo de invasión del mejillón cebra en función de las variables “tiempo de viaje (en inverso)” y “navegación”, de tal forma que cuanto mayor sea el valor que adquiera una masa de agua dentro de esta variable, mayor será el riesgo de invasión asociado. Este componente se ha denominado “PC_{CONEXIÓN-USO}”. En el caso de las lagunas no se realizó dicho PCA, ya que la variable “navegación” no estuvo disponible para este tipo de masas de agua, puesto que en las lagunas no está permitida esta actividad. Por tanto, tan sólo se tuvo en cuenta el “tiempo de viaje (inverso)” en este tipo de masas de agua.

- **2º. APLICACIÓN DE UN PCA A LAS VARIABLES DESCRIPTORAS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS (concentración de Ca, conductividad, dureza, pH, oxígeno disuelto y temperatura).**

Las variables descriptoras de las características físico-químicas del agua se sometieron a un PCA para reducir la dimensionalidad de este conjunto de variables y generar otras variables (componentes) que, como en el caso anterior, son combinaciones lineales de las variables originales e incorporan la información de las mismas a la vez. De nuevo, se empleó la opción “*varimax*” para maximizar la relación de las variables originales con los componentes generados.



Como en el caso anterior, se seleccionó únicamente el primer componente extraído por ser el que aglutina el mayor porcentaje de la varianza original de los datos. Dicho componente puede interpretarse como una nueva variable que es directamente proporcional al riesgo de invasión del mejillón cebra en función de las variables físico-químicas. Este componente se ha denominado "PC_{FÍSICO-QUÍMICA}".

- **3º. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE RIESGO EN FUNCIÓN DE LOS VALORES DE PC_{CONEXIÓN-USO} Y PC_{FÍSICO-QUÍMICA}.**

Cada masa de agua analizada posee un valor dentro de los componentes PC_{CONEXIÓN-USO} y PC_{FÍSICO-QUÍMICA} y ese valor se relaciona directamente con el riesgo de invasión del mejillón cebra en función de esos componentes. Esto quiere decir que, para ambos componentes, cuanto mayor es el valor que adquiere una masa de agua determinada, existe un mayor riesgo de que sea invadida por el mejillón cebra. Por tanto, para cada componente se asignó el nivel mayor de riesgo (valor 5) a las masas de agua con los mayores valores incluidos dentro del primer percentil 20. El nivel de riesgo siguiente (valor 4), se asignó a las masas de agua con los siguientes mayores valores incluidos dentro del segundo percentil 20, y así sucesivamente hasta llegar al nivel de riesgo más bajo (valor 1). De esta forma, en el conjunto de masas de agua analizadas, se han considerado 5 niveles de riesgo en función de los valores que adquieren dichas masas dentro de los componentes PC_{CONEXIÓN-USO} y PC_{FÍSICO-QUÍMICA}. Para ambos componentes, el nivel 1 se corresponde con las masas de agua que presentan el menor riesgo a ser invadidas, siendo el nivel 5 el de mayor riesgo. Cabe destacar que estos niveles de riesgo se asocian a los valores máximos y mínimos de las variables, representando, por tanto, un riesgo relativo.

- **4º. COMBINACIÓN DE LOS COMPONENTES PC_{CONEXIÓN-USO} Y PC_{FÍSICO-QUÍMICA}.**

Con la realización de los pasos 1º y 2º se ha reducido la dimensionalidad original de los datos, pasando de ocho variables (dos de conexión-uso y seis físico-químicas) a sólo dos (PC_{CONEXIÓN-USO}



y $PC_{\text{FÍSICO-QUÍMICA}}$). En el segundo paso, se han establecido varios niveles de riesgo de invasión en función de los valores que han adquirido las masas de agua en los componentes $PC_{\text{CONEXIÓN-USO}}$ y $PC_{\text{FÍSICO-QUÍMICA}}$. En este cuarto paso se trata de combinar los componentes $PC_{\text{CONEXIÓN-USO}}$ y $PC_{\text{FÍSICO-QUÍMICA}}$ (ya transformados a niveles de riesgo con valores de 1 a 5) para obtener un único componente que represente el riesgo asociado a la invasión del mejillón cebra integrando la información aportada por ambos componentes originales. Para ello se utilizó la siguiente tabla de doble entrada:

$PC_{\text{CONEXIÓN-USO}}$	5	2	3	3	4	5
	4	2	2	3	4	5
	3	2	2	3	3	3
	2	1	2	2	2	2
	1	1	1	2	2	2
		1	2	3	4	5
		$PC_{\text{FÍSICO-QUÍMICA}}$				

Esta tabla se ha cumplimentado teniendo en cuenta que las variables de "conexión-uso" son las primeras que intervienen en el proceso de invasión y considerando las propias limitaciones/oportunidades de proliferación impuestas por las propiedades físico-químicas del agua.

El manejo de esta tabla se basa en considerar el nivel de riesgo que tiene una determinada masa de agua dentro de cada componente (p. ej. nivel 4 para $PC_{\text{CONEXIÓN-USO}}$ y nivel 3 para $PC_{\text{FÍSICO-QUÍMICA}}$) e identificar el valor correspondiente al cruzar ambos componentes (en este ejemplo dicha masa obtendría un valor 3). Esta operación se ha repetido con cada una de las masas de agua analizadas. El resultado de combinar los niveles de riesgo de $PC_{\text{CONEXIÓN-USO}}$ y $PC_{\text{FÍSICO-QUÍMICA}}$



se ha denominado “COMB_{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA}” y posee valores de 1 a 5 en función del nivel de riesgo resultante.

- **5º. APLICACIÓN DE UN PCA A LAS VARIABLES DESCRIPTORAS DE LAS PROPIEDADES HIDROMORFOLÓGICAS DE LAS MASAS DE AGUA (Tiempo de residencia del agua, oscilación volumétrica relativa, morfología de la cubeta y longitud de costas)**

Como en los pasos 1º y 2º, se aplicó un PCA a las variables descriptoras de las propiedades hidromorfológicas de las masas de agua para reducir la dimensionalidad original (4 variables) y obtener un componente que integre la información de las variables originales mediante combinaciones lineales entre ellas. De nuevo, se empleó la opción “*varimax*” para maximizar la relación de las variables originales con los componentes generados. Como en los pasos anteriores, se seleccionó el primer componente del PCA por ser el que aglutina un mayor porcentaje de la varianza original de los datos. Dicho componente, denominado “PC_{HIDROMORFOLÓGICAS}”, puede interpretarse como una nueva variable que es directamente proporcional al riesgo de invasión del mejillón cebra en función de las variables hidromorfológicas. En el caso de las lagunas no se realizó dicho PCA, ya que no pudo obtenerse información de las variables hidromorfológicas para este tipo de masas de agua.

- **6º. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE RIESGO EN FUNCIÓN DE LOS VALORES DE PC_{HIDROMORFOLÓGICAS}.**

Los niveles de riesgo (5 niveles) se establecieron siguiendo el mismo procedimiento descrito en el paso 3º. De nuevo, las masas de agua con mayor riesgo de ser invadidas por el mejillón cebra en función de los valores de PC_{HIDROMORFOLÓGICAS} presentan un nivel de riesgo 5, mientras que las masas con el riesgo más bajo tienen un nivel 1.



- 7º. **COMBINACIÓN DE COMB_{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA} Y PC_{HIDROMORFOLÓGICAS}. ESTABLECIMIENTO DEL RIESGO DE INVASIÓN FINAL.**

Este es el último paso necesario para obtener la estima del riesgo final. Esta estima se deriva de la combinación de COMB_{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA} y PC_{HIDROMORFOLÓGICAS} (ya transformados a niveles de riesgo con valores de 1 a 5), mediante el empleo de la siguiente tabla de doble entrada:

COM _{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA}	5	5	5	5	5
	4	4	4	4	5
	3	3	3	4	4
	2	2	2	3	3
	1	1	1	2	2
	1	2	3	4	5
	PC _{HIDROMORFOLÓGICAS}				

Esta tabla se ha cumplimentado teniendo en cuenta que las variables hidromorfológicas son complementarias de las físico-químicas y sólo intervienen haciendo aumentar, en cierto grado, las estimas de riesgo representadas por COMB_{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA}.

La combinación resultante al aplicar la tabla anterior se interpreta como la estima de riesgo de invasión del mejillón cebra en las masas de agua analizadas integrando todas las variables (12 variables) que se han tenido en cuenta para definir el proceso de invasión del mejillón cebra. Una vez aplicado todo el proceso (pasos 1º a 7º), cada masa de agua presenta un valor de 1 a 5 en función del riesgo que se le haya asociado (1: riesgo muy bajo; 2: riesgo bajo; 3: moderado; 4: alto; 5: muy alto). En el caso de las lagunas, el riesgo de invasión se derivó de la integración de la variable “tiempo de viaje (inverso)” y las variables descriptoras de las propiedades físico-químicas.



Es necesario resaltar que, para cada masa de agua, el nivel de riesgo de invasión derivado de la aplicación de esta metodología es una estima relativa. Esto se debe a que los niveles de riesgo se han determinado a partir de los valores máximos y mínimos de las variables, representando, por tanto, un riesgo relativo circunscrito exclusivamente al rango de valores que presentan las variables en las masas de agua analizadas.

En el siguiente esquema se sintetiza todo el proceso de estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en masas de agua de la cuenca del Guadiana. Cabe destacar que, en el caso de las lagunas, no se han podido llevar a cabo todos los pasos que se exponen en dicho esquema debido a que algunas variables o conjuntos de variables no estuvieron disponibles para este tipo de masas de agua.



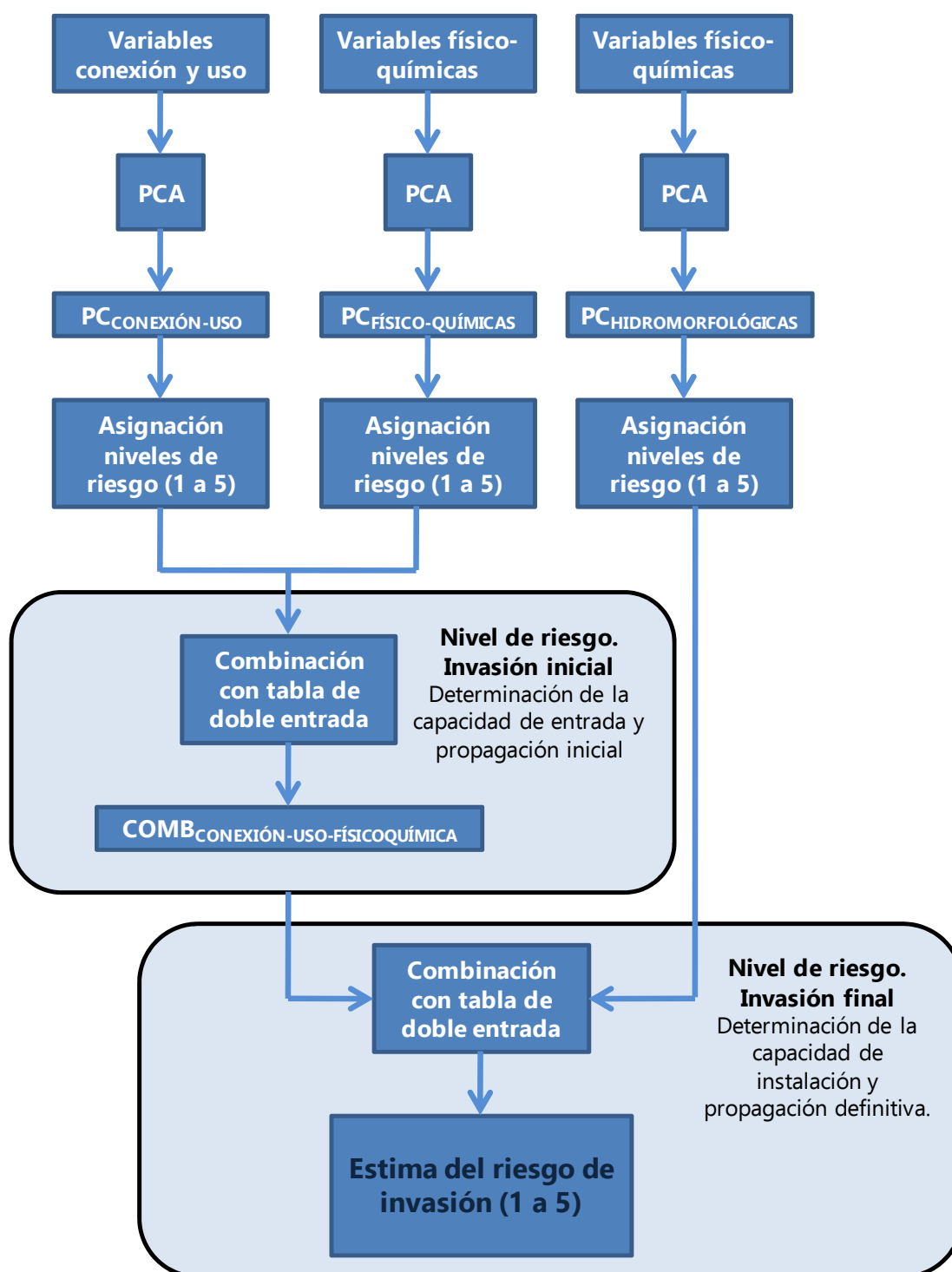


Ilustración 3. Síntesis del procedimiento seguido para la estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en masas de agua de la cuenca del Guadiana.

2.4.3 RESULTADOS.

2.4.3.1. Estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en embalses.

2.4.3.1.1. Resultados de los Análisis de Componentes Principales (PCA).

- **PCA APLICADO A LAS VARIABLES DE CONEXIÓN CON OTRAS ZONAS INFECTADAS POR MEJILLÓN CEBRA Y DE USO DE LAS MASAS DE AGUA (tiempo de viaje y navegación).**

El PCA aplicado a las variables “tiempo de viaje (en inverso)” y “navegación” generó en total dos componentes principales (Tabla 5.). El primero de ellos explicó el 59,0% de la varianza original de los datos. Éste fue el componente que se seleccionó para los análisis posteriores y se denominó “PC_{CONEXIÓN-USO}”. La contribución de cada variable original en el “PC_{CONEXIÓN-USO}” se muestra en la Tabla 6, a partir de los valores de los factores de carga. Los valores de estos factores oscilan entre 0 y 1 en valor absoluto, de tal forma que, cuanto mayor es el valor absoluto del factor de carga asignado a una variable, mayor es su contribución en el componente extraído. En este caso, el PC_{CONEXIÓN-USO} estuvo determinado especialmente por el tiempo de viaje (inverso).

Componentes extraídos en el PCA	Eigenvalue (Autovalor)	% de varianza explicado
COMPONENTE 1 (PC _{CONEXIÓN-USO})	1,2	59,0
COMPONENTE 2	0,8	41,0

Tabla 5. Autovalores y porcentaje de varianza explicado de cada componente extraído del PCA aplicado a las variables “tiempo de viaje (en inverso)” y “navegación”.



Variables	Factores de carga
Tiempo de viaje (en inverso)	0,99
Navegación	0,09

Tabla 6. Contribución de cada variable en el componente 1 (PC_{CONEXIÓN-uso}) medida a través de los factores de carga. Se resaltan la variable de mayor peso (contribución) en el componente.

- **PCA APLICADO A LAS VARIABLES DESCRIPTORAS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS** (concentración de Ca, conductividad, dureza, pH, oxígeno disuelto y temperatura).

El PCA aplicado a las variables descriptoras de las características físico-químicas generó un total de cinco componentes principales (Tabla 7). El primero de ellos explicó el 54,4% de la varianza original de los datos y se denominó "PC_{FÍSICO-QUÍMICA}". Este componente estuvo determinado principalmente por la concentración de calcio, la dureza del agua y la conductividad eléctrica (Tabla 8).

Componentes extraídos en el PCA	Eigenvalue (Autovalor)	% de varianza explicado
COMPONENTE 1 (PC _{FÍSICO-QUÍMICA})	3,3	54,4
COMPONENTE 2	1,3	21,5
COMPONENTE 3	0,9	14,3
COMPONENTE 4	0,6	9,6
COMPONENTE 5	0,0	0,2

Tabla 7. Autovalores y porcentaje de varianza explicado de cada componente extraído del PCA aplicado a las variables "concentración de Ca", "conductividad", "dureza", "pH", "oxígeno disuelto" y "temperatura".



Variables	Factores de carga
Concentración de Ca	0,99
Conductividad	0,97
Dureza	0,99
pH	0,16
Oxígeno disuelto	0,16
Temperatura	-0,10

Tabla 8. Contribución de cada variable en el componente 1 (PC_{FÍSICO-QUÍMICA}) medida a través de los factores de carga. Se resaltan las variables que más peso (contribución) tienen en el componente.

- **PCA APLICADO A LAS VARIABLES DESCRIPTORAS DE LAS PROPIEDADES HIDROMORFOLÓGICAS** (Tiempo de residencia del agua, oscilación volumétrica relativa, morfología de la cubeta y longitud de costas).

El PCA aplicado a las variables descriptoras de las propiedades hidromorfológicas generó un total de cuatro componentes principales (Tabla 9). El primer componente explicó el 52,0% de la varianza original de los datos y se denominó "PC_{HIDROMORFOLÓGICAS}". Este componente estuvo determinado principalmente por la morfología de la cubeta y la longitud de costas (Tabla 10).

Componentes extraídos en el PCA	Eigenvalue (Autovalor)	% de varianza explicado
COMPONENTE 1 (PC _{HIDROMORFOLÓGICAS})	2,1	52,0
COMPONENTE 2	1,0	26,0
COMPONENTE 3	0,8	20,2
COMPONENTE 4	0,1	1,8

Tabla 9. Autovalores y porcentaje de varianza explicado de cada componente extraído del PCA aplicado a las variables "tiempo de residencia del agua", "oscilación volumétrica relativa", "morfología de la cubeta" y "longitud de costas".



Variables	Factores de carga
Tiempo de residencia del agua	0,16
Oscilación volumétrica relativa (inverso)	0,02
Longitud de costas	0,96
Morfología de la cubeta	0,98

Tabla 10. Contribución de cada variable en el componente 1
($PC_{HIDROMORFOLÓGICAS}$) medida a través de los factores de carga. Se resaltan las variables que más peso (contribución) tienen en el componente.

2.4.3.1.2. Niveles de riesgo asignados a los embalses en función de los componentes $PC_{CONEXIÓN-USO}$, $PC_{FÍSICO-QUÍMICA}$ y $PC_{HIDROMORFOLÓGICAS}$.

Los niveles de riesgo asignados a cada embalse analizado teniendo en cuenta los valores obtenidos en los componentes $PC_{CONEXIÓN-USO}$, $PC_{FÍSICO-QUÍMICA}$ y $PC_{HIDROMORFOLÓGICAS}$ se exponen en la tabla siguiente:

Nombre del embalse	Nivel de riesgo	Nivel de riesgo	Nivel de riesgo
	$PC_{CONEXIÓN-USO}$	$PC_{FÍSICO-QUÍMICAS}$	$PC_{HIDROMORFOLÓGICAS}$
VEGA DEL JABALÓN	5	5	4
PEÑARROYA	5	5	3
LA CABEZUELA	5	5	3
PUERTO DE VALLEHERMOSO	5	5	2
LLERENA	5	4	1
LA SERENA	5	2	5
TENTUDÍA	5	1	1
VICARIO	4	5	4
LOS MOLINOS	4	5	3
GARCÍA DE SOLA	4	4	5
GASSET	4	4	4
MONTIJO	4	4	3
BROVALES	4	2	1
ZUJAR	4	1	4
ORELLANA	3	4	5



Nombre del embalse	Nivel de riesgo	Nivel de riesgo	Nivel de riesgo
	PC _{CONEXIÓN-USO}	PC _{FÍSICO-QUÍMICAS}	PC _{HIDROMORFOLÓGICAS}
ALANGE	3	4	5
NOGALES	3	4	1
SIERRA BRAVA	3	3	4
VALUENGO	3	3	3
PROSERPINA	3	3	1
GARGÁLIGAS	3	1	2
EL AGUIJÓN	2	3	2
PIEDRA AGUDA	2	3	1
CORNALVO	2	3	1
CHANZA	2	2	5
CANCHALES	2	2	3
TORRES DE ABRAHAM	2	1	4
RUECAS	2	1	3
CIJARA	1	5	5
ANDEVALO	1	3	5
CANCHO DEL FRESNO	1	2	2
CUBILAR	1	2	2
EL BOQUERÓN	1	2	2
VILLAR DEL REY	1	1	4
HORNO TEJERO	1	1	2

Tabla 11. Niveles de riesgo (1 a 5) asignados a los embalses en función de los valores obtenidos por los mismos en los componentes PC_{CONEXIÓN-USO}, PC_{FÍSICO-QUÍMICA} y PC_{HIDROMORFOLÓGICAS}. A mayor valor mayor riesgo estimado.

El análisis independiente de los tres conjuntos de variables que configuran el método de estima de riesgo aquí aplicado, variables de conexión-uso, físico-químicas e hidromorfológicas, aporta información relevante y adicional a la estima de riesgo relativo final que se presenta más adelante. Así, considerando las variables de conexión-uso (tiempo de viaje y navegación; PC_{CONEXIÓN-USO}) se obtiene que los embalses con mayor riesgo de ser invadidos (niveles 4 y 5) son Vega del Jabalón, Peñarroya, La Cabezuela, Puerto de Vallehermoso, Llerena, La Serena, Tentudía, El Vicario, Los Molinos, García de Sola, Gasset, Montijo, Brovales y Zújar (Tabla 11). Todas estas masas de agua se encuentran a menos de 3,6 horas de viaje en coche de una zona con presencia conocida de mejillón cebra y, además, la navegación es intensa, como en el caso de García de



Sola, Zújar, Vicario y La Serena. En el extremo opuesto, embalses con riesgo relativo más bajo (niveles 1 y 2), están Horno Tejero, Villar del Rey, El Boquerón, Cubilar, Cancho del Fresno, Andévalo, Cíjara, Rucas, Torres de Abraham, Canchales, Chanza, Cornalvo, Piedra Aguda y El Aguijón (Tabla 11). Todos estos embalses están situados a más de 3,9 horas de viaje del foco más cercano con mejillón cebra y la intensidad de la navegación, a excepción del embalse de Cíjara, es baja o moderada.

Con respecto a las variables físico-químicas ($PC_{\text{FÍSICO-QUÍMICA}}$), los embalses que presentan unas características más idóneas para el asentamiento y la proliferación del mejillón cebra son Vicario, Puerto de Vallehermoso, La Cabezuela, Vega del Jabalón, Peñarroya, Cíjara, Los Molinos, Montijo, Llerena, García de Sola, Gasset, Orellana, Alange, Nogales (Tabla 11). En general, estos embalses presentan concentraciones de calcio por encima de los 30 mg/L. Destacan los embalses del Vicario y Puerto de Vallehermoso, donde la concentración de este catión se sitúa en el óptimo para el asentamiento y proliferación del mejillón cebra (>125 mg/L). Por el contrario, los embalses con las características físico-químicas menos adecuadas para el mejillón cebra fueron Tentudía, Torre de Abraham, Rucas, Zújar, Horno Tejero, Villar del Rey, Gargáligas, Cancho del Fresno, Cubilar, Brovales, Boquerón, Chanza, Canchales y La Serena. En ninguno de estos casos, se superaron los 18,5 mg/L de concentración de calcio. Además, en los embalses de Cancho del Fresno, Cubilar y Villar del Rey se obtuvieron valores de este catión muy próximos al límite inferior necesario para la vida del mejillón cebra (6 mg/L).

Por último, los embalses con morfología y comportamiento hidrológico más adecuados para la proliferación del mejillón cebra ($PC_{\text{HIDROMORFOLÓGICAS}}$) son La Serena, Cíjara, Orellana, García de Sola, Alange, Andévalo, Chanza, Villar del Rey, Vicario, Gasset, Torres de Abraham, Zújar, Vega del Jabalón y Sierra Brava (niveles 4 y 5; Tabla 11). Estos embalses presentan, en general, elevados valores de longitud de costas lo que se traduce en una alta disponibilidad de microhábitats y mayores posibilidades de asentamiento de colonias de mejillón cebra, destacando La Serena (530 Km), Cíjara (356 Km), García de Sola (280 Km), Andévalo (230 Km), Orellana (218 Km), Chanza (190



Km) y Alange (180 Km). Además, estas masas de agua poseen una morfología de cubeta adecuada para el asentamiento y proliferación del mejillón cebra (márgenes con poca pendiente). En el extremo opuesto están los embalses de Nogales, Proserpina, Llerena, Piedra Aguda, Tentudía, Cornalvo, Brovales, Cancho del Fresno, Horno Tejero, Puerto de Vallehermoso, El Aguijón, Boquerón, Cubilar y Gargáligas. Estas masas de agua muestran, en general, longitudes de costas más reducidas (en torno a los 11 Km) y, por tanto, menor disponibilidad de microhábitats que ayuden al asentamiento y proliferación del mejillón cebra. Además, poseen unas cubetas de inundación con una morfología poco adecuada para la rápida expansión de la especie (orillas con pendiente). Es necesario aclarar que la morfología de estos embalses no debe entenderse como un factor limitante para el desarrollo de poblaciones de mejillones cebra, sino que estas masas no presentan unas características que ayuden a una rápida proliferación de la especie, hecho que sí podría ocurrir, por ejemplo, en los embalses de La Serena, Cíjara, García de Sola, Andévalo, Orellana, Chanza y/o Alange debido a su morfología, siempre y cuando las propiedades físico-químicas del agua lo permitan.

2.4.3.1.3. Niveles de riesgo asignados a los embalses en función de $COMB_{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA}$

La nueva variable $COMB_{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA}$ surgida de la combinación de los componentes $PC_{CONEXIÓN-USO}$ y $PC_{FÍSICO-QUÍMICA}$ mediante el empleo de la tabla de doble entrada correspondiente, presentó los niveles de riesgo que se muestran en la siguiente tabla:

Nombre del embalse	Nivel de riesgo Inicial
	$COMB_{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA}$
PEÑARROYA	5
PUERTO DE VALLEHERMOSO	5
VICARIO	5
VEGA DEL JABALÓN	5
LOS MOLINOS	5
LA CABEZUELA	5
GASSET	4





Nombre del embalse	Nivel de riesgo Inicial
	COMB _{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA}
GARCÍA DE SOLA	4
MONTIJO	4
NOGALES	4
LLERENA	4
CIJARA	3
ORELLANA	3
ALANGE	3
VALUENGO	3
SIERRA BRAVA	3
PROSERPINA	3
ZUJAR	2
CANCHALES	2
PIEDRA AGUDA	2
TENTUDÍA	2
CHANZA	2
EL AGUIJÓN	2
GARGÁLIGAS	2
LA SERENA	2
ANDEVALO	2
CORNALVO	2
BROVALES	2
TORRE DE ABRAHAM	1
VILLAR DEL REY	1
HORNO TEJERO	1
RUECAS	1
CANCHO DEL FRESNO	1
CUBILAR	1
EL BOQUERÓN	1

Tabla 12. Niveles de riesgo (1 a 5) asignados a los embalses en función de la variable COMB_{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA} surgida de la combinación de los componentes PC_{CONEXIÓN-USO} y PC_{FÍSICO-QUÍMICA}. A mayor valor mayor riesgo estimado.



2.4.3.1.4. Estima final del riesgo de invasión del mejillón cebra en embalses de la cuenca del Guadiana.

La estima final del riesgo de invasión del mejillón cebra en embalses de la cuenca del Guadiana surge de la combinación de COMB_{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA} y PC_{HIDROMORFOLÓGICAS} mediante el empleo de la tabla de doble entrada correspondiente, se presenta a continuación:

NOMBRE DEL EMBALSE	ESTIMA FINAL DE RIESGO	CÓDIGO DE COLOR
PEÑARROYA	5	
PUERTO DE VALLEHERMOSO	5	
VICARIO	5	
GARCÍA DE SOLA	5	
VEGA DEL JABALÓN	5	
LOS MOLINOS	5	
LA CABEZUELA	5	
GASSET	4	
CIJARA	4	
ORELLANA	4	
ALANGE	4	
MONTIJO	4	
NOGALES	4	
SIERRA BRAVA	4	
LLERENA	4	
ZUJAR	3	
VALUENGO	3	
CHANZA	3	
PROSERPINA	3	
LA SERENA	3	
ANDEVALO	3	
TORRE DE ABRAHAM	2	
VILLAR DEL REY	2	
CANCHALES	2	
PIEDRA AGUDA	2	
TENTUDÍA	2	
EL AGUIJÓN	2	
GARGÁLIGAS	2	
CORNALVO	2	



NOMBRE DEL EMBALSE	ESTIMA FINAL DE RIESGO	CÓDIGO DE COLOR
BROVALES	2	
HORNO TEJERO	1	
RUECAS	1	
CANCHO DEL FRESNO	1	
CUBILAR	1	
EL BOQUERÓN	1	

Tabla 13. Estima final del riesgo de invasión del mejillón cebra en embalses en función de la combinación de COMBCONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA y PC_{HIDROMORFOLÓGICAS}. Se incluye un código de color para cada nivel de riesgo estimado (rojo: muy alto; naranja: alto; amarillo: moderado; verde: bajo; azul: muy bajo). Los embalses aparecen ordenados según el nivel de riesgo de mayor a menor.

A modo de aclaración, se muestra en la siguiente tabla una comparativa de los datos de riesgo inicial y final de invasión del mejillón cebra obtenidos en los embalses estudiados. En rojo, aparecen señalados aquellos embalses en los que se detecta un incremento en el valor de la estima del riesgo final respecto del inicial; en todos los casos, no se ha producido un cambio significativo, registrándose como máximo un aumento en un nivel.

NOMBRE DEL EMBALSE	ESTIMA INICIAL DE RIESGO	ESTIMA FINAL DE RIESGO
PEÑARROYA	5	5
PUERTO DE VALLEHERMOSO	5	5
VICARIO	5	5
GARCÍA DE SOLA	4	5
VEGA DEL JABALÓN	5	5
LOS MOLINOS	5	5
LA CABEZUELA	5	5
GASSET	4	4
CIJARA	3	4
ORELLANA	3	4
ALANGE	3	4
MONTIJO	4	4
NOGALES	4	4
SIERRA BRAVA	3	4
LLERENA	4	4
ZUJAR	2	3
VALUENGO	3	3



NOMBRE DEL EMBALSE	ESTIMA INICIAL DE RIESGO	ESTIMA FINAL DE RIESGO
CHANZA	2	3
PROSERPINA	3	3
LA SERENA	2	3
ANDEVALO	2	3
TORRE DE ABRAHAM	1	2
VILLAR DEL REY	1	2
CANCHALES	2	2
PIEDRA AGUDA	2	2
TENTUDÍA	2	2
EL AGUIJÓN	2	2
GARGÁLIGAS	2	2
CORNALVO	2	2
BROVALES	2	2
HORNO TEJERO	1	1
RUECAS	1	1
CANCHO DEL FRESNO	1	1
CUBILAR	1	1
EL BOQUERÓN	1	1

Tabla 14. Comparativa del riesgo inicial y final de invasión del mejillón cebra en embalses.

La aplicación de la metodología aquí propuesta, junto a los resultados obtenidos, debe entenderse como un ejercicio de análisis general del riesgo relativo de invasión del mejillón cebra en masas de agua pertenecientes a la cuenca del Guadiana. En el contexto de los embalses analizados (n=35 embalses), el 42,8% han sido identificados como masas de agua con un riesgo relativo alto o muy alto (niveles 4 y 5), frente a un 40% que han presentado un riesgo bajo o muy bajo (niveles 2 y 1, respectivamente). Los embalses que alcanzaron un riesgo relativo más elevado fueron 15: Peñarroya, Puerto de Vallehermoso, Vicario, García de Sola, Vega del Jabalón, Los Molinos, La Cabezuela, Llerena, Sierra Brava, Nogales, Montijo, Alange, Orellana, Cijara y Gasset (Tabla 13). Por el contrario, 14 embalses presentaron un riesgo relativo muy bajo o bajo (Tabla 13): Horno Tejero, Ruecas, Cancho del Fresno, Cubilar, Boquerón, Torre de Abraham, Villar del Rey, Canchales, Piedra Aguda, Tentudía, El Aguijón, Gargáligas, Cornalvo y Brovales. Por último, 6



embalses (17,2%) mostraron un riesgo relativo moderado: Zújar, Valuengo, Chanza, Proserpina, La Serena y Andévalo.

En el Bloque 5. Anejo cartográfico, se incluye un Mapa del riesgo de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana, en el que se clasifican los embalses estudiados en función los niveles de riesgo obtenidos.

Es necesario resaltar que los resultados obtenidos son, en principio, coherentes con lo que cabría esperar, quedando destacados los embalses con más riesgo relativo de ser invadidos por el mejillón cebra, así como aquellos donde actualmente la probabilidad de invasión es muy baja (nivel 1), de entre todos los analizados. Es preciso tener en cuenta que hay variables que pueden experimentar cambios en el tiempo hacia condiciones más o menos favorables para el mejillón cebra (por ejemplo la navegación, la cercanía a nuevos focos con presencia de mejillón cebra, etc.) y otras pueden variar directamente en función de un hipotético asentamiento y avance en la dispersión de la especie (por ejemplo, algunas características físico-químicas del agua, como el pH o la concentración de Ca). Por otro lado, hay que tener en cuenta que pueden darse situaciones en un futuro donde las condiciones actuales pueden evolucionar hacia niveles más favorables para el mejillón cebra. Por ejemplo, las sequías prolongadas que, como consecuencia del cambio climático pueden darse con más frecuencia e intensidad en el futuro, harían aumentar la concentración de calcio en muchas masas de agua (por aumento de la evaporación), incrementándose así el riesgo de invasión del mejillón cebra incluso en zonas donde actualmente los niveles de calcio disuelto son bajos. Por ello, será interesante una aplicación periódica de esta metodología de estima de riesgo de invasión. De esta forma, se podrá analizar el escenario que ofrecerá la cuenca del Guadiana ante el mejillón cebra en función del tiempo.

Paralelamente, en el caso de que existan oportunidades de aplicar este método de estima de riesgo de invasión en situaciones futuras, será conveniente incluir variables que no han podido tenerse en cuenta en este primer análisis. En este sentido, será interesante incorporar



determinadas variables que pueden ayudar a describir de forma más completa los usos a las que están sujetas las masas de agua, así como, por ejemplo, variables relacionadas con el estado trófico de las mismas (clorofila a, fósforo total o profundidad del disco de Secchi), la morfología de la cubeta o su comportamiento hidrológico, además de incluir en estudios posteriores otros embalses y masas de agua no analizados en esta primera fase de trabajo.

2.4.3.2. Estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en lagunas.

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, el riesgo de invasión en el caso de las lagunas se derivó de la integración de la variable “tiempo de viaje (inverso)” y las variables descriptoras de las propiedades físico-químicas, ya que no se pudo obtener información del resto de variables. Esto ha determinado que el proceso de estima de riesgo en estas masas de agua sea más simple que en el caso de los embalses, quedando reflejado este hecho en la exposición de los resultados que aquí se presentan.

El PCA aplicado a las variables descriptoras de las características físico-químicas generó un total de cuatro componentes principales (Tabla 15). El primero de ellos explicó el 78,6% de la varianza original de los datos y se denominó “PC_{LAGUNAS FÍSICO-QUÍMICA}”. Todas las variables físico-químicas, a excepción del oxígeno disuelto, tuvieron una gran contribución en la generación de este componente (Tabla 16).

Componentes extraídos en el PCA	Eigenvalue (Autovalor)	% de varianza explicado
COMPONENTE 1 (PC _{LAGUNAS FÍSICO-QUÍMICA})	4,7	78,6
COMPONENTE 2	1,1	18,4
COMPONENTE 3	0,1	2,2
COMPONENTE 4	0,0	0,7

Tabla 15. Autovalores y porcentaje de varianza explicado de cada componente extraído del PCA aplicado a las variables “concentración de Ca”, “conductividad”, “dureza”, “pH”, “oxígeno disuelto” y “temperatura”.



Variables	Factores de carga
Concentración de Ca	0,84
Conductividad	0,94
Dureza	0,95
pH	0,99
Oxígeno disuelto	-0,07
Temperatura	0,97

Tabla 16. Contribución de cada variable en el componente 1 (PCLAGUNAS FÍSICO-QUÍMICA) medida a través de los factores de carga. Se resaltan las variables que más peso (contribución) tienen en el componente.

La integración de estas variables puso de manifiesto que todas las lagunas analizadas presentan un riesgo relativo elevado, comparable o incluso algo superior al del grupo de embalses con mayor riesgo, debiendo ser incluidas, por tanto, en el nivel 5 (riesgo relativo muy alto; Tabla 17). Todas estas masas de agua se encuentran a menos de 2,9 horas de viaje en coche del foco más cercano con presencia de mejillón cebra. De hecho, en conjunto y considerando tanto embalses como lagunas, éstas constituyen el grupo de masas de agua más próximo a cualquier foco con presencia constatada de mejillón cebra conocido hasta el momento (promedio embalses= 3,6 h de viaje; promedio lagunas= 2,3 h de viaje). Además, ocho de las diez lagunas analizadas, pertenecientes al complejo Lagunas de Ruidera, están a 2,2 h de viaje del núcleo más próximo con mejillón cebra.

Tomando el calcio como uno de los factores más limitantes para el asentamiento y proliferación del mejillón cebra, las lagunas analizadas presentan una concentración de este catión superior a la de cualquier embalse incluido en el estudio (>90 mg/L), a excepción de los embalses del Vicario (222,7 mg/L) y Puerto de Vallehermoso (151,1 mg/L). Por su parte, dos de las lagunas analizadas, la laguna de Villafranca y Tablas de Daimiel (humedal que se ha considerado como una sola masa de agua), han presentado la mayor concentración de calcio de todas las masas de agua analizadas (636,1 y 332,4 mg/L, respectivamente), incluyendo embalses y lagunas.



Por todo lo anterior, es posible afirmar que **estas lagunas son las masas de agua con el mayor riesgo de ser invadidas por el mejillón cebra de todas las incluidas en el presente estudio sobre la cuenca del Guadiana**, debido a su cercanía a focos con presencia de mejillón cebra y a sus características físico-químicas, en especial la concentración de calcio.

Nombre de la masa de agua	Estima final de riesgo	Código de color
LAGUNA DEL REY	5	
LAGUNA LA COLGADA	5	
LAGUNAS BAJAS DE RUIDERA	5	
LAGUNAS LA TAZA Y REDONDILLA	5	
LAGUNA LA SALVADORA	5	
LAGUNA LA TOMILLA	5	
LAGUNA SAN PEDRO	5	
LAGUNA SANTOS MORCILLO	5	
LAGUNA VILLAFRANCA (GRANDE Y CHICA)	5	
TABLAS DE DAIMIEL	5	

Tabla 17. Estima final del riesgo de invasión (1 a 5) del mejillón cebra en laguna de la cuenca del Guadiana en función de la integración de las variables “tiempo de viaje (inverso)” y $PC_{HIDROMORFOLÓGICAS}$. Color rojo: riesgo muy alto.

En el Bloque 5. Anejo Cartográfico, se incluye un Mapa del riesgo de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana, en el que se clasifican las masas de agua analizadas en función los niveles de riesgo obtenidos, entre las que se encuentran las citadas lagunas. Tal y como se puede observar en la cartografía, existen muchas otras pequeñas lagunas que no se han incluido en este estudio, puesto que se han seleccionado aquellas que se han considerado más importantes y con mayor riesgo de invasión.





2.4.3.3. Consideraciones sobre el riesgo absoluto al que están sujetas las masas de agua analizadas frente a la posible invasión del mejillón cebra.

En apartados anteriores se ha comentado que la metodología aplicada en este estudio ofrece una estima del *riesgo relativo* de invasión del mejillón cebra en masas de agua de la cuenca del Guadiana. Esto se debe a que los niveles de riesgo se han determinado a partir de los valores máximos y mínimos de las variables, representando, por tanto, un riesgo relativo circunscrito exclusivamente al rango de valores que presentan las variables en las masas de agua analizadas.

La metodología aplicada permite diferenciar con precisión las masas de agua sujetas a un riesgo relativo elevado de aquellas donde este riesgo es poco importante. Este resultado es de gran utilidad para poder diseñar estrategias de prevención y control de posibles eventos de invasión protagonizados por este bivalvo, pues permite identificar de forma precisa qué masas de agua necesitan un mayor aporte de recursos para evitar o controlar estos fenómenos de invasión. No obstante, puede ser de interés hacer un ejercicio de reflexión sobre el riesgo absoluto al que están sujetas las masas de agua de la cuenca del Guadiana incluidas en este estudio. De esta forma podrá valorarse la situación de riesgo de la cuenca del Guadiana en el contexto ibérico.

Para explicar el riesgo absoluto es necesario tener en cuenta dos elementos clave que están muy relacionados entre sí; la historia del proceso de invasión del mejillón cebra en la Península Ibérica y el tipo de litología (silíceo y/o calcáreo) sobre la que se asienta las cuencas fluviales ibéricas. Aunque existen datos de presencia del mejillón cebra en la Península Ibérica de finales del siglos XIX y XX, se considera confirmada su presencia a partir de 2001 en el río Ebro (Durán y Anadón, 2008). A partir de ese momento comienza su expansión a gran parte de la cuenca de dicho río y de otras zonas peninsulares. En 2005 se detecta por primera vez en la cuenca del Júcar, concretamente en el embalse de Sitjar (río Mijares, www.chj.es). También se confirmó su presencia en la cuenca del Segura (Palau, 2009). En 2009 se detecta su presencia en el embalse granadino de los Bermejales, que está conectado con el pantano de Iznájar, en la margen izquierda de la cuenca del Guadalquivir (www.juntadeandalucia.es). En 2011 se detecta en la vertiente cantábrica



en el Embalse de Undúrraga de la cuenca del río Arratia (Vizcaya) (www.chcantabrico.es). En ese mismo año, la Agencia Catalana del Agua confirmó por primera vez la presencia del mejillón cebra en las cuencas internas de Cataluña, concretamente en el embalse de la Baells (río Llobregat). En 2014 técnicos de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía detectan varios ejemplares de mejillón cebra en el embalse Conde del Guadalhorce (río Guadalhorce), y recientemente se ha confirmado su presencia en el embalse de Zahara-El Gastor (cuenca del Guadalete).

En todo este proceso expansivo sería esperable que el mejillón cebra hubiera colonizado otras cuencas ibéricas. Sin embargo, todas las zonas con presencia actual de la especie pertenecen exclusivamente a la Iberia calcárea, pudiendo afirmarse que, en el momento actual, las cuencas ibéricas libres de mejillón cebra son las que discurren en su mayor parte por la porción silíceo de la Península (Miño-Sil, Duero, Tajo y la mayor parte del Guadiana).



Ilustración 4. Historia del proceso de invasión del mejillón cebra en la Península Ibérica.



Este hecho pone de manifiesto que existe una diferencia sustancial entre cuencas fluviales respecto al riesgo a ser invadidas por el mejillón cebra en función del tipo de litología por la que discurren, pues aquéllas que lo hacen por zonas calcáreas poseen un mayor riesgo absoluto que las que drenan terrenos silíceos. Es evidente que las cuencas de zonas calcáreas poseen unas concentraciones de calcio en sus aguas y, por ende, de otros parámetros asociados (conductividad, pH y dureza) que promueven un mejor asentamiento y proliferación del mejillón cebra en comparación con las cuencas propias de zonas silíceas. Además, esta diferencia en el riesgo de invasión puede quedar patente incluso dentro de una misma cuenca, donde puede existir una zonificación del riesgo de invasión dependiendo de la litología sobre la que se sitúen las diferentes masas de agua. Esto es posible observarlo en la cuenca del Guadiana, donde el 88,2% de las masas clasificadas de mayor riesgo (nivel 5) están en la porción calcárea de la cuenca y sólo el 11,8% de estas masas se localizan en la zona silícea (Tabla 18). Por el contrario, el 100% de las masas con menor riesgo y riesgo moderado (niveles 1, 2 y 3) están situadas en la parte silícea de la cuenca (Tabla 18).

Nivel de riesgo	% Silíceo	% Calcáreo	Nº total
1	100 (5)	0	5
2	100 (9)	0	9
3	100 (6)	0	6
4	87,5 (7)	12,5 (1)	8
5	11,8 (2)	88,2 (15)	17
Total	29	16	45

Tabla 18. Porcentajes de masas de agua de cada nivel de riesgo incluidas en terrenos silíceos y calcáreos de la cuenca del Guadiana. Entre paréntesis se indica el número de masas de agua de cada nivel de riesgo.

La cuenca del Guadiana discurre en su mayor parte por terrenos silíceos (70-80% de la superficie total de la cuenca). De hecho, el 64,4% del total de masas de agua analizadas en este estudio (n=45) se localizan sobre terrenos con litología silícea, mientras que el 35,6% están en zonas arcilloso-calcáreas. Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, es posible afirmar que, en el contexto de la Península Ibérica, el riesgo absoluto al que están expuestas la gran mayoría de las



masas de agua de la cuenca del Guadiana a ser colonizadas por el mejillón cebra es bajo-moderado. Tan sólo las masas de agua localizadas en la porción calcárea de la cuenca deberían considerarse que están expuestas a un riesgo alto, especialmente las lagunas analizadas (lagunas de Ruidera, laguna de Villafranca y las lagunas del Parque Natural de las Tablas de Daimiel) y los embalses del Vicario, Peñarroya, Puerto de Vallehermoso, Vega del Jabalón y La Cabezuela. Estas masas de agua son, además, las que se encuentran más próximas a zonas con presencia de mejillón cebra (embalse de Embarcaderos, cuenca del Júcar). A este grupo de embalses con alto riesgo absoluto habría que añadir el sistema Cijara-García de Sola-Orellana que, aun estando localizados en la zona silícica de la cuenca, deben considerarse de riesgo elevado. La intensa navegación que se practica en las aguas de estos embalses y la dificultad de actuación frente a un posible evento de invasión derivada de su gran tamaño hacen necesario que sean consideradas de alto riesgo.

2.4.4. CONCLUSIONES.

A continuación, y a modo de síntesis, se presentan las principales conclusiones derivadas del estudio sobre estima de riesgo de invasión del mejillón cebra en las masas de agua de la cuenca del Guadiana:

- La metodología empleada para estimar el riesgo de invasión del mejillón cebra en las masas de agua de la cuenca del Guadiana, basada en el empleo de Análisis de Componentes Principales, presenta la ventaja de no utilizar ponderaciones subjetivas de las variables relacionadas con el riesgo de invasión, sino que se fundamenta en criterios objetivos derivados de la aplicación de técnicas estadísticas.
- La aplicación de la metodología aquí propuesta, junto a los resultados obtenidos, debe entenderse como un ejercicio de **análisis general del riesgo relativo de invasión del mejillón cebra en masas de agua pertenecientes a la cuenca del Guadiana.**



- La metodología aplicada permite diferenciar con precisión las masas de agua sujetas a un riesgo relativo elevado de aquellas donde este riesgo es poco importante. Este resultado es de gran utilidad para poder diseñar estrategias de prevención y control de posibles eventos de invasión protagonizados por este bivalvo, pues permite identificar de forma precisa qué masas de agua necesitan un mayor aporte de recursos para evitar o controlar estos fenómenos de invasión.
- En el contexto de los embalses analizados (n=35 embalses), el 42,8% han sido identificados como masas de agua con un riesgo relativo alto o muy alto (niveles 4 y 5), frente a un 40% que han presentado un riesgo bajo o muy bajo (niveles 2 y 1, respectivamente).
- Los embalses que alcanzaron un riesgo relativo más elevado fueron 15: Peñarroya, Puerto de Vallehermoso, Vicario, García de Sola, Vega del Jabalón, Los Molinos, La Cabezuela, Llerena, Sierra Brava, Nogales, Montijo, Alange, Orellana, Cijara y Gasset. Por el contrario, 14 embalses presentaron un riesgo relativo muy bajo o bajo: Horno Tejero, Rucas, Cancho del Fresno, Cubilar, Boquerón, Torres de Abraham, Villar del Rey, Canchales, Piedra Aguda, Tentudía, El Agujón, Gargáligas, Cornalvo y Brovales. Por último, 6 embalses (17,2%) mostraron un riesgo relativo moderado; Zújar, Valuengo, Chanza, Proserpina, La Serena y Andévalo.
- En la cuenca del Guadiana se observa una zonificación del riesgo de invasión dependiendo de la litología sobre la que se sitúan las diferentes masas de agua. Así, el 88,2% de las masas clasificadas de mayor riesgo (nivel 5) están en la porción calcárea de la cuenca y sólo el 11,8% de estas masas se localizan en la zona silíceo. Por el contrario, el 100% de las masas con menor riesgo y riesgo moderado (niveles 1, 2 y 3) están situadas en la parte silíceo de la cuenca.
- Partiendo de que se prevé un mayor riesgo de invasión inicial en embalses debido fundamentalmente a factores como la navegación, las lagunas son las masas de agua con el mayor riesgo de invasión final de todas las incluidas en el presente estudio sobre la



cuenca del Guadiana, debido a su cercanía a focos con presencia de mejillón cebra y a sus características físico-químicas (elevada concentración de calcio).

- Es necesario resaltar que los resultados obtenidos son, en principio, coherentes con lo que cabría esperar, quedando destacadas las masas de agua con más riesgo relativo de ser invadidas por el mejillón cebra, así como aquellas donde la probabilidad de invasión es actualmente muy baja.
- Es interesante una aplicación periódica de esta metodología de estima de riesgo de invasión. De esta forma, se podrá analizar el escenario que ofrecerá la cuenca del Guadiana ante el mejillón cebra en situaciones futuras.
- En el contexto de la Península Ibérica existe una diferencia sustancial entre cuencas fluviales respecto al riesgo a ser invadidas por el mejillón cebra en función del tipo de litología por la que discurren, pues aquéllas que lo hacen por zonas calcáreas poseen un mayor **riesgo absoluto** que las que drenan terrenos silíceos.
- En el contexto de la Península Ibérica, el **riesgo absoluto** al que están expuestas la gran mayoría de las masas de agua de la cuenca del Guadiana a ser colonizadas por el mejillón cebra debe considerarse bajo-moderado. Tan sólo las masas de agua localizadas en la porción calcárea de la cuenca deberían considerarse que están expuestas a un riesgo alto, especialmente las lagunas analizadas (lagunas de Ruidera, laguna de Villafranca y complejo de las Tablas de Daimiel) y los embalses del Vicario, Peñarroya, Puerto de Vallehermoso, Vega del Jabalón y La Cabezuela. A este grupo de embalses con alto riesgo absoluto habría que añadir el sistema Cijara-García de Sola-Orellana.



2.5. ESTIMA DEL RIESGO DE PROPAGACIÓN.

2.5.1. INTRODUCCIÓN.

El mejillón cebra posee una asombrosa capacidad de propagación y de colonización, cualidad por la que se ha catalogado como una de las cien especies exóticas invasoras más dañinas del mundo (IUCN, 2000). Tal y como se describe en otros apartados de este documento, existen numerosos vectores de dispersión del mejillón cebra, entre los que se encuentra la navegación recreativa, la pesca deportiva desde embarcación, los trasvases de agua a pequeña y gran escala y cualquier actividad que implique movimiento de aguas de una masa a otra, entre otros.

Independientemente de estos vectores de carácter externo, el mejillón cebra puede contaminar nuevas zonas a través de la propagación natural de sus fases larvarias. La existencia de una fase planctónica en el ciclo vital de esta especie, propicia que el mejillón cebra pueda desplazarse a través de la propia masa de agua a favor de la corriente. Es por ello que, en caso de producirse un fenómeno de invasión de mejillón cebra en una masa de agua de la cuenca, existe la posibilidad de que la especie se propague, sin necesidad de intervención de agentes externos, hacia otras zonas no afectadas. Por este motivo, además de obtener una estimación del riesgo ante el mejillón cebra de las masas de agua de la cuenca, resulta fundamental conocer el posible alcance de la propagación de esta especie en caso de detectarse en la zona de estudio.

2.5.2. DEFINICIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO.

Teniendo en cuenta el hecho de que sin poblaciones de adultos aguas arriba emitiendo larvas cada año, el mejillón cebra no podría prosperar en un nuevo hábitat (Stoeckel, et al., 2004), una población de mejillón cebra liberada en un cauce viviría exclusivamente lo que duraría el período de vida de los adultos (entre dos y tres años). Por ello, si no existen embalses en los cursos de los



ríos donde el mejillón pueda establecer poblaciones estables, la especie no tendría posibilidades de asentarse en muchos de los ríos del mundo (Mackie, 1999). Es decir, el mejillón cebrá nunca tendría éxito en los ríos que no estuvieran regulados.

A tenor de lo descrito, el estudio de la posible propagación del mejillón cebrá en la cuenca del río Guadiana que se presenta en este documento se ha restringido exclusivamente a cauces regulados. El objetivo fundamental del estudio es identificar las masas de agua que podrían verse afectadas por invasiones localizadas en embalses situados aguas arriba, así como obtener información acerca del tiempo que tardaría en producirse dicha afección. Esta información es de gran utilidad para la planificación de actuaciones en caso de detectarse una situación de emergencia.

2.5.3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA.

Para el estudio del riesgo de propagación del mejillón cebrá en la cuenca del río Guadiana, se ha considerado la expansión a través de un curso de agua de esta especie en su fase planctónica de su ciclo vital (fase larvaria), bajo el supuesto de que en ríos con corriente, las larvas son arrastradas aguas abajo de las poblaciones parentales, es decir, desde embalses localizados aguas arriba que pudieran verse afectados.

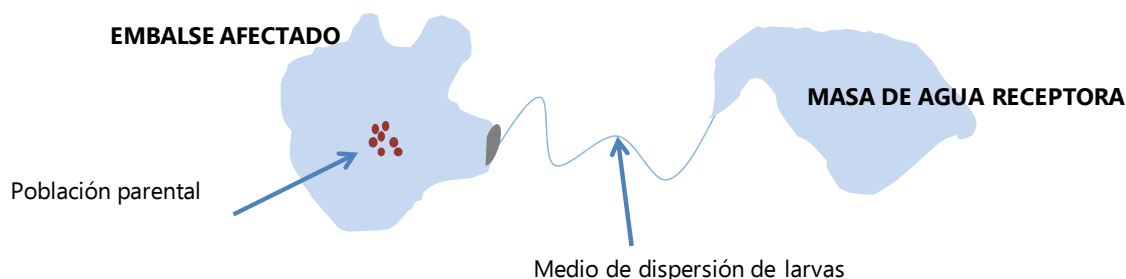


Ilustración 5. Esquema de la hipótesis de partida para el estudio de la propagación del mejillón cebrá.



Si se calcula un período de diez días de duración del estado planctónico de las larvas antes de su fijación (en realidad este período puede durar entre diez y treinta días dependiendo de las poblaciones), y un río con baja corriente (por ejemplo 0,1 m/s), estas larvas alcanzarían en dicho período una zona 86,4 km aguas abajo del punto donde han sido emitidas ($0,1 \text{ m/s} \times 1 \text{ km}/1000 \text{ m} \times 10 \text{ días} \times 60 \text{ s/min} \times 60 \text{ min/hora} \times 24 \text{ horas/día} = 8,64 \text{ km/día}$) (Mackie, 1999).

Para la estimación del alcance de la propagación natural del mejillón cebra en la cuenca del río Guadiana, se ha tomado como hipótesis de partida la situación más desfavorable, correspondiéndose con un episodio de desembalse. En este contexto, se ha empleado como dato de velocidad de la corriente, aquella que se registra en cauces regulados en el período transcurrido en el desembalse entre dos presas. Bajo este planteamiento, y con objeto de obtener una aproximación y una visión generalizada para la totalidad del ámbito de estudio, se ha manejado una velocidad media para todos los cauces de la cuenca, obtenida a partir de datos recopilados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana respecto a desembalses efectuados. De este modo, para una velocidad estimada de 0,78 m/s, las larvas recorrerían una distancia media de 67,52 kilómetros cada día. Teniendo en cuenta una duración del período de fijación del mejillón cebra de 20 días (dato variable en función del autor), éste podría desplazarse en un curso de agua durante su fase larvaria una distancia de 1.350,32 kilómetros.

A partir de los datos de velocidad del agua en situación de desembalse, se ha realizado una simulación del tiempo de llegada de las larvas de mejillón cebra desde cada uno de los embalses de la cuenca hasta el embalse más próximo situado aguas abajo. De este modo, se ofrece una visión orientativa del tiempo que tardaría en llegar el mejillón cebra desde un embalse infestado hasta el embalse más próximo situado aguas abajo.

Lógicamente se tiene consciencia de que la realidad sería muy diferente a esta simulación en cuanto a los tiempos de traslado, ya que dependerá de los caudales registrados en el momento de presencia de larvas; no obstante, esta simulación sí permite identificar cualitativamente cómo y





dónde se producirá la propagación y cuáles serán las primeras masas de agua afectadas, facilitando la toma de decisiones de gestión que paralicen o ralenticen la extensión de larvas.

2.5.4. RESULTADOS OBTENIDOS.

En la tabla que se indica a continuación, se muestra el tiempo de alcance del mejillón cebra desde un embalse afectado hasta la masa de agua más próxima situada aguas abajo.

TIEMPO DE ALCANCE DEL MEJILLÓN CEBRA ENTRE MASAS DE AGUA EN SITUACIÓN DE DESEMBALSE				
PUNTO INICIAL	PUNTO FINAL	TIEMPO DE AFECCIÓN		
		(DIAS)	HORAS	MINUTOS
VALDECABALLEROS	GARCÍA DE SOLA	0,0004	0,0103	0,6185
GARCÍA DE SOLA	ORELLANA	0,0006	0,0153	0,9171
CÍJARA	GARCÍA DE SOLA	0,0020	0,0491	2,9433
PROSERPINA	MONTIJO	0,0778	1,8673	112,0374
GASSET	EL VICARIO	0,0943	2,2626	135,7545
TABLAS DE DAIMIEL	EL VICARIO	0,1239	2,9746	178,4750
ALANGE	MONTIJO	0,2231	5,3545	321,2678
CORNALVO	MONTIJO	0,2768	6,6427	398,5615
PIEDRA AGUDA	ALQUEVA	0,2775	6,6598	399,5853
LOS MOLINOS	ALANGE	0,2916	6,9982	419,8898
CANCHO DEL FRESNO	RUECAS	0,3201	7,6832	460,9894
HORNO TEJERO	LOS CANCHALES	0,3675	8,8189	529,1332
BOQUERÓN	LOS CANCHALES	0,3824	9,1765	550,5895
VILLAR DEL REY-PEÑA DEL ÁGUILA	ALQUEVA	0,7441	17,8582	1071,4900
MARISANCHEZ-LA CABEZUELA	LA VEGA DEL JABALÓN	0,7704	18,4902	1109,4117
LLERENA	LOS MOLINOS	0,7795	18,7085	1122,5073
EL AGUIJÓN	ALQUEVA	0,8380	20,1126	1206,7540





TIEMPO DE ALCANCE DEL MEJILLÓN CEBRA ENTRE MASAS DE AGUA EN SITUACIÓN DE DESEMBALSE

PUNTO INICIAL	PUNTO FINAL	TIEMPO DE AFECCIÓN		
		(DIAS)	HORAS	MINUTOS
TENTUDIA	VALUENGO	0,9617	23,0818	1384,9091
PUERTO DE VALLEHERMOSO	TABLAS DE DAIMIEL	1,0349	24,8386	1490,3134
LOS GANCHALES	ALQUEVA	1,1149	26,7577	1605,4648
MONTIJO	ALQUEVA	1,1843	28,4235	1705,4091
NOGALES	ALQUEVA	1,2182	29,2375	1754,2508
PEÑARROYA	TABLAS DE DAIMIEL	1,2446	29,8710	1792,2578
SIERRA BRAVA	MONTIJO	1,4853	35,6467	2138,7997
ORELLANA	MONTIJO	1,5000	36,0000	2160,0000
ZUJAR	MONTIJO	1,6127	38,7037	2322,2229
RUECAS	MONTIJO	1,8300	43,9195	2635,1727
EL VICARIO	CÍJARA	1,8484	44,3621	2661,7264
GARGALIGAS	MONTIJO	1,8666	44,7979	2687,8749
CUBILAR	MONTIJO	1,8905	45,3727	2722,3627
TORRE DE ABRAHAM	CÍJARA	1,8969	45,5263	2731,5765
LA VEGA DEL JABALÓN	CÍJARA	2,0228	48,5467	2912,8029

Tabla 19. Tiempo de alcance del mejillón cebra entra masas de agua en situación de desembalse; tiempo de llegada de larvas de mejillón cebra desde un embalse afectado hasta la masa de agua más cercana localizada aguas abajo.

Tal y como se observa en la tabla anterior, el plazo máximo aproximado de afección entre dos embalses se sitúa en torno a los dos días, correspondiéndose con el recorrido entre los embalses “La Vega del Jabalón” y Cíjara”.

En la siguiente imagen se muestra la distancia hipotética que recorrerían las larvas de mejillón cebra por hora, en el trayecto mencionado:



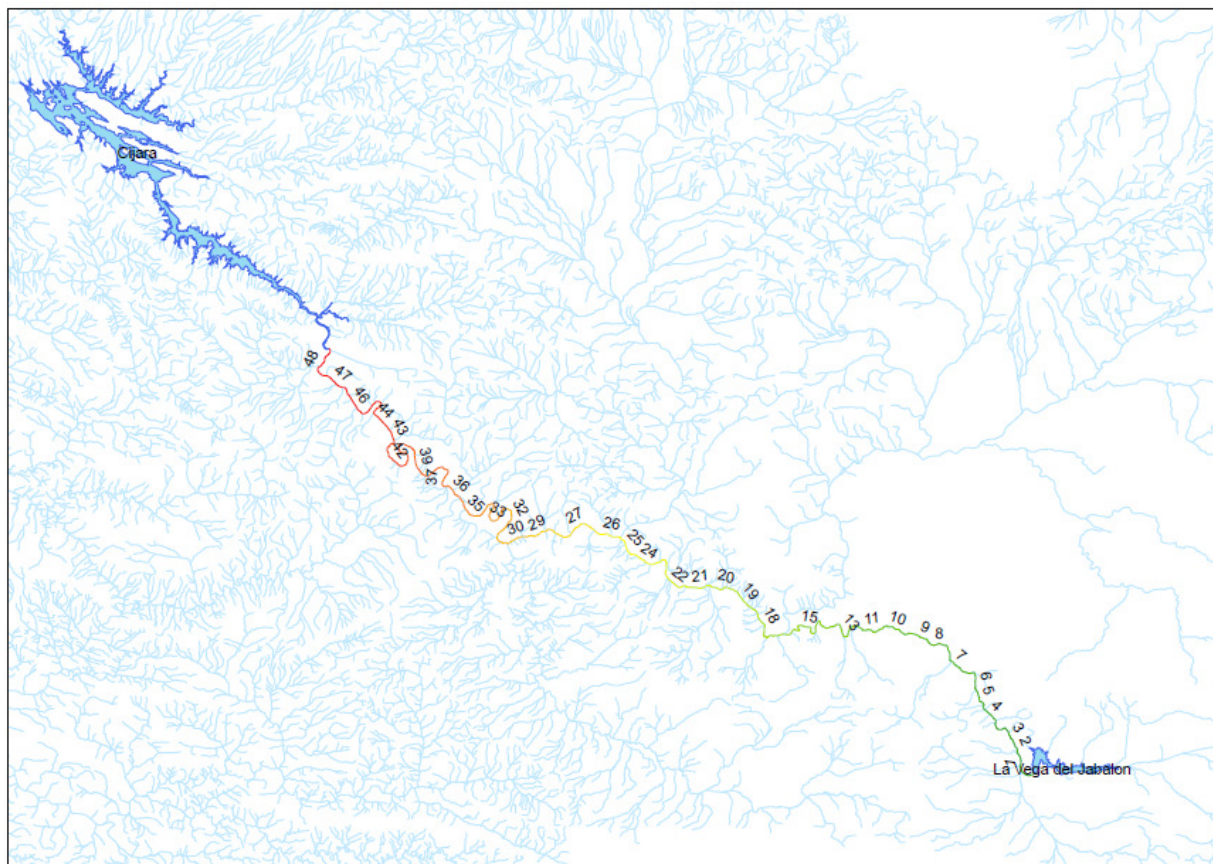


Ilustración 6. Distancia hipotética que recorrerían las larvas de mejillón cebra por hora en el tramo del cauce comprendido entre los embalses de La Vega del Jabalón y Cijara.

Debido a la escasa distancia entre determinados embalses, como es el caso de Proserpina y Montijo, los tiempos de conexión serían prácticamente inmediatos (menos de dos horas):



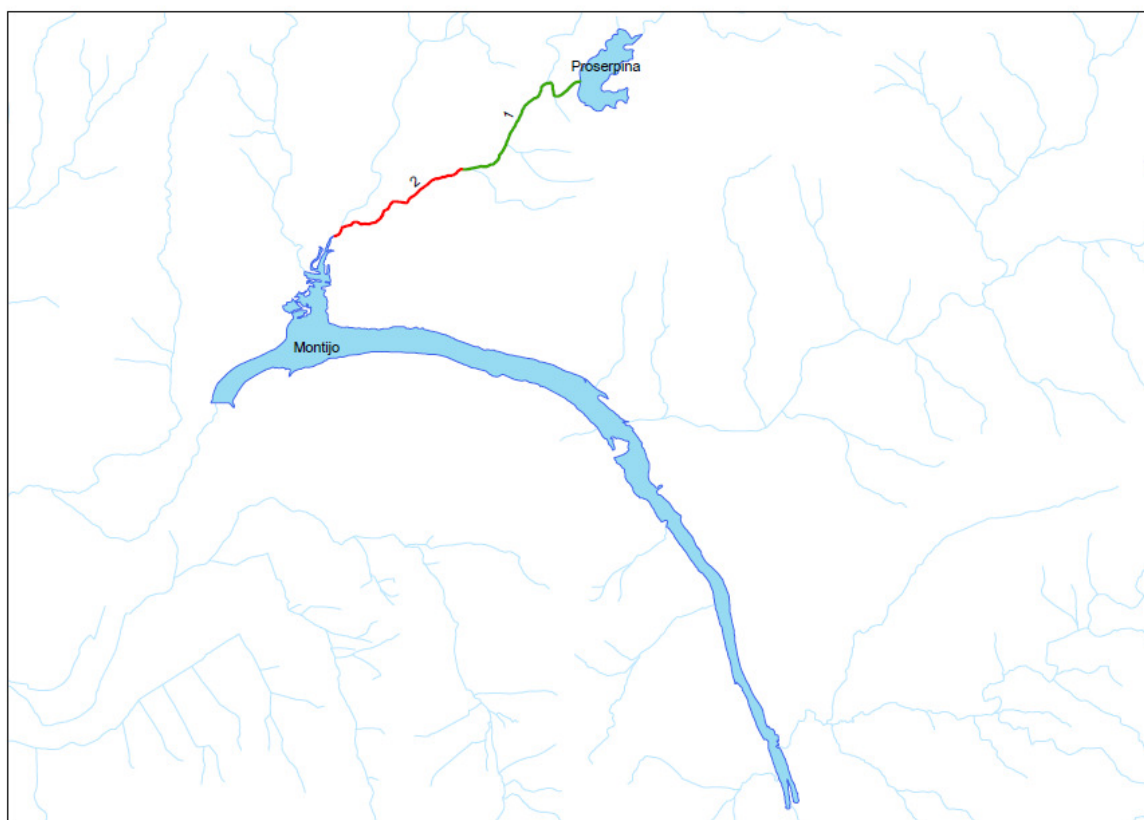


Ilustración 7. Distancia hipotética que recorrerían las larvas de mejillón cebra por hora en el tramo del cauce comprendido entre los embalses de Proserpina y Montijo.

Destaca el complejo Valdecaballeros-Cijara-García de Sola-Orellana, en el que debido a la proximidad entre los diferentes embalses, el tiempo de afección entre ellos es inferior a una hora.



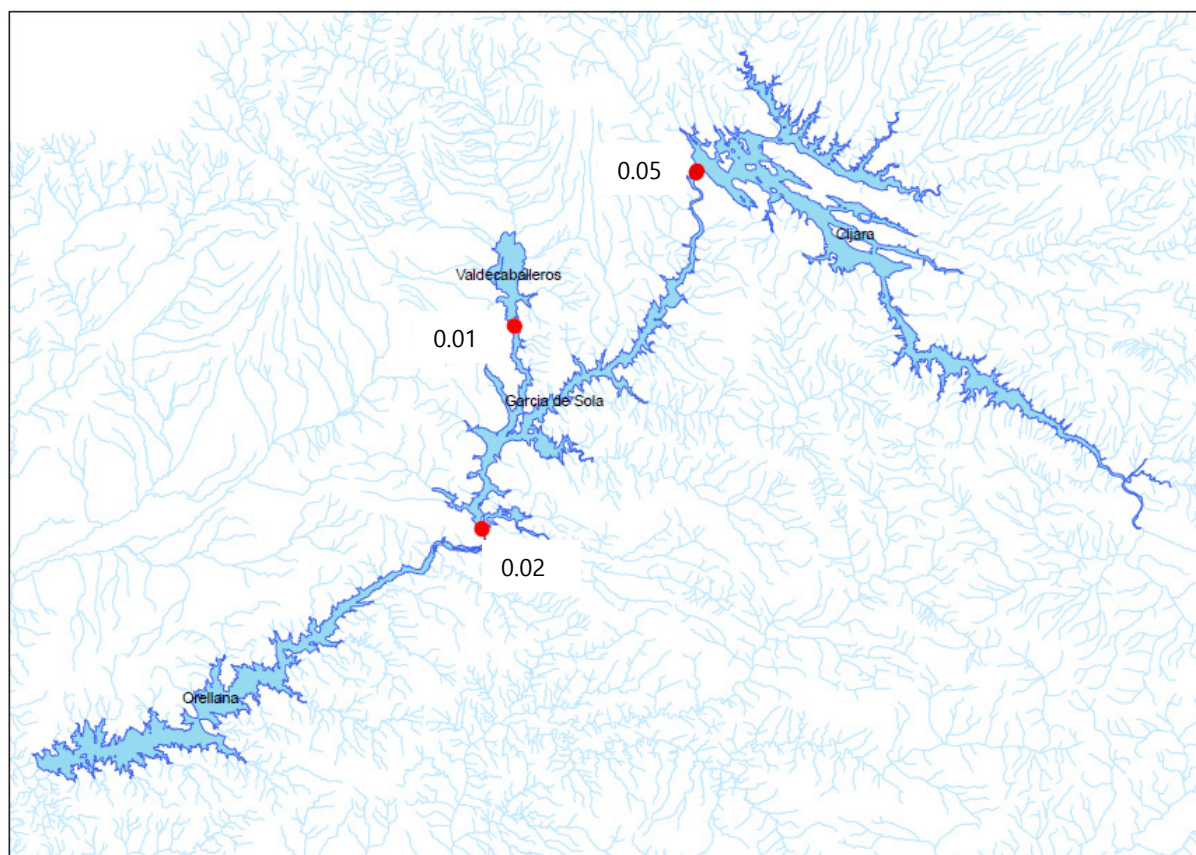


Ilustración 8. Distancia hipotética que recorrerían las larvas de mejillón cebra por hora entre los embalses Valdecaballeros-Cijara-García de Sola-Orellana-

De lo anteriormente descrito se deduce la existencia de un riesgo muy alto de propagación de mejillón cebra, por lo que se recomienda establecer una serie de medidas destinadas al control del flujo de agua entre los distintos embalses de la cuenca.

No obstante, cabe resaltar, como se ha hecho referencia en apartados anteriores, que los resultados obtenidos reflejan que se analiza la situación más desfavorable, es decir, en el caso de que se produzca un desembalse y asumiendo una velocidad de corriente única entre embalses. Si en el momento de aparición coincide que no se produce ningún desembalse significativo los tiempos de propagación serían mucho más elevados, pero aun así esta simulación seguiría siendo

útil para conocer y gestionar adecuadamente los recursos hídricos en caso de presencia de mejillón cebra.

En el Bloque 5. Anejo Cartográfico, se incluye un Mapa del riesgo de propagación del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana, en el que se clasifican las masas de agua analizadas en función del tiempo de llegada de larvas de mejillón cebra desde el embalse más próximo situado aguas arriba. Tal y como se ha descrito anteriormente, esta cartografía proporciona una información basada en estimaciones bajo la hipótesis más desfavorable que podría darse atendiendo al riesgo de propagación del mejillón cebra, que se correspondería con un desembalse de aguas, situación puntual en la que se registran las velocidades más elevadas en los cursos de agua del ámbito de estudio.

Asimismo, hay que tener en cuenta que en el caso de producirse fuertes avenidas, grandes desembalses, etc. la forma de propagación sería muy distinta a la simulada.

2.6. ESTUDIO DE LA DISPERSIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA

2.6.1. INTRODUCCIÓN

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, el mejillón cebra posee una elevada capacidad de dispersión, puesto que una vez que éste aparece en una cuenca fluvial, la propagación puede producirse rápidamente aguas abajo por deriva de las larvas. Su gran poder expansivo se basa, además de en la existencia de una fase larvaria móvil, capaz de desplazarse arrastrada por las corrientes de agua, en la capacidad de los adultos para desprenderse del sustrato y dar origen a nuevas colonias en otros lugares al volver a fijarse.



Teniendo en cuenta que hasta la fecha no se tiene constancia de la presencia del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana, y que las acciones preventivas resultan económicamente más rentables y ecológicamente más deseables, resulta fundamental disponer de la máxima información que permita una adecuada planificación y gestión de acciones de contención de la especie en un hipotético caso de infestación, con objeto de prevenir la dispersión hacia las masas de agua no afectadas.

Es por ello que se ha considerado de interés, aportar información adicional al riesgo de propagación anteriormente analizado, abarcando el estudio del alcance geográfico que podría llegar a tener un hipotético episodio de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana. De este modo, se ha llevado a cabo el estudio del posible desplazamiento del mejillón a través de las aguas de la cuenca, como si de un vertido se tratara.

2.6.2. DEFINICIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO.

El estudio de la dispersión del mejillón cebra en la cuenca del río Guadiana se ha restringido exclusivamente a **cauces regulados y embalses**, debido fundamentalmente a la disponibilidad en la actualidad de los datos necesarios.

En este caso, se ha llevado a cabo una simulación del recorrido de la especie desde un punto inicial (embalse) a través de la cuenca, sin la intervención de vectores o agentes de dispersión externos.

Esta simulación ha abarcado el recorrido del agua desde aquellos embalses calificados en el presente estudio como de "riesgo alto" ante la invasión del mejillón cebra, puesto que, según estimaciones probabilísticas, serían éstos los puntos más susceptibles donde podría instalarse inicialmente esta especie, y propagarse aguas abajo en la cuenca.



En este punto debe tenerse en cuenta, como ya se ha argumentado con anterioridad, que en el contexto de la Península Ibérica el **riesgo absoluto** al que están expuestas la gran mayoría de las masas de agua de la cuenca del Guadiana a ser colonizadas por el mejillón cebra se estima como bajo-moderado. Tan sólo los embalses localizados en la zona calcárea de la cuenca deberían considerarse que están expuestas a un riesgo alto, especialmente los embalses del Vicario, Peñarroya, Puerto de Vallehermoso, Vega del Jabalón, La Cabezuela y el sistema Cíjara-García de Sola-Orellana.

Como se desprende del estudio realizado, los embalses con mayor probabilidad de afección se localizan en los tramos medio y alto de la cuenca; de este modo, se podría afirmar que el área de mayor riesgo de invasión se distribuye desde los embalses cabecera de la cuenca hasta el embalse de Montijo. Éste ha sido en consecuencia el ámbito geográfico principal del estudio.

2.6.3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA.

El estudio de la dispersión del mejillón cebra que se presenta se ha realizado teniendo en cuenta el desplazamiento del mejillón cebra en fase larvaria a través de la corriente de los cauces y embalses de la cuenca.

- **Estudio del desplazamiento en los cauces.**

Para la simulación del recorrido a través de la corriente de los cauces, se ha tomado como premisa la existencia de un **episodio de desembalse** (situación más desfavorable en el caso de la cuenca Hidrográfica del Guadiana). En este contexto, se ha empleado como dato de velocidad de la corriente, aquella que se registra en cauces regulados en el período transcurrido en el desembalse entre dos presas. Bajo este planteamiento, y con objeto de obtener una aproximación y una visión generalizada para la totalidad del ámbito de estudio, se ha manejado una **velocidad**



media de 0,78 m/s para todos los cauces de la cuenca, obtenida a partir de datos recopilados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana respecto a desembalses efectuados. Para una **velocidad estimada de 0,78 m/s**, las larvas (o mejillones adultos desprendidos de puntos fijos) podrían recorrer una distancia media de **67,52 kilómetros cada día**.

- **Estudio del desplazamiento en los embalses.**

Para el estudio del desplazamiento del mejillón cebra en las masas de agua embalsadas, se ha recurrido a **dos hipótesis de estudio**.

En la **primera hipótesis**, se ha analizado el tiempo que permanece el agua en cada masa de agua analizada. Este **tiempo de residencia (Tr)** del agua se calcula a partir del volumen de agua del embalse (Hm^3) y el promedio entre la entrada y la salida media de agua en el embalse ($Hm^3/día$).

A continuación se muestran los tiempos de residencia obtenidos en los embalses estudiados, según datos disponibles del Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (SAICA) de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

EMBALSE	TIEMPO RESIDENCIA (DÍAS)	AÑOS
MARISÁNCHEZ- LA CABEZUELA	361,28	0,98
VICARIO	361,64	0,99
VEGA DEL JABALÓN	539,90	1,47
GARCÍA DE SOLA	554,40	1,51
PEÑARROYA	620,49	1,70
ORELLANA	2560,14	7,01
CIJARA	19971,85	54,71

Tabla 20. Tiempos de residencia en días de los embalses analizados, según datos del SAICA de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.



No obstante, teniendo en cuenta que el desplazamiento del mejillón se produce en superficie (fase larvaria), se ha considerado de mayor interés estudiar el posible recorrido de esta especie a la deriva desde la cola de los embalses hasta la presa. De este modo, se ha tomado como **segunda hipótesis de estudio** que las larvas realizan un recorrido correspondiente a la **longitud de remanso del embalse**, y que éstas viajan en superficie a una **velocidad media de 0,78 m/s** (dato de velocidad media tomado para los ríos). Se trata por tanto de condiciones muy desfavorables, ya que se está suponiendo que el embalse está en la máxima cota y que existe una velocidad media de la corriente de agua bastante alta, ya que se ha extrapolado el comportamiento de la corriente de los ríos, sin tenerse en cuenta, entre otros aspectos, el efecto atenuador de la corriente que ejercen los embalses. En este sentido, ***ha de recalarse que se han tomado estos datos como criterio de seguridad, debido a la falta de información disponible en la actualidad para la modelización del desplazamiento de las larvas de mejillón en los embalses a través de la corriente.***

En la siguiente tabla se indican los datos de longitud de remanso y velocidad del agua en superficie tomados para los embalses estudiados:

EMBALSE	LONGITUD DE REMANSO (m)	VELOCIDAD (m/s)
LA CABEZUELA	8.270,00	0,78
VICARIO	15.640,00	0,78
VEGA DEL JABALÓN	11.170,00	0,78
GARCÍA DE SOLA	36.000,00	0,78
PEÑARROYA	11.090,00	0,78
ORELLANA	37.000,00	0,78
CIJARA	45.000,00	0,78

Tabla 21. Longitud de remanso y velocidad del agua en superficie de los embalses analizados.



A partir de los datos anteriores, se han obtenido los siguientes tiempos de recorrido desde la cola de los embalses hasta la presa:

EMBALSE	TIEMPOS DE RECORRIDO DE COLA A PRESA (h)
LA CABEZUELA	2,94
VICARIO	5,57
VEGA DEL JABALÓN	3,98
GARCÍA DE SOLA	12,82
PEÑARROYA	3,95
ORELLANA	13,18
CIJARA	16,03

Tabla 22. Tiempos de recorrido de la corriente de agua en embalses estudiados desde la cola hasta la presa.

2.6.4. RESULTADOS OBTENIDOS.

Para el estudio de la dispersión del mejillón cebra se han realizado simulaciones del posible recorrido del mejillón cebra desde los embalses con mayor riesgo de invasión por mejillón cebra hacia los embalses situados aguas abajo.

Concretamente, se han realizado dos estudios diferentes, atendiendo a las hipótesis contempladas para el análisis del desplazamiento del mejillón cebra en embalses. En ambas hipótesis de estudio se ha mantenido el dato de velocidad del agua establecido para los cauces de 0,78m/s (velocidad media obtenida a partir de desembalses).



2.6.4.1. Primera hipótesis de estudio.

En la primera hipótesis de estudio se han tomado como referencia los datos de la **velocidad de la corriente en cauces en situación de desembalse** y del **tiempo de residencia del agua en los embalses**.

A continuación se muestra una representación gráfica del recorrido completo que realizaría una larva de mejillón cebra desde embalse La Cabezuela, propagándose a través de los cauces y embalses localizados aguas abajo hasta el azud de Montijo. La simulación realizada abarca la mayoría de los embalses calificados en este estudio como "de riego de invasión alto", de los que se dispone en la actualidad de los datos necesarios para la realización de los cálculos efectuados:

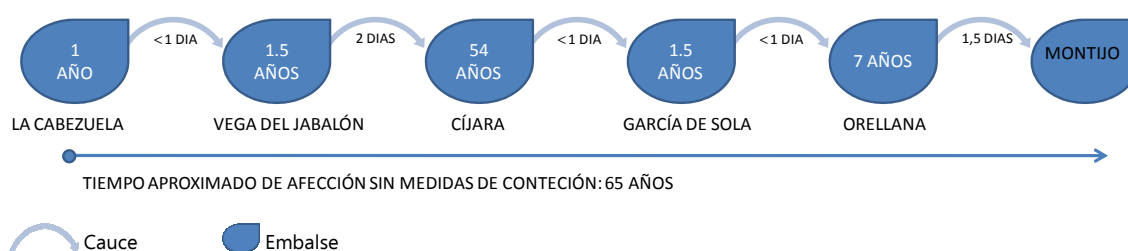


Ilustración 9. Simulación del recorrido del mejillón cebra desde el embalse de La Cabezuela hasta el azud de Montijo.

Como puede apreciarse, la simulación del recorrido realizada finaliza en el azud de Montijo, ya que éste representa el límite geográfico de la zona estimada como de mayor riesgo de invasión.

Cabe destacar la existencia de embalses con tiempos de residencia bastante elevados, como es el caso del Cíjara (54 años), hecho que supondría una ventaja en cuanto al tiempo disponible a la hora de diseñar y ejecutar los mecanismos de contención y eliminación de la especie en el hipotético caso de que ésta se instale en la cuenca del Guadiana. En contraposición, existen embalses con tiempos de residencia muy bajos (en torno a 1 año) como es el caso de García de Sola, en los que la puesta en marcha de medidas para la gestión de un episodio de invasión tendría un carácter de urgencia extrema.

2.6.4.2. Segunda hipótesis de estudio.

En la segunda hipótesis de estudio, se han tomado como referencia los datos de la **velocidad de la corriente en cauces en situación de desembalse, y el tiempo de recorrido de las larvas en superficie en los embalses calculado obtenido a partir de datos de velocidad** media de 0,78 m/s y **longitudes de remanso**.

A continuación se muestra una representación gráfica del recorrido completo de una larva de mejillón viajando suspendida a través de la corriente cebr desde la cola del embalse de La Cabezuela hasta el azud de Montijo. La simulación realizada abarca la mayoría de los embalses calificados en este estudio como "de riego de invasión alto", de los que se dispone en la actualidad de los datos necesarios para la realización de los cálculos efectuados:

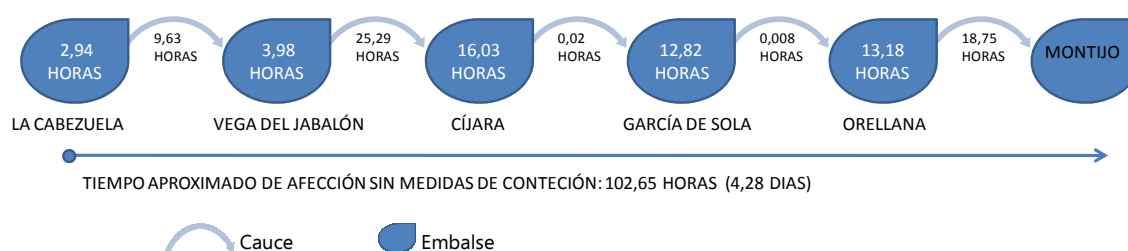


Ilustración 10. Simulación del recorrido del mejillón cebr desde el embalse de La Cabezuela hasta el azud de Montijo.

Tal y como se observa en la imagen anterior, se han obtenido unos tiempos muy reducidos de alcance; en el caso de que llegase una larva de mejillón cebr a la cola de un embalse de los analizados, ésta tardaría menos de un día en desplazarse hasta la presa y propagarse aguas abajo. Estos resultados ponen de manifiesto la existencia de un **riesgo considerable por capacidad de dispersión**, y en consecuencia, la necesidad de disponer de un sistema de control y seguimiento específico del mejillón cebr, que permita la puesta en marcha a tiempo de las medidas de contención, prevención, y en su caso, de eliminación que en cada caso sean necesarias para evitar un fenómeno de invasión en la cuenca del río Guadiana. No obstante, tal y como se describe anteriormente, esta información constituye una mera aproximación obtenida a partir de



estimaciones de datos de velocidad de la corriente en cauces y embalses en las situaciones más desfavorables que podrían darse. Es por ello que, para obtener una estimación de la capacidad de dispersión más cercana a la realidad, sería conveniente profundizar en el estudio específico de la hidrodinámica de los cursos fluviales, embalses y lagunas naturales.

Con objeto de ofrecer una visión más clara del estudio realizado, en el anejo cartográfico (Plano nº 3), se ha representado una **simulación de la dispersión de una larva de mejillón cebra desde la cola del embalse La Cabezuela hasta el Azud de Montijo**. En esta simulación, se incluye información complementaria relacionada con el tiempo de recorrido y los costes medios anuales que acarrearía la invasión del mejillón cebra en función del ámbito geográfico afectado; debe tenerse en cuenta que los datos económicos que se reflejan son estimaciones basadas en datos procedentes de experiencias de otras confederaciones en la lucha contra el mejillón cebra.





BLOQUE 3

Prevención y control del mejillón cebra en la cuenca hidrográfica del río Guadiana.



“Determinación de las principales zonas de riesgo para el mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y recomendaciones prácticas para prevenir su introducción y su control/eliminación”.



3. PREVENCIÓN Y CONTROL DEL MEJILLÓN CEBRA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUADIANA.

3.1. INTRODUCCIÓN

Ante la detección del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en varias cuencas hidrográficas de la península ibérica, resulta fundamental establecer los mecanismos adecuados para prevenir la introducción de esta especie exótica invasora en la cuenca del Guadiana.

La importancia de impedir la introducción del mejillón cebra en la Cuenca del Guadiana radica en el hecho de que una vez se introduce con éxito el mejillón cebra, y teniendo en cuenta los antecedentes, se puede hablar ya de un grave riesgo ambiental. Además, su velocidad de propagación es enorme ya que basta con que algunos individuos se queden fijados en los cascos de las embarcaciones para que se propaguen rápidamente.

En este caso, dadas las características de la especie, **la prevención es más efectiva** que cualquier medida de control o erradicación de la misma. Ésta, a su vez, será tanto más rentable en esfuerzo y resultados cuanto más rápida, para lo cual las redes de detección temprana y los planes de contingencia adquieren una especial relevancia.

Una de las prioridades en la lucha contra el mejillón cebra es eliminar cualquier vía de introducción natural o artificial en un ecosistema o zona libre de su presencia como es la cuenca hidrográfica del Guadiana. Para minimizar los riesgos de entrada, en este documento se recogen protocolos de buenas prácticas para cada una de las actividades cuyo ejercicio pueda propagar el mejillón cebra en la Cuenca del Guadiana.



3.2. LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA Y EL MEJILLÓN CEBRA.

3.2.1. ACTUACIONES PARA LA PREVENCIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA.

Con objeto de proteger la cuenca, la Confederación Hidrográfica del Guadiana centra sus esfuerzos en las acciones de desinfección y limpieza de embarcaciones o materiales que pueden proceder de zonas ya infectadas, puesto que el mejillón cebra puede desplazarse en estado larvario a distintas masas de agua a través de embarcaciones, vehículos o remolques en incluso en los aparejos de pesca u otros utensilios.

Desde 2009, en los ríos y embalses de la cuenca del Guadiana se obliga a la limpieza y desinfección previas de todas las embarcaciones y medios de flotación que hayan sido utilizados en aguas distintas a las situadas en el ámbito de gestión de la CHG, atendiendo al "Protocolo de desinfección de embarcaciones para prevenir la entrada del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana".

3.2.1.1. Instalaciones para la limpieza y desinfección de embarcaciones.

Para facilitar la limpieza y desinfección la Confederación Hidrográfica del Guadiana dispone de las siguientes instalaciones:

- **INSTALACIONES DE DESINFECCIÓN FIJAS.**

Confederación Hidrográfica del Guadiana ha dispuesto dos estaciones fijas de lavado y desinfección. La situación geográfica de estas estaciones se describe a continuación:

- **ESTACIÓN FIJA 1.** Ubicada en el término municipal de Valdecaballeros, en las siguiente coordenadas geográficas:





Longitud oeste: 5° 31'10'', 7

5° 11'10'', 7

Longitud Norte: 39° 10'04'', 8

39° 20'04'', 8



Ilustración 11. Situación de la Estación Fija 1 de desinfección de embarcaciones de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.





Ilustración 12. Estación Fija de desinfección de embarcaciones de la Confederación Hidrográfica del Guadiana 1. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.

- **ESTACIÓN FIJA 2.** Enclavada en la comarca de las Vegas Altas, muy próxima a la presa del embalse de Orellana en el término municipal de Orellana la Vieja, en las siguiente coordenadas geográficas:

Longitud oeste: 5° 31'10'', 7

5° 51'10'', 7

Longitud Norte: 38° 50'04'', 8

39° 00'04'', 8





Ilustración 13. Situación de la Estación Fija 2 de desinfección de embarcaciones de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.





Ilustración 14. Estación Fija de desinfección de embarcaciones de la Confederación Hidrográfica del Guadiana 2. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.

Las estaciones de limpieza y desinfección constan de los siguientes elementos:

- Plataforma de lavado, consistente en una losa de hormigón dotada de un sistema de recogida de aguas, mediante una canaleta rectangular transversal central que vierte a una arqueta de recogida.
- Centro de lavado, está compuesto por un contenedor compacto de alta presión con dos pistas en las cuales simultáneamente se procede a la limpieza y desinfección de las embarcaciones y los coches que las transportan. El centro de lavado está en un local técnico donde se ubica toda la maquinaria dividida en cuatro módulos diferenciados: bombas de presión, tratamiento de agua, calentamiento de agua y cuadro eléctrico. La maquinaria se describe a continuación:
 - Depósito: destinado a la acumulación de agua de red.
 - Caldera, compuesta por: depósito de gasoil; acumulador con gran superficie de intercambio totalmente sumergido, termostatos de sanitaria, calefacción y de seguridad; sistema de electroválvulas para cambios de

tipos de agua caliente y dura; válvula de no retorno para agua caliente y dura; optimizador de carga, vaso de expansión, válvulas de seguridad, manómetro; kit de conexión con circulador, válvula de tres vías motorizada; envolvente metálico; aislamiento con poliuretano expandido, tercera generación; doble protección aislada para el quemador; y quemador.

- Bomba de alta presión: funciona a una presión máxima de 100 bar con válvula de seguridad, expansión y protección anticavitación. Están alimentadas por un motor de 5,5 CV de 1.400 r.p.m.
- Dosificadores de producto: bomba dosificadora de inyección de producto químico, que incorpora alarma de falta de producto.
- Cuadro eléctrico: compuesto de los elementos necesarios para el control de todas las funciones del equipo y de los accesorios instalados.
- Brazos, lanzas y soportes de lanzas: cada pista de lavado, está dotada de una lanza para el funcionamiento del equipo, incluyendo sus respectivos brazos de acero inoxidable que incorporan dos racores giratorios de 360 °.
- Sistema de recogida de aguas y depuración: a través de las canaletas ubicadas en la plataforma, se recogen las aguas procedentes del lavado de las embarcaciones. Este sistema está compuesto por un decantador de lodos de 5.000 litros, un separador de hidrocarburos de 3 litros por segundo y una arqueta de registro de toma de muestras. El agua de lavado final queda completamente depurada.
- Acometidas y conexiones de red.
- Caseta. Este espacio se utiliza como almacén.

• ESTACIONES DE LAVADO MÓVIL.

Actualmente la Confederación Hidrográfica del Guadiana dispone de dos estaciones móviles para el lavado y desinfección de embarcaciones. Con el objeto de cubrir la mayor parte de la cuenca,



una estación está ubicada en la zona de los viveros de García de Sola y otra en las instalaciones de la Presa de Montijo, abarcando así la zona alta y baja de la cuenca del Guadiana.

Los equipos de desinfección móviles están compuestos por los siguientes elementos:

- Carro de transporte.
- Depósito de 1.000 litros de capacidad.
- Motobomba.
- Hidrolimpiadora de agua caliente a presión con motor de gasolina equipada con dos juegos de mangueras de 10 metros.
- Un juego de aplicadores específicos para limpieza de motores.
- Un depósito para transporte de combustible homologado con capacidad para 20 litros.
- Un extintor de 5 kilogramos.
- 2 mochilas de pulverizar.
- Material fungible (lejía, guantes de plástico y de cuero, mascarillas desechables, rollos de papel industrial).



Ilustración 15. Equipo móvil de desinfección. Fuente:
Confederación Hidrográfica del Guadiana.

Cabe destacar que, en el momento de redacción de este documento la Confederación Hidrográfica del Guadiana se encuentra en proceso de adquisición de nuevas **estaciones móviles de desinfección de embarcaciones**; Esta actuación se encuentra enmarcada dentro de la Acción C.4: Prevención para evitar la introducción del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en la cuenca del Tajo y del Guadiana del proyecto **LIFE 10/NAT/ES/000582 “Lucha contra las especies invasoras en las cuencas de los ríos Tajo y Guadiana en la Península Ibérica” (INVASEP)**. Se pretende adquirir dos estaciones de lavado móvil para la desinfección de embarcaciones que deseen introducirse en las aguas navegables de la cuenca del Guadiana, además de dos carteles de aluminio para exteriores con contenidos relacionados con la prevención y lucha contra especies invasoras.

- **CENTROS DE DESINFECCIÓN AUTORIZADOS A TERCEROS.**

En el año 2014, la Confederación Hidrográfica del Guadiana ha autorizado un **Centro de Desinfección de Vehículos** ubicado en la ampliación del polígono Industrial Ramapalla de la localidad de Olivenza (Badajoz), en la C/ Zapateros, nave 13.

3.2.1.2. Desinfecciones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

En la siguiente tabla se indican las desinfecciones realizadas en la Confederación Hidrográfica del Guadiana desde el año 2009, con los datos disponibles hasta la fecha de redacción del presente estudio:



TIPO DE EMBARCACIÓN					
AÑO	PATP/FLOAT TUBE	CANOA/PIRAGUA	VELA	POTENCIA < 30 CV	POTENCIA ≥ 30 CV
2009	207	97	-	29	461
2010	262	77	-	20	525
2011	284	-	-	105	337
2012	297	23	15	10	328
2013	440	122	20	8	261
2014	40	49	5	5	170
TOTALES	1.530	368	40	177	2.082
TOTAL EMBARCACIONES					4.197

Tabla 23. Desinfecciones realizadas en la Confederación Hidrográfica del Guadiana desde el año 2009.

3.2.1.3. Acceso del usuario a las instalaciones.

En la Confederación Hidrográfica del Guadiana existe un procedimiento establecido para el empleo de la población de las instalaciones de limpieza y desinfección habilitadas por la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

Cualquier usuario particular, club deportivo o servicio público de alquiler de embarcaciones que vaya a realizar una actividad en la cuenca del Guadiana, debe presentar esta declaración responsable en la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

Para facilitar la cumplimentación de este formulario, la CHG tiene publicada en su página web (www.chguadiana.es) un documento de "INSTRUCCIONES Y REQUISITOS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA DECLARACIÓN RESPONSABLE PARA EL EJERCICIO DE LA NAVEGACIÓN DEPORTIVA O DE RECREO EN LA CUENCA DEL GUADIANA".



Mediante esta declaración, el usuario manifiesta de forma escrita, bajo su responsabilidad, que cumple con los requisitos establecidos en la normativa vigente para el ejercicio de la navegación en la cuenca del Guadiana, que dispone de la documentación que así lo acredita y que se compromete a mantener su cumplimiento durante el ejercicio de la actividad que motiva la declaración.

En caso de actividades en las que se proyecte un uso especialmente intenso del dominio público hidráulico que pueda afectar a la utilización de las aguas, embalsadas o en un tramo de río, por terceros o que dificulte la coexistencia de otros usos sobre el espacio en que la actividad se vaya a desarrollar (debido al número de embarcaciones previstas, tipo de embarcación y actividad, etc.), se precisará autorización administrativa de esta Confederación Hidrográfica para ejercer la actividad prevista.

La declaración responsable permite el ejercicio de la navegación al declarante y personas autorizadas, siempre que dispongan para su gobierno el correspondiente título expedido por el organismo competente, con la embarcación descrita en la citada declaración.

Esta Declaración Responsable permite el ejercicio de la navegación desde el día siguiente de su presentación en la Confederación Hidrográfica del Guadiana por un periodo de 15 días hábiles.

El declarante se compromete a:

1. Desinfectar su embarcación cada vez que haya sido utilizada en aguas distintas a las situadas en el ámbito de gestión de la Confederación Hidrográfica del Guadiana de acuerdo con las instrucciones del "Protocolo de desinfección de embarcaciones para prevenir la entrada del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en la cuenca del Guadiana" publicadas en la Resolución de 4 de febrero de 2013, de la Confederación Hidrográfica



- del Guadiana, sobre limitaciones y condiciones a la navegación deportiva o de recreo, en aguas continentales de la cuenca del Guadiana (B.O.E. Nº 39 de 14 de febrero de 2013).
2. Identificar sus embarcaciones con las matrículas correspondientes, que figuran en el costado de estribor, junto a la proa y al menos a 20 cm de la línea de flotación.
 3. Conocer que esta declaración no supondrá monopolio ni preferencia de clase alguna a favor del declarante, pudiendo suspenderse temporal o definitivamente por la Administración por razones de seguridad, salubridad u otros motivos justificados, sin que el declarante tenga derecho a indemnización alguna.
 4. Responder de que sus embarcaciones cumplen con la legislación vigente en cuanto a estabilidad de las mismas, elementos de seguridad de que deben disponer y buen estado de conservación de aquéllas y éstos.
 5. Las embarcaciones van provistas de los elementos de seguridad y salvamento necesarios para los ocupantes (chalecos y flotadores salvavidas de colores vivos, señales acústicas y luminosas, etc.).
 6. Respetar las señales y balizamientos que existieran sobre zonas prohibidas u otras afecciones y limitaciones. En el caso de alquiler de embarcaciones, declara que balizará por ambos lados la zona destinada a mangas de salida y acceso de embarcaciones, al menos en una longitud de 15 m aguas adentro, independizándole de zonas destinadas al baño.
 7. Respetar las limitaciones a la navegación deportiva o de recreo que se recogen en la Resolución de 4 de febrero de 2013, de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, sobre limitaciones a la navegación deportiva o de recreo, en aguas continentales de la cuenca del Guadiana (B.O.E. Nº 39 de 14 de febrero de 2013).
 8. No practicar la navegación en los tramos y épocas donde la administración haya prohibido la navegación. No practica la navegación nocturna
 9. Ejercer la navegación disponiendo de cuantas autorizaciones y requisitos puedan ser necesarios de otras administraciones, de cuya obtención no queda eximido el declarante.



10. Poseer el título suficiente, según la normativa vigente, para el gobierno de las embarcaciones declaradas o responde por la suficiencia del título de quienes manejen las embarcaciones.
11. Poseer certificación que acredite las características de la embarcación, en la cual se indica: marca, modelo, nº de serie, eslora, manga, capacidad y potencia máxima admisible. Puede estar expedido por la Inspección Marítima (Mº de Fomento) o cualquier Entidad Colaboradora de Inspección Autorizada, por la empresa vendedora, por la empresa fabricante o por técnico competente, indicando en este último caso el puesto o cargo que ocupa y titulación. Deberá estar en posesión del declarante en el momento de ejercer la navegación.
12. Poseer certificación que acredite las características del motor de explotación/eléctrico, en su caso, en la cual se indica: marca, modelo, nº de serie, potencia nominal. Además, si es de explosión: ciclo operativo (2T o 4T), año de fabricación y sistema de combustión (inyección o carburación). Puede estar expedido por cualquier Entidad Colaboradora de Inspección Autorizada, la empresa vendedora, la empresa fabricante o técnico competente, indicando en este último caso el puesto o cargo que ocupa y titulación. Deberá estar en posesión del declarante en el momento de ejercer la navegación.
13. Conocer la peligrosidad inherente al ejercicio de la navegación deportiva o de recreo en aguas continentales, por lo que se compromete a controlar en todo momento su embarcación y asume los riesgos que puedan resultar de la misma. A estos efectos dispone de la siguiente póliza de seguros y consigna el número de póliza en el recuadro correspondiente (marcar con una cruz la casilla correspondiente al tipo de póliza contratado)
14. Si el declarante es un particular que desea navegar con embarcaciones a motor o vela con eslora mayor 4 metros o embarcaciones a motor ≥ 5 CV: Tiene contratada una Póliza de Seguro de Responsabilidad Civil contra Daños a Terceros. De acuerdo con el RD 607/1999 de 16 de abril, esta póliza incluye una cobertura mínima para daños a personas de 240.404,84 euros y 96.161,94 euros para daños materiales. La póliza tiene validez en aguas



interiores. Quedan expresamente cubiertos los daños ocasionados a los ocupantes de las embarcaciones, con independencia de la relación que tengan con el tomador del seguro. En el supuesto de embarcaciones a motor con capacidad para arrastrar esquiadores, estos quedan expresamente incluidos en la póliza de seguro contratada.

15. Si el declarante es una empresa, entidad pública, club o federación:

15.1. El declarante figura de alta en la Agencia Tributaria y ejerce la actividad para la que se presenta esta declaración responsable.

15.2. Tiene contratada una póliza de seguro de responsabilidad civil contra daños a terceros. Este seguro incluye una póliza global para todas las embarcaciones declaradas, cubre todas las actividades desarrolladas por el declarante, con una cobertura mínima según RD 607/1999 de 16 de abril. En cualquier caso, quedan, además, expresamente cubiertos los daños ocasionados a terceras personas, debiendo tener la consideración de tales las siguientes: Guías o Monitores (R.C. Patronal); Ocupantes de las embarcaciones, con inclusión expresa en su caso de los esquiadores acuáticos; terceras personas ajenas a la embarcación.

16. Si se trata de la declaración responsable de una prueba puntual: Tiene contratada una póliza de seguro de responsabilidad civil contra daños a terceros, que cubre los eventuales daños que puedan sufrir los participantes. Este seguro incluye una póliza global para todas las embarcaciones declaradas, cubre todas las actividades desarrolladas por el declarante, incluye una cobertura con un límite mínimo de 601.012,10 euros. En cualquier caso, quedan, además, expresamente cubiertos los daños ocasionados a terceras personas, debiendo tener la consideración de tales las siguientes: guías o monitores (R.C. Patronal); ocupantes de las embarcaciones, con inclusión expresa en su caso de los esquiadores acuáticos; terceras personas ajenas a la embarcación. La póliza de seguro está a nombre de la persona física o jurídica que organiza las actividades y que, por tanto, presenta esta declaración.

17. No es necesaria póliza de seguros



Para atender las solicitudes de limpieza y desinfección la CHG ha habilitado las instalaciones descritas anteriormente.

Una vez, limpia y desinfectada la embarcación, se extiende un ***certificado de lavado donde figura la matrícula, la fecha, la hora y el lugar de lavado.***

3.2.2. RED DE VIGILANCIA PREVENTIVA DE LARVAS DE MEJILLÓN CEBRA (*DREISSENA POLYMORPHA*)

Desde el año 2007, la Confederación Hidrográfica del Guadiana viene realizando la monitorización preventiva de las larvas planctónicas de mejillón cebra en las masas de agua de su competencia, sin que hasta el momento se haya detectado presencia de la especie.

3.2.2.1. Metodología empleada para la toma de muestras.

La metodología usada en las diferentes campañas de monitorización de las larvas planctónicas de mejillón cebra llevadas a cabo en las masas de agua de la Confederación Hidrográfica del Guadiana se basa en las recomendaciones de Imanol Cia Abaurre, una combinación de dos **metodologías** procedentes de sendas fuentes: por un lado la **Tesis Doctoral de Imanol Cia** (Cia, 2008) y por otro, **el Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Murray State (EE.UU.)**. La Universidad de Murray State llevó a cabo un estudio en 52 embalses en la parte inferior del río Ohio (EE.UU.). La característica diferencial de esta metodología respecto a otras estriba en el volumen de agua que es filtrado a través de la red de plancton. Este volumen, **200 litros**, es muy alto en comparación con otras metodologías practicadas. De esta manera, la fiabilidad en la determinación de la presencia o ausencia de larvas de mejillón cebra de una determinada masa de agua es absoluta. Lógicamente, cuanto mayor cantidad de agua sea filtrada la posibilidad de encontrar larvas, aumenta. En la Tesis Doctoral realizada por Imanol Cia se



recoge el seguimiento espacio-temporal de las larvas de mejillón cebra existente en la columna de agua del embalse de Riba-roja durante 2 ciclos biológicos completos. Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto la diferencia en cuanto a la densidad de larvas de mejillón cebra en relación con la profundidad de muestreo dentro de la columna de agua. Los resultados indican una preferencia clara en cuanto a la profundidad por parte de las larvas. Esta profundidad preferente oscila en el intervalo comprendido entre 2 y 10 metros.

Con la finalidad de conseguir una absoluta fiabilidad en el diagnóstico en cuanto a la presencia/ausencia de larvas de mejillón cebra, se extrajo de cada metodología aquello que redundase en una máxima eficiencia; alto volumen de agua y la realización de muestreos a profundidades preferentes en cuanto a la concentración de larvas planctónicas de mejillón cebra se refiere. La combinación de ambas metodologías proporciona como resultado la extracción de un volumen de 200 litros desde cada una de las siguientes profundidades: 2,0 y 5,0 metros.

Una vez que este volumen de agua ha sido bombeado desde las profundidades de muestreo y ha sido filtrado a través de la red de plancton, la siguiente operación consiste en la fijación de la muestra. Para ello, se coloca un bote de plástico en la parte inferior de la red y se abre el grifo que posee el depósito inferior de la red de plancton, de modo que todo el contenido se recoge en el interior del bote. A continuación, se fija la muestra mediante la adición de formol a una concentración del 4%. Como último paso antes de que la muestra sea alojada en el interior de la nevera portátil para su transporte hasta laboratorio, se etiqueta convenientemente. Para ello, bien el mismo bote o en una etiqueta que se adhiere al bote, se realizan, como mínimo, las siguientes anotaciones:

- Embalse muestreado
- Profundidad de muestreo
- Día de la toma de la muestra
- Volumen filtrado (generalmente 200 litros)



De manera complementaria, se aconseja realizar las siguientes anotaciones:

- Hora de muestreo
- Nombre de la persona que ha realizado el muestreo
- Coordenadas (x, y, z)
- Otras observaciones que se consideren pertinentes

De manera simultánea a la realización de todas las actividades descritas anteriormente, un operario haciendo uso de la sonda multiparamétrica realiza un perfil vertical del embalse registrando las variables para las que la sonda está preparada, generalmente a las dos profundidades en que se toman las muestras. A continuación se detalla el listado de material necesario para la realización del muestreo:

Para la extracción de la muestra de agua:

- Bomba centrífuga.
- Grupo electrógeno.
- Cuerda de soporte.
- Cable eléctrico de unión grupo electrógeno-bomba sumergible.
- Contador de agua.
- Red de plancton de 50 μm .

Para la toma y la conservación de la muestra de agua:

- Botes de plástico (100 ml).
- Pipeta.
- Formol.
- Rotulador indeleble para etiquetado de la muestra.



- Neveras isotérmicas.

Esta metodología conlleva que la toma de la muestra ha de realizarse desde el paramento de la presa.



Ilustración 16. Toma de muestras en el embalse de García Sola.
Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.

Además, para que ésta se realice a las profundidades de muestreo mencionadas anteriormente, es imprescindible que el paramento de la presa aguas arriba sea de caída recta. En el caso de que la presa no cumpla con esta característica, los muestreos deben ser realizados desde una embarcación. A esta singularidad de las presas hay que sumarle los casos en que la lámina de agua esté a una cota tal que no permita la aspiración desde el paramento de la presa, y también aquellos casos en que las masas objeto de muestreo sean lagunas.

Al hilo de lo comentado, es en este punto donde el personal de la Confederación cambió el material empleado en los casos en que la toma de las muestras fue realizada desde una embarcación. En lugar de hacer uso del pesado grupo electrógeno mencionado y al igual que todo el resto del material complementario, se hizo uso de un material mucho más fácil de cargar, manejar y utilizar dentro de la embarcación. Con ello se consiguió por una parte disponer de



mayor espacio dentro de la embarcación y, por otra, una mayor estabilidad de la embarcación frente al vuelco. El equipamiento para la toma de la muestra desde embarcación es el que figura a continuación:

- Grupo electrógeno: Honda, modelo Cyclo-converter EX 7. Potencia: 0,6 Kilowatios
- Bomba de achique. Caudal máximo: 5.000 dm³/hora. Potencia: 250 watios
- Manguera de 8,00 metros tipo "aspiración".
- Bidón de desinfección de 25 litros.



Ilustración 17. Toma de muestras en el embalse de Proserpina.
Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.

Después de su recogida, las tareas de desinfección de los equipos y una vez añadido el preservante, las muestras se envían en el menor tiempo posible al laboratorio de análisis del Servicio de Control de las Masas de Agua.

✓ RESULTADOS ANALÍTICOS.

Los análisis realizados (años 2007-2014) a partir de las muestras obtenidas en las prospecciones realizadas en 33 masas de agua pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Guadiana, indican que **no se han detectado larvas planctónicas de mejillón cebra en ninguna de las masas de agua estudiadas.**

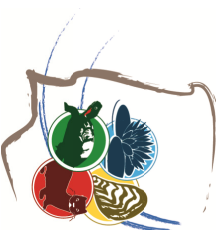
A continuación se exponen los resultados, en términos de ausencia o presencia de larvas planctónicas, de los análisis realizados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana entre los años 2007 y 2014. Cabe destacar, que en el momento de redacción del presente estudio se tiene constancia de la realización de un muestreo correspondiente al año 2015, aunque los resultados de laboratorio aún no se encuentran disponibles.



2007			2008			2009			2010			2011			2012			2013			2014		
	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas		
EMBALSES MUESTREADOS	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
ANDÉVALO	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
BOQUERÓN	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
CANCHO DEL FRESNO	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
CHANZA	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
CIJARA	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
CORNALVO	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
CUBILAR	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
GARCÍA DE SOLA	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
GARGALIGAS	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
GASSET	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
HORNO TEJERO	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
LA CABEZUELA	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
LA RESENA	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
LOS CANCIALES	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
LOS MOLINOS	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			
MONTIJO	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia			

	2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014	
	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados	nº campañas	resultados
ORELLANA	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
PEÑARROYA	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
PROSERPINA	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
PUERTO DE VALLEHERMOSO	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
RUCAS	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
SIERRA BRAVA	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
TENTUDIA	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
TORRE DE HABRAHAM	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
VEGA DEL JABALÓN	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
VICARIO	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
VILLAR DEL REY	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
ZÚJAR	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
LAGUNA DE VILLAFRANCA	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
RUJDERA (LAGUNA DEL REY)	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
RUJDERA (LAGUNA COLGADA)	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia
PUENTE NAVARRO	3	Ausencia	3	Ausencia	4	Ausencia	1	Ausencia	3	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia	1	Ausencia

Tabla 24. Resultados, en términos de ausencia o presencia de larvas planctónicas, de los análisis realizados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana entre los años 2007 y 2014. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.



LIFE INVASP
LIFE COMPARATIVE INVASIONS IN AQUATIC ECOSYSTEMS OF THE MEDITERRANEAN AND THE GUADIANA IN AFRICA



3.3. PROTOCOLOS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DEL MEJILLÓN CEBRA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUADIANA.

3.3.1. INTRODUCCIÓN.

Debido a su fragilidad y aislamiento, algunos ecosistemas, son especialmente vulnerables a la introducción de especies exóticas invasoras, siendo sobradamente conocidos los efectos desastrosos de la aparición de especies de comportamiento muy agresivo en los ríos. Para evitarlo, una de las prioridades en la lucha contra el mejillón cebra es eliminar cualquier vía de introducción natural o artificial en un ecosistema o zona libre de su presencia como es la cuenca hidrográfica del Guadiana.

Resulta fundamental, además de la identificación y localización de aquellas zonas de la cuenca en las que se lleven a cabo actividades que puedan ocasionar la introducción del mejillón cebra, establecer, para cada una de estas actividades, un protocolo de buenas prácticas que tenga el objeto de evitar esta propagación.

En concordancia con las indicaciones de la Estrategia nacional para el control del mejillón cebra, en estos protocolos se describirán los elementos implicados y los procesos a los que deben ser sometidos para su desinfección con el objetivo de impedir el desarrollo o dispersión del mejillón cebra.

Para el caso concreto de la cuenca hidrográfica del río Guadiana, se ha considerado de interés definir los siguientes protocolos:

- Protocolo de limpieza y desinfección de embarcaciones.
- Protocolo de desinfección para material de pesca y de otros usos recreativos.
- Protocolo de desinfección para pequeños equipos de trabajo en medios acuáticos.



- Protocolo de limpieza para hidroaviones y otros medios para extinción de incendios.
- Protocolo de limpieza para maquinaria de trabajo.
- Protocolo de detección y seguimiento de las poblaciones de mejillón cebra, en el que se incluyen diferentes acciones preventivas encaminadas a la identificación de larvas y adultos de mejillón cebra.

Así mismo, de forma paralela al establecimiento de los protocolos anteriores, se considera de interés el desarrollo de otras actuaciones complementarias, relacionadas con la prevención de la entrada del mejillón cebra y la planificación de acciones previas para proporcionar una óptima respuesta ante un hipotético caso de invasión. Entre otras, se encuentran las siguientes actividades:

- Realización de estudios encaminados a la ampliación del conocimiento sobre la especie y sobre nuevas actuaciones para la prevención de entrada del mejillón cebra.
- Continuación de las acciones de recopilación y análisis de metodologías de control del mejillón cebra al nivel nacional e internacional.
- Estudios para la incorporación de directrices de actuación necesarias para el seguimiento de larvas y ejemplares adultos, en caso de detectarse la presencia de esta especie.

3.3.2. PROTOCOLO DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE EMBARCACIONES.

Actualmente la Confederación Hidrográfica del Guadiana tiene establecido un "Protocolo de desinfección de embarcaciones para prevenir la entrada del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*)", de obligado cumplimiento según *Resolución de 4 de febrero de 2013, de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, sobre limitaciones y condiciones al ejercicio de la navegación deportiva o de recreo en aguas continentales de la cuenca del Guadiana* (Publicado en: «BOE» núm. 39, de 14 de febrero de 2013). Cabe destacar en este punto, que a la fecha de



realización de este estudio, la Resolución del año 2015 se encuentra en proceso de redacción, pendiente de ser publicada.

A continuación se describe este procedimiento:

3.3.2.1. Embarcaciones a motor.

Limpieza de los elementos exteriores de la embarcación, remolque y vehículo.

- Deben limpiarse todas aquellas partes de la embarcación, remolque y vehículo que hayan estado en contacto con el agua, así como los recipientes o departamentos utilizados como viveros, para el almacenamiento de aguas residuales o aguas procedentes del río.



Ilustración 18. Limpieza de exterior de una embarcación.
Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.

- Se eliminará cualquier resto que haya podido adherirse al casco o al motor de la embarcación mediante agua caliente a presión. La temperatura mínima del agua de lavado debe ser de 60 °C y preferentemente debe tratarse de agua clorada.

- El agua empleada en la limpieza de la embarcación no puede ir en ningún caso a cursos de agua o redes de alcantarillado, debe recogerse en depósitos o verterse directamente sobre terreno filtrante.
- Se recomienda el uso de hidrolimpiadoras que reúnan las siguientes características:
 - Presión: 160 bar mínimo.
 - Temperatura de trabajo: 60 °C mínimo. Calentador instantáneo.
 - Caudal: 600 - 1200 l/h.
 - Una manguera de suficiente longitud para alcanzar todas las partes a lavar con comodidad.
 - Alimentación: Preferiblemente gasoil, para garantizar el funcionamiento en cualquier sitio sin necesidad de contar con toma eléctrica.
- Si la desinfección en el lugar de entrada de la embarcación no fuera posible con un equipo móvil de limpieza y desinfección, deberá utilizarse la estación fija de desinfección más próxima.
- Fumigar con solución desinfectante (se debe añadir 1 ml/l, es decir unas 20 gotas de lejía por cada litro de agua) las zonas de la embarcación menos accesibles.

Limpieza y renovación del circuito de refrigeración del motor.

- La limpieza debe hacerse con algún sistema que garantice la circulación de agua caliente (60°C) por el sistema de refrigeración del motor. Principalmente hay dos tipos:
 - Sumergir el motor en un recipiente con agua caliente, para motores de pequeñas dimensiones.





Ilustración 19. Limpieza de motor. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.

- Hacer circular agua caliente a presión por el circuito de refrigeración, directamente, si es posible, o con la ayuda de piezas especiales que facilitan esta labor.
- Al finalizar la navegación, renovar los circuitos de refrigeración de los motores con agua limpia. Para ello se recomienda una pequeña aceleración antes de parar el motor para elevar la velocidad de circulación del agua y temperatura del motor provocando así la muerte de las larvas. Posteriormente se extrae el motor del agua y se enjuaga con agua limpia.

3.3.2.2. Embarcaciones sin motor.

- Antes de meter la embarcación en un río, se asegurará que la barca o piragua está completamente seca y limpia, para evitar el traslado de larvas de mejillón y la introducción de adultos.

- En el lugar donde se proceda a la desinfección, se procederá al vaciado del agua del interior de la piragua o barca. Si la piragua es insumergible, se debe vaciar también el interior del casco.
- Se inspeccionará cuidadosamente la embarcación para eliminar cualquier resto que pueda aparecer adherido al casco.
- Fumigar con solución desinfectante (se debe añadir 1 ml/l, es decir unas 20 gotas de lejía por cada litro de agua) las zonas de la embarcación menos accesibles.

3.3.2.3. Embarcaciones de vela.

El proceso de desinfección y limpieza de las embarcaciones de vela será el mismo que el de las embarcaciones a remo, y si dispusiera de motor auxiliar, éste se limpiará y renovará tal y como figura en el apartado 3.3.2.1.

3.3.2.4. Tablas de windsurf y float tubes.

Las tablas de surf, en sus distintas modalidades, o los medios de flotación diversos (float tubes, patos, catamaranes...) serán sometidos a desinfección y limpieza de forma análoga a las embarcaciones a remo.

3.3.2.5. Desinfección de equipos.

Para todos los supuestos anteriores, en los casos en que corresponda, se seguirán las siguientes recomendaciones:

- Se procederá al vaciado de restos de agua de lastre y viveros de la embarcación, depósitos, sentinas, así como de los equipos que hayan estado en contacto con el agua.



- Se deberá tener especial cuidado y atención con aquellas partes que puedan contener accidentalmente ejemplares de mejillón, como el dibujo de la suela de las botas, ganchos, tornillos, etc.
- Las artes de pesca (redes, nasas, etc.) deben ser desinfectadas, bien por inmersión o fumigación con solución desinfectante (se debe añadir 1 ml/l, es decir unas 20 gotas de lejía por cada litro de agua). Se debe tener especial cuidado de que las aguas de lavado no vuelvan al medio acuático, para evitar afecciones a otros organismos.
- El resto del equipo deportivo que haya estado en contacto con el agua (casco, palas de remo, salvavidas, etc.) debe ser desinfectado bien por remojo, inmersión o fumigación con una solución desinfectante (se debe añadir 1 ml/l, es decir unas 20 gotas de lejía por cada litro de agua). Se debe tener especial cuidado de que las aguas de lavado no vuelvan al medio acuático, para evitar afecciones a otros organismos.

3.3.2.6. Competiciones deportivas.

- Los organizadores de cualquier competición deportiva (pesca, piragüismo, remo...) en la que intervenga cualquier tipo de embarcación o artefacto flotante, que tenga lugar dentro del ámbito de gestión de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, deberán asegurarse de que todas las embarcaciones o artefactos participantes reciben un tratamiento adecuado a sus características.
- Se exigirá un certificado expedido por la Confederación Hidrográfica del Guadiana u Organismo autorizado.

A continuación, se muestra el modelo de certificado de desinfección de embarcaciones utilizado actualmente por la Confederación Hidrográfica del Guadiana. Esta ficha de desinfección consta de tres copias tricolor, de forma que el ejemplar blanco es para el interesado, el azul para el Servicio de Aplicaciones Forestales de la Confederación y el ejemplar amarillo para la Comisaría de Aguas:





MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADIANA

FICHA DE DESINFECCIÓN

Que la embarcación de clase (Código CHG) _____ con nº de matrícula _____ y sus aparejos asociados, remolcada por el vehículo con nº de matrícula _____, han sido desinfectados el día _____ de _____ de 20____, siguiendo los protocolos establecidos en la Estrategia Nacional para el control de Mejillón Cebra (*Dreissena polymorpha*), aprobada por la Confederación Sectorial de medioambiente el 6 de septiembre de 2007, para aguas no infectadas por el Mejillón Cebra.

Que dicha embarcación tiene autorización para navegar con motivo de,

Espacio reservado para etiqueta (*)

Que según la Resolución de 4 de febrero de 2013, de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, sobre limitaciones de navegación y flotación, deportiva o de recreo, en aguas continentales de la cuenca del Guadiana, los cánones de utilización del dominio público hidráulico aprobados, para el concepto de desinfección (cánones por embarcación o medio de flotación) son:

Tipo de embarcación o medio de flotación		Canon (€)
Sin motor	A.- Pato o float tube	3,15
	B.- Canoa o piragua	6,31
	C.- Vela	13,67
Con motor	D.- Potencia menor 30 CV.	15,77
	E.- Potencia mayor o igual a 30	23,13

En _____, a _____ de _____ de 20__

Por la Confederación Hidrográfica
del Guadiana

Conforme

Fdo.: _____

Fdo.: _____

Ejemplar blanco para el Interesado
Ejemplar azul para S.A.F.
Ejemplar amarillo para Comisaría de Aguas

(*) Insertar etiqueta con datos del evento o particular
(Código CHG) A,B,C,D,E. Según tipo de embarcación

Ilustración 20. Modelo de certificado de desinfección de embarcaciones utilizado actualmente por la Confederación Hidrográfica del Guadiana Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.



3.3.3. PROTOCOLO DE DESINFECCIÓN PARA MATERIAL DE PESCA Y DE OTROS USOS RECREATIVOS.

Después de pescar o realizar cualquier uso recreativo del agua en las masas de agua en las que se conozca o se sospeche que existan larvas o adultos del mejillón cebra, todos los utensilios utilizados, tales como botas, neoprenos, guantes, colchonetas, cañas, salvavidas, palas de remo, etc., deben ser inspeccionados y desinfectados antes de ser utilizados en otro lugar.

- Se procederá al vaciado de restos de agua de lastre y viveros de la embarcación, depósitos, sentinas, así como de los equipos que hayan estado en contacto con el agua en el mismo lugar donde se haya realizado la actividad.
- Se inspeccionará visualmente todo el equipo para la eliminación de ejemplares de mejillón cebra visibles y restos de vegetación acuática. Se deberá tener especial cuidado y atención con aquellas partes que puedan contener accidentalmente ejemplares de mejillón, como el dibujo de la suela de las botas, ganchos, tornillos, etc.
- El material desechable que haya estado en contacto con el agua, se guardará en una bolsa para depositarlos posteriormente en el contenedor adecuado.
- Las artes de pesca (redes, nasas, etc.) deben ser desinfectadas, por inmersión o fumigación con solución desinfectante (se debe añadir 1 ml/l, es decir unas 20 gotas de lejía por cada litro de agua). Se debe tener especial cuidado de que las aguas de lavado no vuelvan al medio acuático, para evitar afecciones a otros organismos.
- El resto del equipo deportivo que haya estado en contacto con el agua (casco, palas de remo, salvavidas, etc.) debe ser desinfectado por remojo, inmersión o fumigación con una solución desinfectante (se debe añadir 1 ml/l, es decir unas 20 gotas de lejía por cada litro de agua). Se debe tener especial cuidado de que las aguas de lavado no vuelvan al medio acuático, para evitar afecciones a otros organismos.



- Finalmente, se secarán los equipos minuciosamente, de manera que no quede ningún resto de humedad donde pueda refugiarse alguna larva de mejillón cebrá y ser transportada a otra masa de agua.

3.3.4. PROTOCOLO DE DESINFECCIÓN PARA PEQUEÑOS EQUIPOS DE TRABAJO EN MEDIOS ACUÁTICOS.

Tras realizar trabajos de muestreo en las masas de agua, todo el equipo utilizado (botas, neoprenos, vadeadores, redes, cubetas, guantes desechables, sensores, etc.) que haya entrado en contacto con el agua debe ser inspeccionado y desinfectado antes de ser utilizado en otro lugar.

A la hora de planificar cualquier tipo de muestreo se recomienda muestrear primero las masas de agua no infestadas, con el fin de evitar la infección accidental de una nueva masa.

1. En el mismo lugar de muestreo se procederá al minucioso vaciado de restos de agua de los equipos.
2. Inspección visual de todo el equipo para la eliminación de posibles ejemplares de mejillón cebrá y restos de vegetación acuática.
3. Los guantes y material desechables se meterán en una bolsa, que posteriormente se depositará en el contenedor adecuado.
4. Los sensores de los aparatos de medición se aclararán en el lugar de muestreo con agua destilada con el objeto de eliminar posibles larvas.
5. Los equipos deben ser desinfectados, por inmersión o fumigación con solución desinfectante (se debe añadir 1 ml/l, es decir unas 20 gotas de lejía por cada litro de agua). Se debe tener especial cuidado de que las aguas de lavado no vuelvan al medio acuático, para evitar afecciones a otros organismos. Si la desinfección en el lugar de

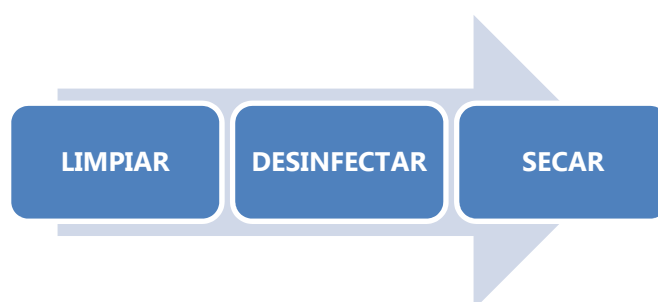


muestreo no es posible se realizará en el punto de desinfección más cercano habilitado por la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

6. Por último, se procederá al secado de los equipos, de manera que no quede ningún resto de humedad donde pueda refugiarse alguna larva de mejillón cebra y ser transportada a otra masa de agua. En el caso de que el equipo no vaya a ser usado se mantendrá en cuarentena durante diez días aumentando ese tiempo en función de las condiciones climatológicas, de almacenamiento, etc. En el caso de no poder mantener los días de cuarentena se procederá al secado manual mediante bayetas secantes.

3.3.5. PROTOCOLO DE LIMPIEZA PARA HIDROAVIONES Y OTROS MEDIOS PARA EXTINCIÓN DE INCENDIOS.

Respecto al uso del agua de los embalses, en las labores de extinción de incendios forestales, la Confederación Hidrográfica del Guadiana ha desarrollado un mapa de riesgo de introducción del mejillón cebra, de forma que se conocen cuáles son las masas de agua más vulnerables ante esta especie, de las cuales se tomará agua en última estancia y si lo hacen, de forma exclusiva con el fin de evitar contaminaciones. Por otra parte, la posterior limpieza de los equipos aéreos se deberá realizar de forma protocolizada cuando aterricen tras la extinción, siguiendo los siguientes pasos:



1. Vaciado de aguas, inspección visual y eliminación de restos:

- Una vez finalizadas las labores de extinción de incendios, se procederá al minucioso vaciado de restos de agua de los equipos y vehículos.
- Se inspeccionará visualmente todos los equipos para la eliminación de posibles ejemplares de mejillón cebra y restos de vegetación acuática y/o cualquier material que pudiera quedar adherido.

2. Limpieza y desinfección.

- Se realizará una limpieza rutinaria exhaustiva de los restos de agua, barro o vegetación que haya quedado en equipos y vehículos.
- Se aplicará una desinfección adecuada:
 - Es recomendable utilizar una estación de desinfección oficial. Dicha limpieza se acreditará por parte de la Confederación Hidrográfica del Guadiana en dicha estación.
 - Si no es posible utilizar una estación de desinfección oficial se realizará la desinfección por inmersión o fumigación con una solución desinfectante: se debe añadir 1 ml/l, es decir unas 20 gotas de lejía por cada litro de agua.

Es aconsejable para la fumigación el uso de fumigadoras portátiles que garanticen que la disolución clorada llega a todas las superficies.

Se debe prestar especial atención a las aguas de lavado con el objeto de que no vuelvan al medio acuático y evitar así posibles vertidos que afecten a la flora y la fauna del medio.



3. Secado.

Para garantizar una total limpieza y desinfección se aconseja secar los equipos y vehículos que hayan entrado en contacto con el agua después de la desinfección. Se debe realizar un secado manual en la medida de las posibilidades y si no es posible se recomienda un periodo de cuarentena de diez días.

3.3.6. PROTOCOLO DE LIMPIEZA PARA MAQUINARIA DE TRABAJO.

Después de la realización de trabajos en masas de agua que no se ubiquen la cuenca del Guadiana, todo el equipo y maquinaria utilizado en la obra o movimientos de tierras que haya entrado en contacto con el agua debe ser inspeccionado y desinfectado antes de ser utilizado en otro lugar.

1. Una vez finalizadas las obras y antes de desplazarse a otro lugar se procederá al minucioso vaciado de restos de agua de los equipos y maquinaria.
2. Se inspeccionará visualmente todo el equipo para la eliminación de ejemplares visibles de mejillón cebra y restos de vegetación acuática y/o cualquier material que pudiera quedar adherido.
3. Los guantes y material desechables se deben guardar en una bolsa, para ser posteriormente depositado en un contenedor habilitado para este tipo de residuos.
4. Se realizará una limpieza exhaustiva de los restos de barro y pequeños volúmenes de agua que queden recogidos en los compartimentos de las máquinas y los equipos (palas, remolques, etc.).
5. Se aplicará una desinfección adecuada:



- a. Es recomendable utilizar una estación de desinfección oficial. Dicha limpieza se acreditará por parte de la Confederación Hidrográfica del Guadiana en dicha estación.
- b. Si no es posible utilizar una estación de desinfección oficial se realizará la desinfección por inmersión o fumigación con una solución desinfectante: se debe añadir 1 ml/l, es decir unas 20 gotas de lejía por cada litro de agua.

Es aconsejable para la fumigación el uso de fumigadoras portátiles que garanticen que la disolución clorada llega a todas las superficies.

Se debe prestar especial atención a las aguas de lavado con el objeto de que no vuelvan al medio acuático y evitar así posibles vertidos que afecten a la flora y la fauna del medio.

6. Para garantizar una total limpieza y desinfección se aconseja secar los equipos y vehículos que hayan entrado en contacto con el agua después de la desinfección. Se debe realizar un secado manual en la medida de las posibilidades y si no es posible se recomienda un periodo de cuarentena de diez días.

3.3.7. PROTOCOLO DE DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS POBLACIONES DE MEJILLÓN CEBRA.

En el caso de que se constate en un futuro la presencia del mejillón cebra en el ámbito de la demarcación hidrográfica del río Guadiana, debería aprobarse un Plan específico para el seguimiento y control de la expansión de esta especie, que como mínimo abarcará los siguientes aspectos:



3.3.7.1. Actuaciones de detección temprana.

La detección precoz de la especie es fundamental para gestionar la posible invasión, especialmente para evitar su propagación y aislar los focos, ya que por el momento no se conocen métodos efectivos de control o erradicación. En este sentido, la Confederación Hidrográfica del Guadiana estimó necesario la puesta en práctica de unas medidas que proporcionaran información sobre la presencia o ausencia del mejillón cebra en las masas de agua de la cuenca, iniciando desde el año 2007 la monitorización periódica de larvas planctónicas de mejillón cebra en las masas de agua de su competencia. Los últimos análisis realizados, a partir de las muestras obtenidas en las prospecciones realizadas en 33 masas de agua pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Guadiana, **indican que hasta dicha fecha no se han detectado larvas planctónicas de mejillón cebra en ninguna de las masas de agua estudiadas.**

No obstante, con objeto de garantizar la detección con la mayor prontitud posible de la aparición del mejillón cebra en la cuenca, se considera necesario:

- dar continuidad a las campañas de monitorización desarrolladas hasta la actualidad, aplicándose en todas las masas de agua naturales (embalses, lagunas naturales) y en infraestructuras explotadas por la propia Confederación, tales como canales y tomas de agua,
- y avanzar en la incorporación de directrices de actuación necesarias para el seguimiento de larvas y ejemplares adultos, en caso de detectarse la presencia de esta especie.

En este sentido, resulta de gran utilidad el establecimiento de protocolos o planes que complementen las actuaciones existentes, determinándose el personal técnico y de la instrumentación necesaria para llevar a cabo los muestreos, así como la formación necesaria para la identificación de los ejemplares y el desarrollo de los muestreos.



Para el establecimiento de este sistema de seguimiento propuesto sería necesario poner en marcha las siguientes actuaciones:

- **Análisis y determinación de los testigos y ubicaciones más adecuados para la detección precoz de presencia de larvas y adultos;** En esencia se incluyen las medidas dirigidas a detección de larvas y adultos (filtrado de agua, colocación de testigos, boyas, inspección de infraestructuras, etc.). A modo de ejemplo, en el caso de embalses y lagunas naturales, serían zonas susceptibles de inspección las orillas y las estructuras como embarcaderos o captaciones, además de tener en cuenta la toma de muestras de agua y la colocación de testigos desde boyas o bien fijados en las presas y/o orillas. En el caso de ríos, se buscarían aquellos substratos potencialmente colonizables. También se incluirían como puntos a inspeccionar las infraestructuras hidráulicas tales como canales y tomas de agua.
- **Ejecución de prospecciones subacuáticas para la revisión de infraestructuras sumergidas.**
- **Elaboración de un protocolo de inspección de los testigos instalados,** estableciendo la metodología de control, la periodicidad y temporalidad de estudio, los parámetros adicionales a recabar en los puntos de control, y los recursos humanos y materiales necesarios para el desarrollo de estas actividades.
- **Definición de un método de interpretación de la información suministrada por los testigos.**
- **Desarrollo de labores de información, divulgación y exposición de experiencias de control,** claves en la prevención y control de esta especie exótica invasora.

3.3.7.2. Seguimiento de poblaciones.

Una vez que el mejillón cebra se ha sido introducido en una nueva área, resulta fundamental implantar una sistemática de actuación que permita determinar con mayor exactitud las



condiciones ambientales más idóneas para el desarrollo del molusco, proporcionando información de utilidad para realizar previsiones acerca de la evolución de las poblaciones detectadas, así como del posible establecimiento de la especie en otras masas de agua no afectadas.

De este modo, en caso de detectarse el mejillón cebra en la Cuenca del Guadiana, se considera fundamental llevar a cabo el **seguimiento de las poblaciones de mejillón cebra**, desarrollándose un programa específico de seguimiento de la presencia de larvas y adultos en las masas de agua afectadas, que integre, además de las acciones de seguimiento descritas para la detección temprana, las actuaciones que a continuación se indican:

- **Seguimiento de larvas al objeto de relacionar determinadas variables fisicoquímicas con la presencia y la densidad de las mismas.**

Para ello, se precisará el desarrollo de campañas de muestreo mediante la toma de muestras de agua acompañado de toma de datos físico-químicos mediante sondas multiparamétricas. Entre otros parámetros, podrían tomarse datos de concentración de calcio, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto y temperatura del agua.

- **Seguimiento de individuos adultos.** En la misma línea del seguimiento de larvas, se llevaría a cabo el seguimiento de las poblaciones adultas, una vez instaladas en una masa de agua determinada. Cabe destacar la experiencia desarrollada en el seguimiento de la presencia de individuos adultos de mejillón cebra por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en el Embalse de Iznájar. Este trabajo se ha centrado en el estudio de la distribución vertical de esta especie, para lo cual, junto a la colocación de testigos verticales para el control de la presencia de mejillón adulto, se ha llevado a cabo periódicamente la medición de los gradientes de temperatura (formación de la termoclina) y oxígeno disuelto en agua en el embalse.

La distribución vertical del mejillón se ha estudiado mediante la instalación de estaciones de control vertical de cota fija y profundidad variable junto al paramento de la presa. La



estación de control consiste en un cabo de 50 metros de polipropileno de 12 mm de diámetro en el que se fueron marcando las cotas con nudos cada dos metros (tomándose la 421,06 metros sobre el nivel del mar, correspondiente a la cota de lámina máxima), para el posterior control de la fijación de individuos. Para asegurar la verticalidad de la estación de muestreo se colocó al final de la misma un lastre.



Ilustración 21. Visión global de uno de los testigos colocados en el Embalse de Iznájar. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir

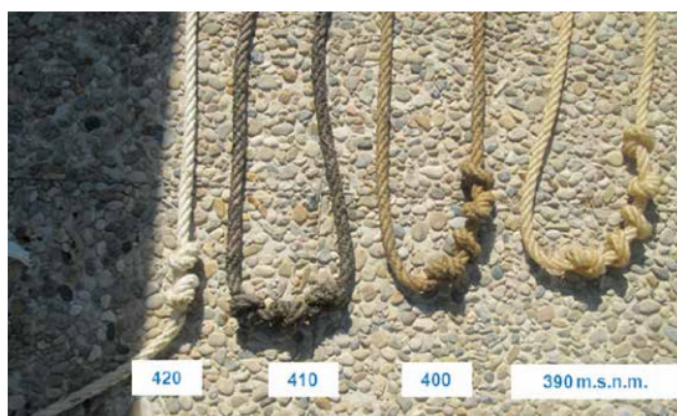


Ilustración 22. Muestra del método de identificación de cotas por nudos en los testigos colocados en el Embalse de Iznájar. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir

Para la medida de temperatura y oxígeno se utilizó un oxímetro junto con una sonda de oxígeno y temperatura. La correlación entre ambos parámetros ha permitido obtener información de gran importancia que resulta fundamental para tomar decisiones que permitan optimizar la gestión del recurso en maniobras de desembalse, con objeto de la eliminación del mejillón cebra y de las infraestructuras hidráulicas y masas de agua abajo del mismo.

- **Inventario de las infraestructuras hidráulicas afectadas y seguimiento de las poblaciones de mejillón cebra instaladas.**
- Finalmente, en el caso de embalses infestados, sería de gran utilidad realizar un **muestreo sociológico de hábitos, costumbres y conocimientos de los usuarios** que los frecuentan, con el objeto de ampliar el conocimiento para una mejora de la gestión del riesgo de entrada y la propuesta de medidas de gestión.

3.3.7.3. Afección a especies amenazadas

Dentro de las campañas de muestreo a realizar deberá prestarse particular atención a aquellos lugares que alberguen poblaciones de especies acuáticas con algún tipo de amenaza según la legislación vigente. En este sentido, tendrá un seguimiento específico el área de distribución de los bivalvos autóctonos, especialmente sensibles a una posible afección por la introducción del mejillón.

En caso de detectarse afecciones sobre especies amenazadas, ya sea sobre los bivalvos autóctonos u otras especies amenazadas, deberán elaborarse los estudios y medidas necesarias para minimizar cualquier efecto negativo sobre las mismas.





BLOQUE 4

Actuaciones en caso de detección del mejillón cebra.



“Determinación de las principales zonas de riesgo para el mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y recomendaciones prácticas para prevenir su introducción y su control/eliminación”.



4. ACTUACIONES EN CASO DE DETECCIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA.

4.1. MEDIOS PARA LA COORDINACIÓN DE ACTUACIONES.

Para garantizar una adecuada respuesta frente una situación de emergencia, resulta fundamental establecer los mecanismos de coordinación entre las diferentes entidades implicadas, definiéndose las responsabilidades de cada una de ellas, los canales de comunicación y las directrices o protocolos de actuación que garanticen la rápida puesta en marcha de las actuaciones necesarias.

Es por ello que, una vez declarada una situación de emergencia por detección del mejillón cebra, se considera necesaria la constitución de una **“Comisión de seguimiento y coordinación para el control del mejillón cebra de la Cuenca Hidrográfica del Guadiana”** como mecanismo de coordinación entre entidades con competencias en la gestión de la especie en los distintos territorios del ámbito de la Cuenca Hidrográfica del Guadiana.

La Confederación Hidrográfica del Guadiana sería el Organismo Coordinador; teniendo en cuenta la importancia de la gestión de los embalses en la prevención y control del mejillón cebra, la máxima responsabilidad de esta comisión recaería sobre la Dirección Técnica de la Confederación, formando parte de la Comisión también representantes de las diferentes unidades de Dirección Técnica y Comisaría de Aguas y Planificación; asimismo, sería conveniente que hubiera representación de al menos el Área de Explotación, el Servicio de Aplicaciones Forestales y Agronómicas y el Área de Calidad de las Aguas de esta Confederación.

Podrían tener representación las Consejerías con competencia en Medio Ambiente de las distintas comunidades autónomas del ámbito territorial de la cuenca hidrográfica del Guadiana, así como otras Confederaciones Hidrográficas, bien por verse afectadas por el mejillón cebra, o por su proximidad geográfica respecto a la cuenca del Guadiana. Adicionalmente, podrían tener cabida otros Organismos interesados en el ámbito local, como es el caso de Diputaciones provinciales y



Ayuntamientos así como representantes de colectivos relacionados con el uso y la gestión del agua interesados en la lucha contra el mejillón cebra. Finalmente, se considera de interés la posible coordinación con Portugal, a través de los mecanismos establecidos en el Convenio de Albufeira.

En este contexto cabe destacar, que el artículo 36 bis del *Texto Refundido de la Ley de Aguas*, aprobado por el *Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio*, dispone la existencia en el caso de las demarcaciones hidrográficas con cuencas intercomunitarias, como es el caso de la cuenca del Guadiana, de un órgano de cooperación denominado **Comité de Autoridades Competentes**; El *Real Decreto 126/2007, de 2 de febrero*, regula la composición, funcionamiento y atribuciones de los mismos.

El Comité de Autoridades Competentes de la Demarcación del Guadiana quedó constituido en octubre de 2008, para garantizar la adecuada cooperación entre las distintas administraciones en la aplicación de las normas de protección de las aguas.

En el marco de esta estructura organizativa, la **"Comisión de seguimiento y coordinación para el control del mejillón cebra de la Cuenca Hidrográfica del Guadiana"**, quedaría integrada como un grupo de trabajo sectorial del Comité de Autoridades Competentes.

La Comisión se reuniría periódicamente, al objeto de realizar un seguimiento de las actuaciones encaminadas a la gestión del mejillón cebra. Entre las funciones que desempeñaría esta comisión se encuentran las siguientes:

- Gestión de avisos y coordinación de situaciones de emergencia.
- Seguimiento e investigación de la especie, compartiéndose entre las administraciones la información generada acerca del estudio de la especie, sus impactos, las técnicas existentes para su eliminación, etc.



- Planificación, puesta en marcha y seguimiento de medidas para la erradicación de las poblaciones existentes y prevención de su expansión.
- Divulgación y formación en relación con la especie y su gestión.
- Coordinación entre administraciones para el desarrollo de actuaciones complementarias y conjuntas.

Dado que hasta el momento no se tiene constancia de la presencia del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana, se podría establecer inicialmente un **Grupo de trabajo** más reducido, constituido por representantes del Servicio de Aplicaciones Forestales y Agronómicas y del Servicio de Explotación, y con representación de la Comisaría de Aguas (Área de Calidad de las Aguas y Navegación). Este Grupo de trabajo, bajo la Dirección Técnica de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, se encargaría de la coordinación, desarrollo y seguimiento de actuaciones de carácter preventivo, descritas en el bloque 3 de este documento. En caso de que aparecieran registros de presencia del mejillón cebra, se incrementaría la frecuencia de las reuniones, ampliándose la representación de los participantes en función de las necesidades de actuación, constituyéndose definitivamente la citada **"Comisión de seguimiento y coordinación para el control del mejillón cebra de la Cuenca Hidrográfica del Guadiana"**.

De este modo, ante un aviso de presencia del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana, el Grupo de trabajo propuesto, bajo la Dirección Técnica de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, se reuniría para la toma urgente de decisiones, convocándose finalmente a la **Comisión**.

4.2. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN EN CASO DE DETECCIÓN TEMPRANA.

Para minimizar el tiempo transcurrido entre la detección del mejillón cebra y la puesta en marcha de un plan de acción, es necesario disponer de un protocolo adecuado que establezca claramente



las directrices a seguir en caso de detectarse una alerta, y que garantice el aseguramiento de unos fondos, recursos materiales y humanos adecuados para una respuesta rápida. El protocolo de actuación en caso de detección temprana del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana se estructuraría en dos horizontes:

1. AVISO DE PRESENCIA (se detecta y verifica la presencia de mejillón cebra).

El **procedimiento de actuación en caso de aviso de presencia del mejillón cebra** se especifica a continuación:

- **Recepción del aviso:** Recogida de datos del aviso (datos del denunciante, incluyendo teléfono y dirección de contacto, localización de la zona de avistamiento y fecha y hora del aviso). Para ello, se plantea la habilitación de una **Oficina Técnica de la Confederación Hidrográfica del Guadiana para el control y seguimiento de especies invasoras**, que se encargue de, entre otras funciones, garantizar una coordinación efectiva ante posibles situaciones de emergencia. Esta oficina, a través de personal e instalaciones propias y la dotación de canales de comunicación con el ciudadano (teléfono de emergencia, correo electrónico, alertas desde página web), se encargaría de gestionar la atención temprana a través de la recepción de avisos sobre la posible detección del mejillón cebra en cualquier punto de la cuenca. En el caso de que la situación de emergencia se inicie tras la identificación de larvas o adultos durante las acciones de seguimiento preventivo por parte de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, se procedería directamente a la activación de la emergencia.
- **Validación del aviso:** Se solicitará una descripción al denunciante sobre las características de la especie al objeto de verificar inicialmente que se trata de mejillón cebra. Así mismo, se llevará a cabo la movilización de personal especializado de la



Confederación Hidrográfica del Guadiana al emplazamiento para la comprobación de la existencia de la especie. En caso de verificarse su presencia, se tomarán coordenadas y fotografías de la zona, describiéndose las características del emplazamiento, así como el número de ejemplares, edad, y otros datos que se consideren relevantes. Inmediatamente se comunicaría la validación del aviso para la activación de emergencia.

- **Activación de la emergencia.** Una vez recibida la validación del aviso se informará inmediatamente a la Dirección Técnica de la Confederación Hidrográfica del Guadiana para la convocatoria del **Grupo de trabajo** constituido inicialmente para el seguimiento de actuaciones para la prevención del mejillón cebra (descritas en el bloque 3) mediante una "**Reunión de Emergencia**". Tal y como se ha comentado anteriormente, esta responsabilidad debería recaer sobre la Dirección Técnica de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, al tratarse de un cargo con la autoridad suficiente como para ordenar la puesta en marcha con carácter de urgencias de medidas relacionadas con la gestión de embalses, infraestructuras hídricas, etc., y convocar al Grupo de trabajo para la planificación de las actuaciones necesarias para abordar el problema identificado.
- **Reunión de emergencia.** El Grupo de trabajo, junto a la Dirección Técnica, se reunirá lo antes posible para proponer las medidas y tomar las decisiones que se consideren oportunas. El orden del día a tratar en esta reunión podría constar de los siguientes puntos:
 - ✓ Descripción de la situación de emergencia: identificación de la zona afectada (sistema natural o infraestructura)
 - ✓ Identificación de zonas naturales vulnerables a la propagación de la especie desde el punto de localización de la especie.



En el Bloque 2 del presente documento se recoge una evaluación de la vulnerabilidad de los humedales de la cuenca hidrográfica del río Guadiana ante la invasión del mejillón cebra, obteniéndose una cartografía en la que se representan los posibles puntos de infección y el nivel de riesgo existente en cada una de las masas de agua analizadas. Así mismo, se lleva a cabo una simulación del riesgo de propagación y de la dispersión del mejillón cebra en la cuenca, en caso de producirse un hipotético caso de invasión)

- ✓ Aprobación de la puesta en marcha de actuaciones con carácter urgente para evitar la propagación de la especie: confinamiento, cierre de presas, prohibición provisional de la navegación y otros usos y actividades relacionadas con el uso del agua.
- ✓ Planificación de actuaciones para el estudio de la población detectada, al objeto de determinar si se trata de un caso aislado o existe riesgo de establecimiento de una población estable.
- ✓ Aprobación de la puesta en marcha y dotación de los recursos necesarios para la intensificación de las tareas de seguimiento preventivo en aquellas áreas más vulnerables a la aparición del mejillón cebra, así como en aquellas zonas de alta sensibilidad desde el punto de vista ecológico que pudieran verse afectadas ante un posible caso de propagación. Estas actuaciones comprenderán: seguimiento del estado larvario y estado adulto en el medio natural, y prospecciones en infraestructuras.
- ✓ Aprobación de la puesta en marcha y dotación de los recursos necesarios para la instalación de medidas para evitar la afección en infraestructuras hídricas de interés que pudieran verse afectadas.
- ✓ Planificación de actuaciones de información a las entidades locales, y colectivos de usuarios acerca de las medidas a desarrollar.
- ✓ Establecimiento de las directrices, responsabilidades y plazos de actuación para la valoración de las medidas correctoras más adecuadas para la erradicación de la especie y la minimización de los efectos de la invasión.



En el apartado 4.6. de este documento, se realiza un análisis de las diferentes técnicas existentes en la actualidad para la erradicación del mejillón cebra, incluyéndose, además de la descripción del método, una evaluación de la eficacia, coste, e impacto ambiental de cada una de ellas.

En el siguiente gráfico se muestra un esquema de las actuaciones que comprendería el **Procedimiento de actuación en caso de aviso ante la detección del mejillón cebra:**

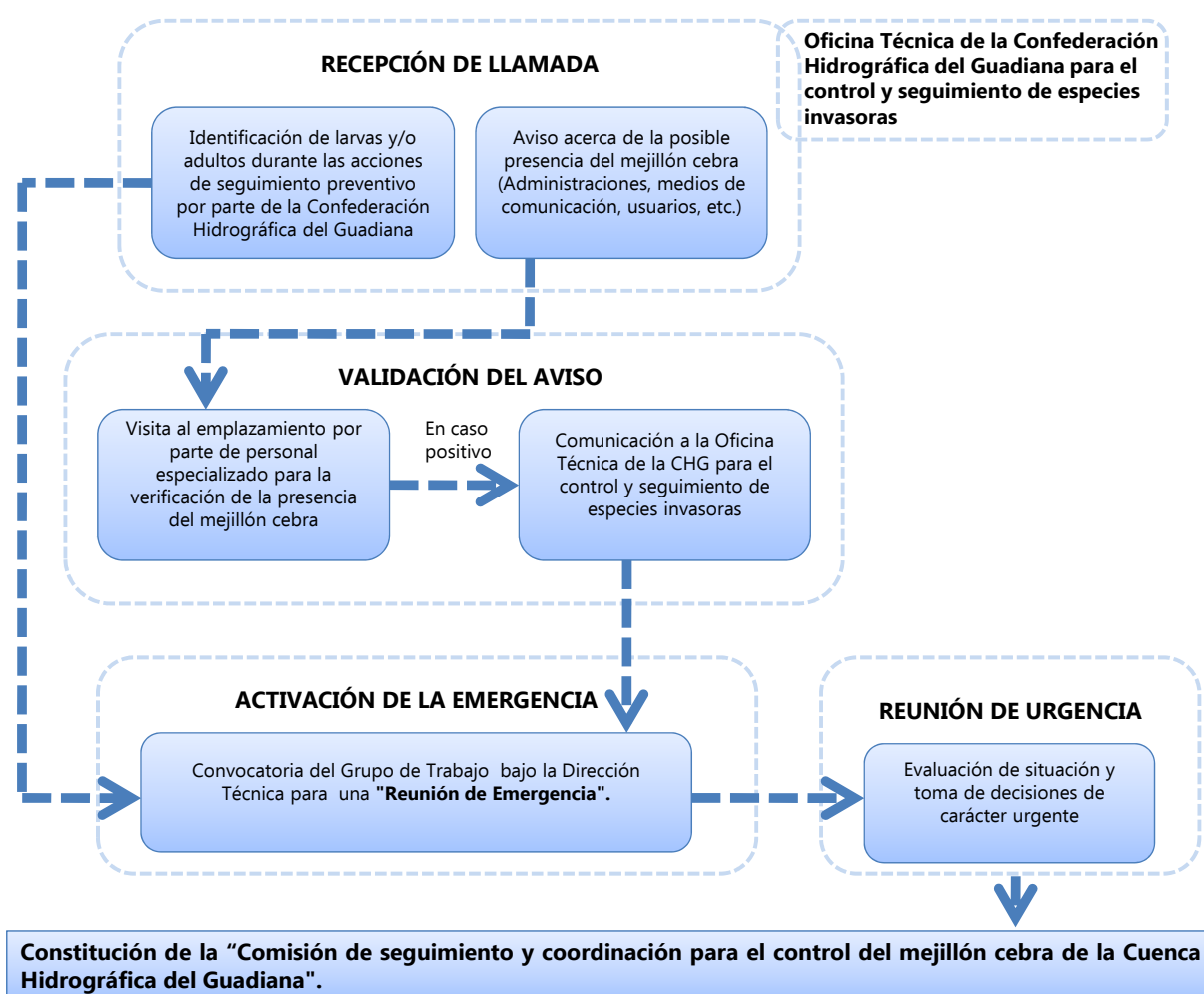


Ilustración 23. Esquema del Protocolo de actuación en caso de aviso ante la detección del mejillón cebra en la Cuenca Hidrográfica del Guadiana.



2. Presencia constatada. Seguimiento y control.

Una vez activada la emergencia e iniciadas las actuaciones con carácter de urgencia que se estimen necesarias, se procedería a la constitución de la "**Comisión para el seguimiento y coordinación para el control del mejillón cebra en la Cuenca Hidrográfica del Guadiana**", al objeto de dar continuidad a las actuaciones necesarias para el control y erradicación del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana. Tal y como se describe anteriormente, esta Comisión estaría integrada por aquellos cargos e instituciones con competencias e intereses en la gestión de la especie en los distintos territorios del ámbito de la Cuenca Hidrográfica del Guadiana. Esta colaboración permitiría compartir entre las distintas administraciones la información que se genere y establecer un mecanismo de coordinación para el desarrollo de actuaciones conjuntas y complementarias.

En las reuniones de esta Comisión se abordarían temas como los que se indican a continuación:

- ✓ Conocimiento y seguimiento del estado de la invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana.
- ✓ Planificación y seguimiento de las distintas acciones que se ejecuten para el control y gestión de las masas de agua invadidas o potencialmente invadidas, e infraestructuras afectadas.
- ✓ Planificación y seguimiento de las medidas a adoptar para evitar la propagación y dispersión del mejillón cebra a otras masas de agua y reducir el impacto negativo que la expansión de esta especie tendría sobre los diferentes elementos del medio natural y las infraestructuras.

En el seno de esta Comisión quedaría integrado el Grupo de trabajo de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, pudiendo crearse otros grupos específicos destinados a tareas de investigación, comunicación, etc.



Finalmente, para la correcta aplicación del **Procedimiento de actuación en caso de aviso ante la detección del mejillón cebra** se contempla el desarrollo de acciones formativas en las sedes de la Confederación Hidrográfica de Mérida, Badajoz y Ciudad Real, en las que se informaría al personal involucrado en la gestión del mejillón cebra sobre la importancia del control de la especie, las medidas preventivas adoptadas, y las directrices a seguir en caso de registrarse una situación de emergencia.

En el Bloque 5 se anexa el contenido de un folleto informativo diseñado para la difusión de las diferentes actuaciones de la Confederación Hidrográfica del Guadiana relacionadas con la prevención, control y erradicación del mejillón cebra.

4.3. PROPUESTAS DE ACTUACIÓN EN CASO DE MASAS DE AGUA AFECTADAS.

Al objeto de apoyar al proceso de toma de decisiones en el caso de presencia o proliferación del mejillón cebra, se realiza a continuación una propuesta de actuaciones a valorar por los responsables en la gestión de la crisis:

- **Control de la proliferación y erradicación de la especie.**

En el apartado 4.6. de este documento, se realiza un análisis de las diferentes técnicas existentes en la actualidad para la erradicación del mejillón cebra, incluyéndose, además de la descripción del método, una evaluación de la eficacia, coste, e impacto ambiental de cada una de ellas.

- **Navegación.**

- ✓ **Prohibición de la navegación.** La Confederación Hidrográfica del Guadiana, en el ejercicio de su potestad, podrá prohibir temporal o indefinidamente la navegación en aquellas masas de agua afectadas que consideren oportuno.



- ✓ **Confinamiento obligatorio de las embarcaciones.** La embarcación con permiso para una masa de agua afectada por la presencia de mejillón cebra no podrá solicitar permiso de navegación en ninguna otra masa de agua de la cuenca ni de ninguna otra. Para hacerlo efectivo se debería disponer del registro estatal de embarcaciones y el libro de navegación de cada embarcación.
 - ✓ **Incremento de la vigilancia de las embarcaciones que naveguen en aguas infestadas.**
 - ✓ **Clausura de todos los accesos incontrolados en todas las masas de agua, permitiéndose únicamente el funcionamiento de aquellos debidamente controlados, vigilados y equipados para la desinfección de las embarcaciones.**
 - ✓ **Control de la aplicación del “Protocolo de limpieza para embarcaciones”.** Se llevará a cabo un riguroso control de la aplicación del “Protocolo de limpieza para embarcaciones”, así como los medios para el control de esta limpieza por parte de los usuarios.
 - ✓ **Promoción de la instalación de estaciones de desinfección homologadas en estas masas de agua.** Será obligatorio para el usuario la limpieza, desinfección y secado de las embarcaciones al salir de estas masas de agua, informando en los puntos de acceso a ellas.
- **Pesca.**
 - ✓ **Prohibición de la pesca.** Se comunicará a la administración competente la necesidad de prohibición temporal o indefinida la pesca, o el establecimiento de limitaciones para alguna modalidad de pesca en aquellas masas de agua afectadas que consideren oportuno.
 - ✓ **Colaboración con la administración competente en materia de pesca para la realización de un control estricto de la presencia de especies foráneas de peces cuya pesca implica usos con riesgo de introducción involuntaria de mejillón cebra.**



- ✓ **Se comunicará a la con la administración competente en materia de pesca** la necesidad de impedir algunas prácticas como el uso de cualquier pez, molusco o crustáceo como cebo vivo, y de establecer medidas para la desinfección de los útiles empleados en la pesca, así como los medios para el control de esta limpieza por parte de los usuarios, especialmente en los campeonatos o demostraciones de pesca

- **Otros aprovechamientos.**

Una vez una masa de agua esté colonizada por mejillón cebra, la Confederación Hidrográfica del Guadiana transmitirá a las distintas administraciones, en el ámbito de sus correspondientes competencias, la necesidad de informar convenientemente a los usuarios del obligado cumplimiento de las acciones a desarrollar contra el mejillón cebra.

Al mismo tiempo se realizará un asesoramiento a los diferentes actores y usuarios para la aplicación de medidas para minimización de daños. En concreto se hará hincapié en el diseño de infraestructuras sumergidas de forma permanente y por consiguiente con alto riesgo de infección, de forma que se dificulte la extensión del mejillón cebra, así como en los diferentes protocolos de actuación elaborados.

- **Hidroaviones y otros medios para la extinción de incendios.**

Los medios de extinción de incendios, especialmente lo hidroaviones, que capten agua de masas afectadas, deberán limpiar convenientemente los depósitos una vez finalizado su trabajo según el "Protocolo de limpieza para hidroaviones y otros medios para extinción Estrategia nacional para el control del mejillón cebra de incendios". En ningún caso podrán soltar agua en otra masa no afectada.



- **Trabajos de investigación o gestión en medios acuáticos.**

Cualquier empresa que realice trabajos de investigación o gestión en medios acuáticos deberá someter el material que haya estado en contacto con el agua a una desinfección siguiendo "Protocolo de desinfección para pequeños equipos de trabajo en medios acuáticos". Debe imponerse como condicionado en los pliegos de prescripciones técnicas, autorizaciones o permisos.

- **Medidas de información, divulgación y sensibilización**

Será necesario mantener contactos continuados con todas las Administraciones implicadas con el fin de comunicar las novedades sobre la presencia de la especie y sus consecuencias así como el desarrollo de las acciones relacionadas con el control del mejillón cebra. Así mismo, se considera fundamental el desarrollo de campañas específicas para dar a conocer los peligros del mejillón cebra y las formas de evitarlo dirigidas a los colectivos de usuarios de las aguas de los espacios afectados y sensibles a la colonización por parte del mejillón cebra: pescadores, navegantes, regantes, empresas con captaciones de agua, etc.:

- ✓ Realización de campañas generalistas para la población en general, sobre la problemática del mejillón cebra, el coste que puede suponer y la concienciación sobre las consecuencias de las introducciones voluntarias o involuntarias de especies alóctonas.
- ✓ Realización de campañas puntuales en momentos de gran afluencia a las masas de agua: concursos de pesca, temporada estival etc.
- ✓ Señalización permanente en las orillas de los embalses con información sobre el mejillón cebra y su problemática.
- ✓ Distribución de carteles y folletos informativos en los lugares más concurridos de los municipios próximos a las masas de agua (oficinas comarcales, Ayuntamientos,



gasolineras, embarcaderos, bares, restaurantes, etc.) para concienciar a la población, tanto local como itinerante, de los problemas causados por el mejillón cebra.

- ✓ Proporcionar la información a la administración competente en materia de educación para el establecimiento de programas educativos que incluyan la elaboración de unidades didácticas sobre los impactos de las especies invasoras sobre el medio natural y el medio social, tomando al mejillón cebra como especie de referencia.
- ✓ Creación de una página web interactiva para distribuir y recibir información sobre el mejillón cebra. La página podrá incluir información en varios idiomas (castellano, inglés, y portugués) sobre el mejillón cebra, la Estrategia Nacional y su desarrollo, noticias, normas, etc. La página se diseñará como interactiva, contando con formularios para la introducción de datos por parte de los internautas, que permita aportar sugerencias e información. Asociada a la página Web se creará una lista de autoridades responsables, de correos de contacto y de enlaces de interés que asegure la máxima divulgación de la información disponible y relacionada sobre el mejillón cebra, así como de su problemática. Así mismo, sería de interés mostrar una lista de correo asociada a la página web para todos los profesionales, técnicos e interesados en el control y problemática de la especie.

4.4. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN EN CASO DE SISTEMAS CERRADOS.

La lucha contra el mejillón cebra en instalaciones o sistemas cerrados se ha demostrado altamente eficaz tanto en lo que se refiere al control de su proliferación, como en la erradicación de la especie, siendo los únicos sistemas en los que ésta última se ha demostrado factible por el momento.



En el apartado 4.6. de este documento, se realiza un análisis de las diferentes técnicas existentes en la actualidad para la erradicación del mejillón cebra, incluyéndose, además de la descripción del método, una evaluación de la eficacia, coste, e impacto ambiental de cada una de ellas.

La selección del método más adecuado en cada caso dependerá de las características específicas de las instalaciones o sistemas en los que se vayan a aplicar, así como de la conexión de éstos con los sistemas naturales.

En cualquier caso, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los tratamientos a emplear en las instalaciones o sistemas cerrados deberán ser inocuos para los elementos de los ecosistemas circundantes relacionados directa o indirectamente con los ambientes a tratar. La inocuidad de los tratamientos puede obtenerse:
 - ✓ Mediante la selección de métodos que no afecten a los elementos de los ecosistemas conectados con el sistema a tratar.
 - ✓ Asegurando la adopción combinada de medidas correctoras que eliminen los efectos potenciales del método de control sobre los componentes del sistema natural.
- Con carácter previo a la adopción y puesta en marcha de cualquier sistema de control, deben desarrollarse los siguientes análisis y valoraciones, también previos:
 - ✓ Análisis de las relaciones directas e indirectas de la instalación con las masas de agua naturales circundantes: tomas de agua, vertidos, filtraciones, conexiones a través del acuífero, etc.
 - ✓ Estudio detallado de las características de los elementos de los ecosistemas circundantes, especialmente cuando del análisis de relaciones se desprenda la existencia de interacciones: inventario y valoración de especies y hábitat, análisis de sensibilidad a los métodos de control previstos, etc.



- ✓ Valoración de los métodos de control a emplear a partir de los análisis anteriores, tomando como criterio la premisa de inocuidad y la posibilidad de adopción de medidas correctoras eficaces.
- ✓ La puesta en marcha de cualquier método de control o erradicación deberá llevar asociado la adopción de un plan continuado de vigilancia, diseñado en consonancia con las interrelaciones que se detecten en la fase de análisis previo, y con el objetivo de monitorizar la respuesta del medio a los tratamientos y, en su caso, a la adopción de medidas de corrección de impactos.
- ✓ Los sistemas de control o erradicación deberán contar con mecanismos de seguridad que permitan suspender los tratamientos de manera inmediata si se comprueban efectos perniciosos para el medio natural. La suspensión de los tratamientos debería conllevar, en su caso, la puesta en marcha de medidas para paliar los efectos provocados sobre los ecosistemas y recuperar sus elementos afectados.

4.5. RECURSOS A DISPONER PARA GARANTIZAR UNA RÁPIDA RESPUESTA.

De forma inmediata y para posibilitar una pronta actuación se propone disponer de al menos los siguientes medios:

- **Recursos materiales.**
 - ✓ Cartelería para zonas infectadas, para prohibiciones de navegación, etc, y material divulgativo: folletos, instrucciones para usuarios de las masas de agua, etc..
 - ✓ Material de laboratorio para la toma de muestras y determinaciones analíticas relacionadas con tareas de identificación de larvas y adultos y el seguimiento de parámetros físico químicos del agua.



- ✓ Mecanismos físicos para la eliminación de larvas y/o: Mantas bentónicas, equipos de succión, bombas-filtros.
 - ✓ Compuestos químicos para la eliminación de larvas y/o adultos: Cloro y derivados, Potasio, Sulfato de Aluminio, Nitrato Amónico, Sulfato de Cobre, etc. Productos químicos encapsulados: biobalas.
 - ✓ Materiales para la limpieza mecánica: cepillos de alambre, rascadores, y otros mecanismos similares.
 - ✓ Productos repelentes y desincrustantes para prevenir la fijación de individuos adultos de mejillón cebra en infraestructuras hídricas.
- **Personal especializado.** Para la realización de estas actividades se requerirá la dotación de personal especializado en la gestión de Especies Exóticas Invasoras, así como de agentes de vigilancia con formación específica para la correcta identificación del mejillón cebra; el Servicio de Aplicaciones Forestales y Agronómicas de la Confederación Hidrográfica del Guadiana impartiría charlas técnicas de formación al personal de vigilancia de Calidad de las Aguas y de explotación de la Dirección Técnica, entre otros. También podría participar el servicio de Control del Estado de las Masas de Agua de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.
 - **Servicio de asesoramiento de afectados.** Ante la preocupación y desorientación de los posibles afectados en un futuro por la plaga del mejillón cebra y para evitar afecciones al medio derivadas de una incorrecta aplicación de métodos para la eliminación de la especie (fundamentalmente por aplicación de sustancias químicas), se considera de gran utilidad la puesta en marcha un sistema de asesoramiento gratuito para usuarios afectados. El servicio de asesoramiento tendría como finalidad orientar al usuario afectado sobre las actuaciones más adecuadas que pueden ser tomadas para prevenir, controlar y tratar la proliferación del mejillón cebra en sus instalaciones.



4.6. MECANISMOS PARA LA ERRADICACIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA.

4.6.1. INTRODUCCIÓN.

Dado que no existen evidencias hasta la fecha de la posible presencia del mejillón cebra en el ámbito geográfico de la cuenca del río Guadiana, resulta fundamental disponer de la máxima información para, en primer lugar, controlar y prevenir su introducción, y en último lugar, en caso de que ésta aparezca, erradicarla.

En el presente apartado se incluye una exposición de los diferentes mecanismos existentes para la eliminación del mejillón cebra, acompañado de un análisis de la viabilidad de su aplicación en la zona de estudio. Así mismo, se define un protocolo de actuación en el que se definen las pautas que deberían seguirse en caso de actuaciones de emergencia.

No existe un método óptimo de control/erradicación de *Dreissena polymorpha* que sea económico, efectivo y mínimamente perjudicial para el medio ambiente, como solución práctica en todas las situaciones. La solución global al problema creado por el mejillón cebra requiere el desarrollo de una serie de estrategias particulares que se integren y combinen para optimizar los resultados, tanto en las infraestructuras humanas como en aguas abiertas (Claudi y Mackie, 1994; Molloy, 1998).

El mejillón cebra puede controlarse por métodos físicos, químicos, mecánicos y biológicos. La mayoría de estos métodos de control pueden ser aplicados cuando la infraestructura afectada esté fuera de servicio. No hay ningún método de control que por sí solo constituya una solución para todos los emplazamientos. A este condicionante hay que añadir el hecho de que algunas técnicas de control son válidas para ciertos estadios de desarrollo de la especie.

En la amplia literatura existente en torno a los métodos de control y erradicación del mejillón cebra, se pueden encontrar varias formas de clasificar las distintas opciones de actuación. En este



documento se ha tomado como referencia la clasificación de Palau y Massuti (2002), que sugirieron clasificar los métodos de control y erradicación de la siguiente forma:

- **Métodos estructurales y mecánicos**, entre los que se encuentran el diseño de infraestructuras pensadas para reducir las posibilidades de adherencia de especies de organismos incrustantes (diseño de superficies poco colonizables...), los materiales y los revestimientos antiadherentes o la aplicación de procesos mecánicos para eliminarlos, una vez instalados, como por ejemplo agua a presión, retirada manual y aspiración o el diseño de equipos de limpieza mecánica (limpia-rejas, etc.).
- **Métodos físicos**, en los que se utilizan técnicas basadas en procesos físicos, como el shock térmico, la filtración, la desecación, los campos eléctricos, los pulsos acústicos, la radiación ultravioleta o los campos electromagnéticos de baja frecuencia.
- **Métodos químicos**, donde se incluye la utilización de productos químicos de reconocida capacidad de exterminio del mejillón cebra.
- **Métodos biológicos**, representados por el manejo de poblaciones de enemigos y/o predadores naturales del mejillón cebra.

A estas cuatro opciones, cabe añadirles una más, la de los **métodos de gestión hidráulica**, basados en la gestión de niveles de embalses y crecidas controladas, en determinados momentos del ciclo biológico de la especie, con el fin de inferirle el mayor perjuicio posible a su potencial reproductivo y colonizador.

Seguidamente, se expone una breve descripción de los métodos de control y erradicación, entendiendo que un mismo tipo de tratamiento, según su aplicación, puede ser de tipo proactivo, reactivo o prospectivo (Palau y Cia, 2006).



4.6.2. MÉTODOS MECÁNICOS

4.6.2.1. Diseño del proyecto.

Se refiere al diseño y/o construcción de elementos o superficies sumergidas expuestas a la colonización, de modo que dificulten hidráulicamente al máximo la fijación de ejemplares de mejillón cebra, como por ejemplo, ausencia de juntas y hendiduras para reducción de efectos deflectores, conducciones que maximicen la velocidad del agua y sean fáciles de supervisar, limitación del número y tamaño de depósitos, duplicación de equipos de captación y conducción para permitir desecaciones periódicas alternas, etc.

Una buena opción, allí donde sea aplicable, es instalar sistemas de drenaje completo de todas las tuberías en circuitos de agua, por ejemplo mediante una junta giratoria de diámetro pequeño que permita la salida del agua cuando la bomba no funciona. El objetivo es crear un ambiente inhóspito para el mejillón cebra cuando el sistema no esté en uso (ACE, 2002).

4.6.2.2. Utilización de materiales antiadherentes.

Para nuevas instalaciones o en obras de reposición de las ya existentes, la posibilidad de seleccionar los materiales de construcción puede minimizar los problemas y los costes derivados de la colonización del mejillón cebra. Kilgour y Mackie (1993) seleccionaron y clasificaron materiales antiadherentes para nuevas instalaciones y conducciones. Según Race (1992), los materiales más adecuados son cobre, zinc, mercurio y plata. Los dos últimos no se utilizan por la elevada toxicidad del primero y el elevado coste del segundo.

Según O'Neill (1996), el mejillón cebra no se adhiere a las superficies de cobre y sus aleaciones o en metal galvanizado, siempre y cuando no se forme un biofilm de algas sobre dichas superficies, dado que ello les hace perder sus propiedades antiadherentes. En el mismo sentido, Boelman *et*



a/. (1997) afirman que las tuberías de pequeño diámetro y los componentes fabricados en cobre, latón o acero galvanizado no son susceptibles de incrustación.

Charlebois y Mardsen, (1997) comparan la adherencia del mejillón en diferentes placas de vidrio y madera. Los resultados sugieren que la adherencia a estos sustratos depende más de la rugosidad que ofrecen en superficie que del tipo de material en sí mismo.

Finalmente, Marsden y Lansky (2000) examinaron la influencia de varias características del sustrato (tipo de material, textura, orientación e intensidad de la luz del sol) sobre la capacidad de adherencia del mejillón cebra. Como resultado de sus experimentos obtuvieron que los bivalvos se fijaron con mayor éxito y en mayor cantidad sobre superficies rugosas en comparación con superficies lisas, a la sombra frente a superficies iluminadas por el sol, sobre PVC frente a plexiglás y en plástico (PVC y plexiglás) en comparación con superficies de vidrio. Otros materiales analizados formados por madera, Fiberglas, hormigón, piedra caliza, aluminio y acero fueron colonizados de forma similar por parte del mejillón cebra que no mostró ninguna preferencia o rechazo especial por ninguno de ellos. Por otra parte, obtuvieron que los mejillones cebra mostraron un fuerte rechazo a colonizar sustratos de acero galvanizado. Estos resultados pueden ser de gran utilidad a la hora de seleccionar los tipos de materiales y el ambiente que debe crearse (orientación y/o intensidad de luz solar recibida) a la hora de diseñar cualquier infraestructura susceptible de ser invadida por el mejillón cebra.

4.6.2.3. Recubrimientos.

Se entiende por recubrimiento antiincrustante la pintura u otro tratamiento de superficie utilizado para prevenir el crecimiento de especies con capacidades de adherirse a los cascos de embarcaciones y a estructuras estacionarias.



Los recubrimientos antiincrustantes ("antifouling") tradicionales liberan un tóxico a bajas concentraciones, habitualmente óxido cuproso, suficientes para repeler la adherencia de organismos como el mejillón cebra. Además del cobre, este tipo de recubrimiento incluye al zinc y al latón.

La efectividad de estos recubrimientos oscila entre 2-5 años, tras los cuales es necesario una nueva aplicación. Los distintos recubrimientos pueden ser efectivos para controlar el mejillón cebra en instalaciones externas, en contacto con el agua natural; si bien antes de su adopción deben reconocerse y predecir los posibles impactos y considerarse otras alternativas (ACE, 2002).

Existen también los recubrimientos antiincrustantes con nuevos materiales, capaces de presentar superficies extraordinariamente lisas (siliconas, etc.), que minimizan de forma pasiva la adherencia del mejillón. Este tipo de recubrimiento se considera menos dañino para el medio ambiente al no liberar tóxicos solubles, pero es más caro y tiene menor durabilidad al verse afectado por la abrasión.

4.6.2.4. Flujos de alta velocidad.

La variación periódica de la velocidad de flujo puede utilizarse para prevenir el establecimiento de la población en conducciones y tuberías. En la etapa juvenil, el mejillón cebra puede fijarse en cualquier punto de una conducción con velocidad del agua inferior a 1,5 m/s (Claudi y Mackie, 1994).

Para masas de agua o conducciones de alto caudal, se especuló que un agitador de alta velocidad en línea podría matar o dañar las larvas velígeras del mejillón cebra, por exposición a las turbulencias y por las sobrepresiones. Smythe *et al.* (1993) evaluaron 3 sistemas de agitadores y encontraron que ninguno de los 3 afectaba significativamente a la especie y a su capacidad de fijación.



4.6.2.5. Presión.

Distintas experiencias basadas en el uso de la presión han sido utilizadas en la erradicación del mejillón cebra con dudoso éxito. Según Lei (1992) aplicando presiones de 14-15 libras/pulgada² (0,953-1,02 atmósferas) de forma continuada, los individuos de mejillón expuestos mueren en 2-3 días.

Chang y Miller (1993) comprobaron que para la misma presión indicada en el párrafo anterior, 12-14 libras/pulgada² (0,816-0,953 atmósferas) la cantidad de oxígeno disuelto en agua se reduce a prácticamente cero, impidiendo el crecimiento de ningún organismo.

Posteriormente Chang (1994) desarrolló y patentó un aparato de vacío para el control del mejillón cebra en el interior de conducciones; se trata de un tratamiento que sólo consume electricidad y agua reciclada y no produce residuos, siendo por lo tanto una tecnología respetuosa con el medio ambiente.

4.6.2.6. Limpieza mecánica.

Las poblaciones de mejillón cebra pueden ser arrancadas o erradicadas de estructuras externas y tuberías por diferentes métodos manuales. Estas técnicas proporcionan soluciones a corto plazo, pero tienen que ser repetidas a intervalos regulares. Las más frecuentes son la limpieza mecánica de tuberías de diámetro grande, los sistemas limpia-rejas en captaciones de agua de gran caudal, la limpieza manual bajo el agua mediante buceadores, la limpieza con agua a baja y alta presión con o sin abrasivos (Claudi y Mackie, 1994) y por último la limpieza mecánica por choque térmico, utilizando hielo seco como alternativa a los abrasivos (Gauthier y Nicolaides, 1992).



4.6.3. TRATAMIENTOS FÍSICOS.

4.6.3.1. Sistemas de infiltración.

Puede considerarse una estrategia de control efectiva de tratamiento previo para la captación de pequeños caudales de agua. Se usan sustratos estratificados naturalmente (suelos) o de forma artificial (gradiente de distintas porosidades) sobre los que se infiltran las aguas de captación.

Aparte de los posibles efectos de su construcción, esta técnica no conlleva otros impactos ambientales, pero el procedimiento requiere mantenimiento, ya que los filtros granulares se van obturando con el tiempo (ACE, 2002).

Hay varias clases de sustratos filtrantes; el diseño y la elección de uno de ellos, o de varios combinados, vendrá dada en función de la eficacia en la retención que se esté buscando (Palau y Cia, 2006).

4.6.3.2. Filtración mecánica.

Las pantallas, los filtros en línea, los tamices y los mecanismos de ultrafiltración pueden ser efectivos para bloquear la entrada de mejillones adultos y juveniles, pero una eficacia del 100% en la retención de todos los estadios de desarrollo del mejillón cebra, es complicada y costosa dado que requiere retener partículas de 30-40 μm , a pesar de los recientes avances en técnicas de filtración.

A parte de la medida de poro requerida, la diferencia de presión entre los 2 lados del sistema filtrante y la turbulencia son dos características a considerar para la efectividad de los filtros. Son sistemas operativos para el tratamiento de caudales pequeños.



Cabe destacar la experiencia desarrollada con este tipo de sistemas en la cuenca del Ebro. En el año 2006, tras las primeras noticias aparecidas en prensa sobre la expansión del mejillón cebra por la cuenca del Ebro, se decidió analizar su incidencia en el sistema de “Abastecimiento de agua a Cantabria” y en el “Trasvase reversible Ebro-Besaya”.

De producirse la colonización del Embalse del Ebro por el mejillón cebra, cualquiera de ambos sistemas podría convertirse en el vector de introducción de larvas o huevos en las cuencas del norte. Por ello, se hacía necesario un sistema de desinfección de las aguas transportadas que debía ser común a ambas infraestructuras y situarse en la cuenca del Ebro, es decir, antes de la entrega al túnel de la Virgen de las Nieves. Para evitarlo, se instalaron dos líneas de filtración que dan servicio conjunto al sistema de “Abastecimiento de agua a Cantabria” (9.000 m³/h) y al “Trasvase Reversible Ebro-Besaya” (8.000 m³/h), evitando el deterioro de las infraestructuras hidráulicas que estos pequeños animales producen.

Los filtros de malla utilizados emplean un cartucho cilíndrico de malla de acero inoxidable que recibe las aguas en su interior y evacua el agua filtrada hacia el exterior. La filtración se realiza en dos etapas sucesivas: una filtración previa, con mallas de 50 µm de luz, que pretenden retener la mayor parte de los sólidos en suspensión, y una filtración posterior con mallas de 25 µm de luz, capaces de retener los huevos o larvas de mejillón cebra.

La Confederación Hidrográfica del Guadiana ha estudiado la colocación de filtros de desbaste para captaciones en los canales de Montijo y Lobón. Estos equipos patentados han sido probados en distintas zonas de España afectadas por invasión de mejillón cebra, como es el caso de la Confederación Hidrográfica del Ebro, donde se han instalado para evitar que se adhieran y anulen el paso de los ejemplares adultos de esta especie.

A continuación se indican las principales características de estos equipos:



- Cada equipo está adaptado según la necesidad del cliente: caudal de demanda, tipo de captación, lámina de agua, etc.
- Impiden la entrada a la red de partículas superiores a 3mm
- Fabricados en acero inoxidable
- Están dotados de un sistema de autolimpieza que garantiza en todo momento las condiciones de captación.
- No provocan pérdidas de carga
- Presentan un consumo eléctrico periódico de baja potencia.
- Mínimo mantenimiento.

Como ventaja ambiental adicional de estos equipos cabe destacar que permitirían separar el 85% de la materia orgánica antes de la captación, reduciendo en un 80% la aplicación de cloro para el tratamiento de agua potable.

En las siguientes imágenes se muestra un Filtro instalado en Malpica del Tajo para un caudal de 0,2 m³/s, en este caso, en la pared del canal:



Ilustración 24. Filtro instalado en Malpica del Tajo. Fuente:
Filtros Palacios, S.L.





Ilustración 25. Detalle del sistema de limpieza del sistema de filtración, instalado en la cara inferior del filtro. Fuente: Filtros Palacios, S.L.

A continuación se muestra otro ejemplo de filtro, en este caso instalado al final de un canal:



Ilustración 26. Filtro para final de canal. Fuente: Filtros Palacios, S.L.

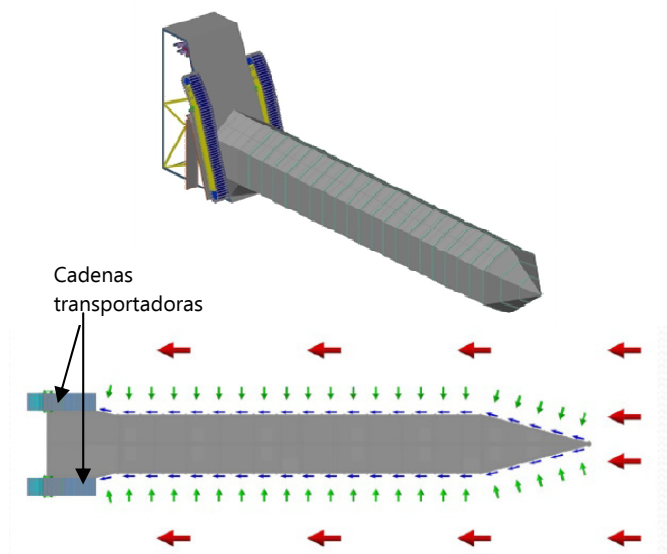


Ilustración 27. Detalles del filtro de final del canal. Fuente: Filtros Palacios, S.L.

En este caso, el filtro se encuentra sumergido en su totalidad, y el efecto autolimpiante del filtro envía la materia de tamaño superior a 3mm a unas cadenas transportadoras, favoreciendo su extracción. En la imagen anterior se muestra con flechas rojas el sentido del caudal en el canal, con flechas verdes, la dirección de la entrada del agua en el filtro, y con flechas azules, el flujo de la materia existente en el cauce hacia la zona de cadenas para su extracción.

Las dimensiones de estos equipos se diseñan en función del caudal demandado y las cotas en el punto de captación.

4.6.3.3. Tratamientos térmicos.

Se trata de un método de control bastante eficaz. Muchas administraciones públicas en Estados Unidos ven el tratamiento de calor como más seguro ambientalmente que el tratamiento químico.

Debe tenerse en cuenta que el mejillón cebra es capaz de aclimatarse a un amplio rango de temperaturas, por lo que la temperatura letal para la especie puede variar con el tiempo. Existen dos tipos de tratamientos según sean los sistemas a los que se apliquen (McMahon *et al.*, 1995):

- **Agudos:** Se debe calentar periódicamente el circuito de agua hasta alcanzar durante el tiempo suficiente la temperatura letal. Esta técnica se aplica en sistemas donde no se puede mantener la temperatura letal durante periodos muy dilatados.
- **Crónicos.** En aquellos circuitos donde sea posible, se mantiene permanentemente la temperatura letal para los mejillones. Debe tenerse en cuenta la capacidad de aclimatación que presenta esta especie, por lo que deberá corregirse la temperatura letal tantas veces como sea necesario.

4.6.3.4. Desección.

Este proceso consiste en vaciar completamente los sistemas colonizados (depósitos, tanques, tuberías, embalses, etc.) de agua y someter a los mejillones a una desecación; para pequeñas instalaciones, el proceso se acompaña con el uso de aire caliente para acelerarlo. De lo contrario, se tendría que prolongar el tiempo de vaciado para conseguir el objetivo de erradicación del mejillón cebra.

En cuanto al coste de la aplicación de esta técnica, no existe actualmente información específica. A modo de ejemplo, se ha tomado una valoración de la Confederación Hidrográfica del Ebro, en el que se estima en 1.980.010 € la regulación de la cota del embalse de Ribarroja para el control de la población del mejillón cebra. La actuación proyectada consistió básicamente en el descenso temporal de 10 m de la cota del embalse para dejar en seco la franja donde se localiza la población más activa, abundante, y con mayor capacidad reproductiva. El coste equivale a la repercusión de la regulación de cota sobre los diferentes usos del embalse (consuntivo,



hidroeléctrico, turístico, deportivo y medioambiental,)), y se valora para una duración del proceso de aproximadamente 19 días.

Este método presenta la ventaja de ser poco agresivo con el medio, ya que no precisa el empleo de agentes químicos. No obstante, no se tienen datos del posible efecto que podría producirse sobre otras especies.

Debido a su complicada erradicación una vez asentado en las masas de agua, la gestión eficaz de desembalses puede ser crucial como medida preventiva para el control de su expansión. En este sentido, cabe destacar la experiencia piloto desarrollada recientemente por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en el embalse de Iznájar (Córdoba).

En 2014 la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir presenta un estudio de la distribución vertical del mejillón cebra en el embalse de Iznájar, y su relación con los gradientes de temperatura y oxígeno (termoclina y oxiclina). La información obtenida resulta de gran interés en la política de desembalses para el control del mejillón cebra y la preservación de las infraestructuras hidráulicas y masas de agua.

Para la realización del estudio se llevó a cabo la colocación de testigos verticales para el control de la presencia de mejillón cebra adulto, además de realizarse de forma periódica la medición de los gradientes de temperatura y oxígeno disuelto en el agua del embalse.

Para la medida de la temperatura y oxígeno se utilizó un oxímetro (Oxi 3310IDS WTW) junto con una sonda de oxígeno y temperatura (FDO 925-P WTW).

Para el seguimiento de la presencia de individuos adultos de mejillón cebra se instalaron dos estaciones de control vertical de cota fija y profundidad variable junto al paramento de la presa. La estación de control consiste en un cabo de 50 metros de polipropileno de 12 mm de diámetro



en el que se fueron marcando las cotas con nudos cada dos metros (tomándose la 421,06 m.s.n.m. correspondiente a la cota de lámina máxima), para el posterior control de fijación de individuos. Desde coronación se dejaron 7 metros previos a la marcación de la primera cota.

La correlación entre ambos parámetros ha permitido obtener información de gran importancia para la toma de decisiones que permitan optimizar la gestión del recurso en las maniobras de desembalse, con el objeto de eliminar el mejillón cebra y la preservación de infraestructuras y masas de agua aguas abajo del mismo.

En base a los resultados obtenidos, se ha comprobado que la formación de la termoclina afecta de manera directa a las condiciones ambientales del ecosistema y, por lo tanto, a las características ambientales presentes para el desarrollo del ciclo vital del mejillón cebra (proliferación, crecimiento y reproducción).

Se deduce que existe una relación directa entre la estratificación del embalse y la distribución de individuos adultos de mejillón cebra, concentrándose la mayor densidad de los mismos en las cotas situadas en el epilimnion con niveles de oxígeno disuelto altos. Por ello, en el período de estratificación, el crecimiento y supervivencia del mejillón cebra estará limitado en las aguas hipolimnéticas debido a la usencia de oxígeno entre otros factores.

La información obtenida en el estudio realizado permitirá evaluar las posibles estrategias a seguir en la gestión del embalse para el control del mejillón cebra. En este sentido, en el período estival, con los embalses estratificados, los desembalses supondrán que aquellos ejemplares adultos de mejillón cebra fijados en el período de máximo nivel en tarajes, piedras, etc., quedarán sin sumergir, por lo que morirán. En cambio, las larvas generadas seguirán estando en el epilimnion. Éstas podrán fijarse en esa zona y, si el año siguiente se volviese a tener un nivel de desembalse similar al del año en curso, estas larvas convertidas en adultos estarían fijadas en la zona anóxica



(hipolimnion), por lo que también morirían estando, por tanto, acotada por el epilimnion la zona donde podrán situarse individuos vivos.

4.6.3.5. Congelación, enfriamiento.

La sensibilidad del mejillón cebra es mayor al frío que al calor. Según Clarke *et al.*, (1993), en la exposición de mejillones cebra al aire, se observa que los ejemplares que están en grupos (colonias, racimos) sobreviven el doble de tiempo que los que están separados (aislados) y que el tiempo de exposición decrece exponencialmente con el descenso de temperaturas por debajo de 3 °C. Es un proceso viable en sistemas abiertos (embalses, ríos) de lugares donde se den épocas de bajas temperaturas y posibilidades de una gestión hidráulica de los ecosistemas acuáticos implicados.

4.6.3.6. Shock eléctrico

Se ha observado que las larvas velígeras, post-velígeras y los juveniles mueren al pasar por un campo electroestático fuerte. (Mckay 1991). La intensidad mínima donde hay daño fisiológico permanente es de 100 V/cm en continuo, con corriente alterna aplicada a intervalos de 0,25 s. La literatura sugiere que o bien se trate con gran intensidad eléctrica durante una corta exposición o una mayor exposición usando una menor intensidad para llegar al efecto deseado.

Sobre la aplicación de este tipo de técnicas, cabe destacar que puede comportar algunos problemas de seguridad laboral en industrias e instalaciones, lo que limita sus posibilidades de uso.



4.6.3.7. Protección catódica.

Se han estudiado los efectos sobre el mejillón cebra de las distintas intensidades de corriente eléctrica, de uso común en la protección del acero sumergido en agua, contra la corrosión. Las intensidades analizadas fueron de 2, 4 y 5 mA/ft² y como era de esperar, la completa inhibición de la fijación de mejillón cebra no fue posible con esas intensidades.

Lewis y Pawson (1993) detectaron una reducción significativa de la fijación del mejillón cebra para valores de 2,4 y 5 mA/ft². No hay datos disponibles para intensidades mayores, si bien parece ser que ensayos con 5,5, 8 y 10 mA/ft² dan buenos resultados.

4.6.3.8. Electromagnetismo de baja frecuencia.

El uso de electromagnetismo de baja frecuencia puede permitir un control no químico viable (Ryan, 1998). Esta técnica consiste en incrementar la solubilidad del carbonato cálcico, lo que reduce la disponibilidad del calcio que requiere el mejillón cebra para el desarrollo de su concha. Las larvas y los juveniles son los más afectados. El procedimiento fue analizado en sistemas cerrados y abiertos (conductos de agua, tomas y ríos). Se obtuvo un 100% de mortalidad entre 10 y 15 días dentro del sistema cerrado y se anotaron altos niveles de estrés en los otros sistemas.

4.6.3.9. Pulsos acústicos.

Kowalewski y Patrick (1992) sometieron individuos juveniles a distintas frecuencias y amplitudes de sonido; los resultados mostraron cómo la energía acústica de entre 39 y 41 Hz fragmentaba las larvas velígeras de mejillón cebra existentes en el agua y al cabo de entre 19 y 24 horas mataba a los adultos. Los experimentos llevados a cabo por Donskoy y Ludyanskiy (1995) mediante sonido de baja frecuencia se utilizaron para evitar la fijación de la especie en embarcaciones. No hay



duda de que el mejillón cebra responde a la presión ejercida por el sonido (Claudi y Mackie, 1994); sin embargo, no se conoce ningún dispositivo comercial con resultados eficaces.

4.6.3.10. Ondas de radio.

Teóricamente, se trata de una técnica para eliminar el mejillón cebra sin efectos sobre el medio ambiente. Algunos experimentos realizados (Matthew, 2001) muestran que la totalidad de una población de mejillón cebra murió después de estar 40 días expuesto a ondas de radio de baja energía. Según parece las ondas de radio no afectan significativamente a otros organismos como peces y cangrejos. El análisis del agua una vez muerto el mejillón demostró una alta concentración de calcio, por lo que el estudio concluyó que las ondas de radio causan alteraciones en la disponibilidad del calcio que necesita el mejillón cebra para el mantenimiento de sus conchas.

4.6.3.11. Exposición a luz ultravioleta.

Se aplica para esterilizar el agua. Esta técnica se ha mostrado más efectiva para prevenir el establecimiento de larvas. (Claudi y Spencer, 1993).

4.6.3.12. Cubrimiento.

Braithwaite (2003) utilizó esteras bentónicas para erradicar mejillón cebra en puntos localizados en el Lago Saratoga (EE.UU.). La eficacia de las esteras ya había sido contrastada en especies de vegetación invasora. Su aplicación contra el mejillón cebra se integró con la extracción manual por buceadores. Los ensayos se realizaron con duraciones de 1, 2, 4 y 8 semanas, tanto en ambientes naturales como en laboratorio, evaluando la mortalidad y los parámetros químicos y físicos bajo las esteras. Los resultados del recubrimiento durante 8 semanas fueron del 100% de



mortalidad, mientras que el recubrimiento durante 2 ó 4 semanas resultó inferior al 70% de mortalidad. Esta práctica supone un daño ambiental muy localizado.

4.6.4. TRATAMIENTOS QUÍMICOS.

Los tratamientos químicos se pueden clasificar en **oxidantes** y **no oxidantes**. Los primeros son, con diferencia, los de más amplia difusión (Palau y Cia, 2006).

4.6.4.1. Tratamientos Químicos oxidantes.

Provocan la muerte del mejillón mediante la aplicación de productos como cloro y sus derivados, bromo, dióxido de cloro, cloramidas, ozono y permanganato potásico, entre otros. A continuación se explican brevemente cada uno de estos métodos:

4.6.4.1.1. Métodos de cloración.

- **Cloro (Cl):** La cloración es el método más utilizado y aceptado en el control sanitario de aguas y de organismos acuáticos indeseables. Su eficacia varía en función de diversos factores como la temperatura, el pH o la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos. Según McMahon y Chase (1996) aplicaciones frecuentes (cada 30, 60 minutos) permitan que los bivalvos abrieran sus valvas durante los cortos periodos de tiempo en los que no se aplicaba el producto tóxico, permitiendo la reexposición al cloro en cada siguiente periodo de aplicación. Antes de su aplicación, deben considerarse los posibles efectos que se producen los derivados de la cloración que se han catalogado como cancerígenos (cloraminas y trihalometanos entre otros).
- **Hipoclorito sódico:** Se considera el método de cloración más seguro y muestra una notable eficiencia biocida.



- **Clorito sódico, cloramidas y dióxido de cloro** son otros métodos de cloración que se han mostrado menos eficaces. (Claudi y Mackie, 1994).

4.6.4.1.2. Bromo.

Se ha mostrado más efectivo que la cloración con pH superior a 8,0, pero presenta una mayor toxicidad que el cloro para los peces, algas, fitoplancton, etc. (Claudi y Mackie, 1994).

4.6.4.1.3. Ozono.

Es un reconocido bactericida utilizado para desinfectar las aguas ya que su aplicación no produce ni olores, ni sabores, ni colorea el agua. Es un tratamiento eficaz pero caro, dado que mantener suficiente ozono residual para controlar a los mejillones cebra adultos requiere mucha producción e inyección de ozono.

4.6.4.1.4. Permanganato potásico.

Se usa comúnmente en la potabilización del agua. Su coste y su efectividad han condicionado su utilización en el control del mejillón cebra. Al contrario que la cloración, el permanganato potásico necesita de altas y continuas dosis. La principal ventaja es que no produce trihalometanos.

4.6.4.1.5. Peróxido de hidrógeno.

Según estudios realizados por Martín *et al.* (1992) y Klerks *et al.* (1993), se necesitan altas dosis del producto, por encima de los 12 mg/l, para conseguir una alta mortalidad, lo que hace que comparado con otros productos, puede resultar costoso e inaplicable para tratar grandes volúmenes de agua.



4.6.4.2. Tratamientos químicos no oxidantes.

Los métodos químicos no oxidantes son, en general, menos eficaces que los oxidantes, y no están exentos de una posible afección significativa hacia otros organismos acuáticos distintos de los que se pretende controlar. Este hecho determina que su aplicación requiera procesos complementarios de detoxificación de las aguas tratadas antes de su entrada en un ecosistema acuático natural. Los principales tratamientos de esta clase se realizan con potasio, sulfatos de aluminio, nitrato amónico, metasulfito de sodio y sulfato de cobre.

4.6.5. TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS.

En términos generales, el control biológico es el uso de una especie para suprimir otra. El método de biocontrol más efectivo según Debach y Rosen (1991) es la exposición a concentraciones anormales de parásitos. En el caso de que el parásito ataque al mejillón cebra se podrían producir artificialmente en masa para producir fuertes infecciones y producir su debilitamiento o su muerte, sin que pueda afectar a otras especies endémicas. Algunas de estas especies son: *Bucephalus polymorphus*, *Aspidogaster spp*, *Phyllodistomum sporocysts*, *Scuticociliatida*, etc. A continuación se describen los diferentes métodos de control existentes:

4.6.5.1. Control por toxinas de origen microbiano

Este método se basa en que durante la esporulación bacteriana se libera un metabolito de naturaleza proteica que es tóxico para ciertos invertebrados. Los bacilos se cultivan para obtener industrialmente la toxina que se aplica en grandes cantidades en el agua, actuando con gran rapidez sobre los organismos. Se han realizado pruebas frente a *Dreissena polymorpha* con toxinas de *Bacillus alvei*, *Bacillus brevis*, *Bacillus latesporus*, y *Bacillus sphaericus* (Genthner *et al.*, 1997; Singer *et al.*, 1997). La utilización de toxinas de origen microbiano, en un futuro no muy



lejano, podría convertirse en un método aplicable dentro de un conjunto de medidas de control, sustituyendo parcial o totalmente a métodos químicos de mayor impacto ambiental (Peribañez, 2002).

4.6.5.2. Control por medio de depredadores del mejillón cebra

Existen aproximadamente 200 especies que pueden ser consideradas depredadores o parásitos del mejillón cebra. La depredación se realiza tanto en la fase sésil del mejillón como en la fase larvaria. Entre los depredadores se pueden destacar las aves acuáticas, peces, así como copépodos, sanguijuelas, cangrejos, y roedores. Sin embargo, parece que, dada la gran capacidad de reproducción de este bivalvo, el conjunto de predadores naturales, aunque colaboren en limitar la densidad de la población de bivalvos, tendrán un papel siempre muy reducido, y muy pocos autores refieren una evidente disminución de las densidades de los mejillones cebra por la acción de los predadores (Boles y Lipcius, 1994, Boles y Lipcius, 1997; Molloy *et al.*, 1997).

4.6.5.3. Control por medio de parásitos

Los parásitos tienen un gran potencial para ser usados como medio de control efectivo y seguro. Las investigaciones actuales se dirigen a determinar que sean altamente específicos (no actúan sobre otras especies), que tengan un gran potencial para eliminar a sus hospedadores y que puedan ser producidos económicamente en grandes cantidades (Molloy, 1998).

En Europa, el parásito más común es el *Bucephalus polymorphus* (Von Baer, 1827). La frecuencia en que normalmente aparece en las poblaciones de *Dreissena polymorpha* no excede 10-20% (Zdun *et al.*, 1994).



De momento se trata de un tratamiento inviable por el elevado coste de la producción de la bacteria, por lo que están trabajando para aumentar su toxicidad. Por tanto, se encuentra en estado de experimentación.

4.6.5.4. Control por medio de competidores bentónicos

Es el método con menores perspectivas. Aunque varios organismos bentónicos podrían ejercer el papel de competidores, por el sustrato o por el alimento, con *Dreissena polymorpha*, ninguno parece ser suficientemente específico, siendo su multiplicación una nueva amenaza para el sistema (Molloy, 1998).

4.6.6. TRATAMIENTOS DE GESTIÓN HIDRÁULICA.

El manejo de los caudales circulantes en cursos regulados y de los niveles de agua (embalses) invadidas por el mejillón cebra es, probablemente, una de las mejores opciones de control poblacional de la especie, si se realiza de forma planificada con relación a su ciclo biológico (Palau y Cia, 2006).

El manejo de niveles de embalse permite dejar importantes densidades de población al descubierto y forzar su muerte por desecación (o congelación, según la época). Por su parte las crecidas controladas en tramos de ríos regulados permiten acabar o mermar de forma significativa, bien sea por arrastre, enterramiento o abrasión, con las poblaciones de mejillón cebra del lecho, además de poseer otros efectos colaterales beneficiosos que contribuyen a fortalecer el ecosistema fluvial, y por tanto, a aumentar su refractancia frente a la invasión del mejillón cebra (Palau y Cia, 2006).



4.6.7. LAS BIOBULLETS O BIOBALAS.

4.6.7.1. Mecanismo de acción.

La tecnología de las Biobullets (biobalas) fue desarrollada originalmente por investigadores de la Universidad de Cambridge para el control del mejillón cebra en sistemas de agua cerrados (Aldrige et al., 2006). El método consiste en la encapsulación de un ingrediente activo en partículas microscópicas de material comestible. La capacidad natural de filtración de los mejillones y otros bivalvos aísla estas partículas del agua y las concentra en sus tejidos. Posteriormente, la cápsula se disuelve y se libera el agente tóxico, provocando la muerte del individuo. La encapsulación del producto utilizado como agente tóxico permite que los bivalvos no los detecten, por lo que no se estimula la respuesta de cierre de las valvas. Esto supone un gran avance en la lucha contra las especies invasoras filtradoras, ya que al administrar el tóxico de forma convencional, es decir de forma libre sin encapsulación, especies como el mejillón cebra pueden cerrar las valvas durante varias semanas, evitando así el efecto del tratamiento (Claudi y Mackie, 1994). Gracias al comportamiento de filtrado de los bivalvos y la consecuente concentración de partículas que se produce en sus tejidos vivos, se reduce significativamente la cantidad absoluta de ingrediente activo que necesita ser añadido al agua. Las biobalas están diseñadas para que se rompan y se disuelvan por completo en unas pocas horas, lo que se reduce o incluso se elimina potencialmente el riesgo de contaminación del medio natural.



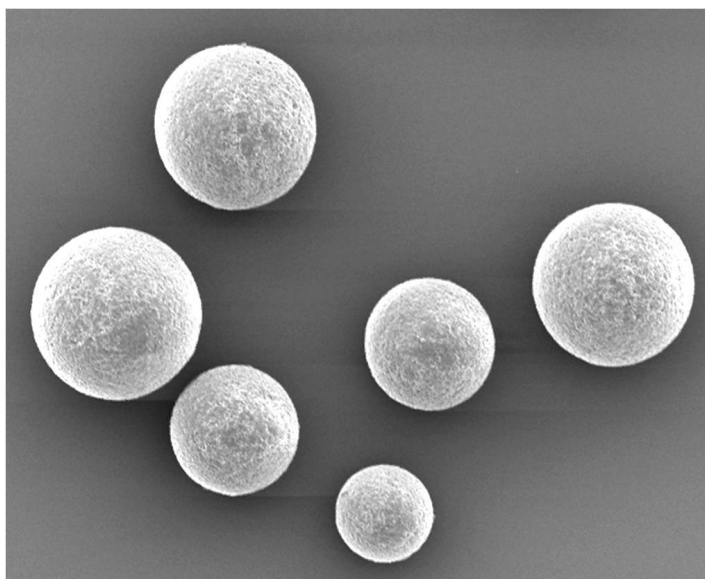


Ilustración 28. Imagen con microscopio electrónico de partículas de Biobullets (Biobalas). Fuente: BioBullet Ltd.

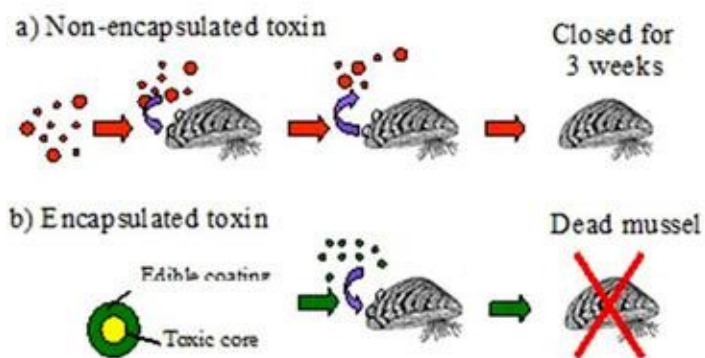


Ilustración 29. Esquema mostrando la diferencia de comportamiento de un bivalvo al suministrarle una toxina libre (figura a) y la misma toxina encapsulada según la técnica de las Biobullets (Biobalas) (Figura b). Fuente: BioBullets

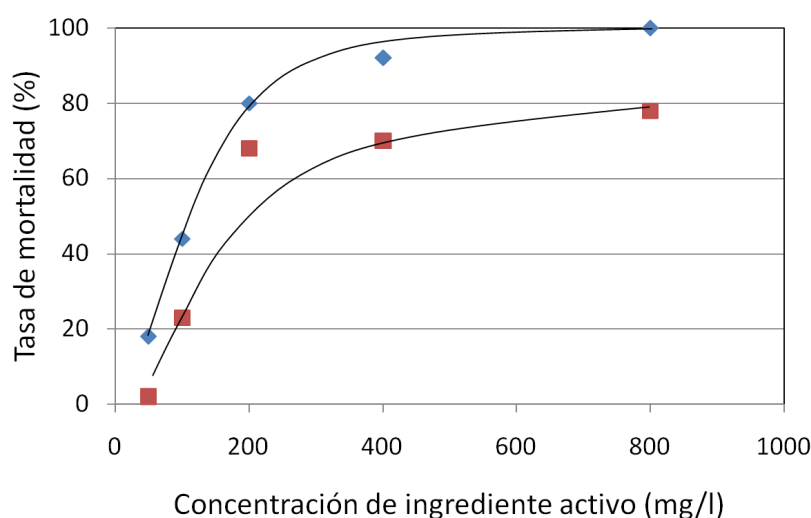


Ilustración 30. Gráfico ilustrativo sobre la tasa de mortalidad que se consigue al aplicar el ingrediente activo (toxina) de forma libre y encapsulado (Biobalas). Fuente: modificado de BioBullets

4.6.7.2. Efectividad de la técnica.

Con el uso de esta técnica es esperable que la eficacia de las toxinas empleadas para el control de especies filtradores, entre ellas los bivalvos como el mejillón cebra y la almeja asiática, mejore considerablemente (Aldrige et al., 2006). Para ilustrar la efectividad de esta técnica se reproduce aquí el ensayo llevado a cabo por *BioBullet Ltd.* (2011) en tuberías obstruidas por mejillón cebra y almeja asiática en el sistema de regadío de Mora La Nova, en la cuenca del Ebro:

Formulación de las biobalas

Se desarrollaron dos productos con diferentes ingredientes activos: (I) SB1000, que contenía un compuesto de amonio cuaternario y (II) SB2000, cuyo ingrediente activo fue una sal tóxica para el mejillón (especie objetivo inicialmente). Ambos productos demostraron ser capaces de eliminar con éxito el mejillón cebra en laboratorio y su uso en infraestructuras de abastecimiento de agua potable está aprobado en Reino Unido (UK Drinking Water Regulators, DWI).



Administración de las biobalas

Las biobalas se aplicaron en el sistema de regadío de Mora La Nova, que riega 300 Ha de olivos, melocotoneros, cerezos y almendros. Dos especies fueron identificadas en el sistema: mejillón cebra y almeja asiática.

Se instalaron tomas en dos de las principales tuberías de distribución donde se administró el producto como polvo seco utilizando una bomba centrífuga con sistema venturi. El flujo seleccionado en las tuberías fue de 10.000 l/h. La dosis de producto administrado se controló con exactitud mediante un alimentador vibratorio (Coote Vibratory, UK). SB1000 se administró a 150 mg/l durante 8 horas a lo largo de dos en una longitud de tubería de 5 km. SB2000, por su parte, se administró en una tubería diferente de 2 km de longitud a una concentración de 30 mg/l, igualmente durante 8 horas, 2 días.

Seguimiento del ensayo

El monitoreo del ensayo se realizó mediante la inspección del material retenido en filtros situados a lo largo de las tuberías tratadas. Un total de tres filtros fueron seleccionados en cada tubería además de un séptimo filtro en una tubería no tratada. Se contaron los ejemplares vivos, agonizantes y conchas recientemente vacías. Los bivalvos vivos son aquellos que cierran o mantienen cerradas sus valvas en respuesta a un ligero golpe en la concha. Los individuos agonizantes no cierran sus valvas en respuesta al golpe y representan los mejillones que han muerto recientemente. Las conchas recientemente vacías son aquellas en las que el contenido tisular del mejillón se ha perdido, pero en las que todavía se aprecia un perióstraco brillante y un nácar iridiscente.

Para conocer la posible influencia del tamaño en cuanto a la mortalidad de los ejemplares, se midió la longitud máxima de la concha de 30 ejemplares vivos y 30 recientemente muertos en



cada ocasión, utilizando un calibre vernier. Una vez el tratamiento fue completado con éxito (el 20 de Mayo de 2011) se introdujo una cámara endoscópica en las tuberías tratadas para visualizar la presencia de mejillón en los primeros 20 m de las mismas.

Mortalidad inducida por el tratamiento.

Ambos productos, SB1000 como SB2000, eliminaron de manera efectiva tanto mejillón cebra como almeja asiática. Se encontraron ejemplares agonizantes de ambas especies tan solo unos días tras la administración del producto y siguieron siendo recogidos durante aproximadamente una semana, tras la cual las conchas vacías empezaron a ser dominantes.

Con respecto a los dos productos (SB1000 y SB2000), la mortalidad del mejillón cebra fue más rápida que la de la almeja. SB1000 arrojó patrones más variables, alcanzando un 100% de mortalidad en el mejillón cebra tras cuatro días pero estabilizándose en un nivel del 95% de mortalidad tras cuatro semanas. La mortalidad de la almeja asiática se estabilizó tras dos semanas en un 80%. Con SB2000 todos los mejillones cebra recogidos estaban muertos tres días después del tratamiento. La mortalidad de la almeja mostró una tendencia en aumento, con un 100% de mortalidad tras cuatro semanas aproximadamente.

Respecto a los tamaños de los individuos de ambas especies, ambos productos (SB1000 y SB2000) fueron capaces de eliminar eficazmente tanto almejas como mejillones de todos los tamaños, sin apreciarse selección respecto a alguna clase de talla específica.



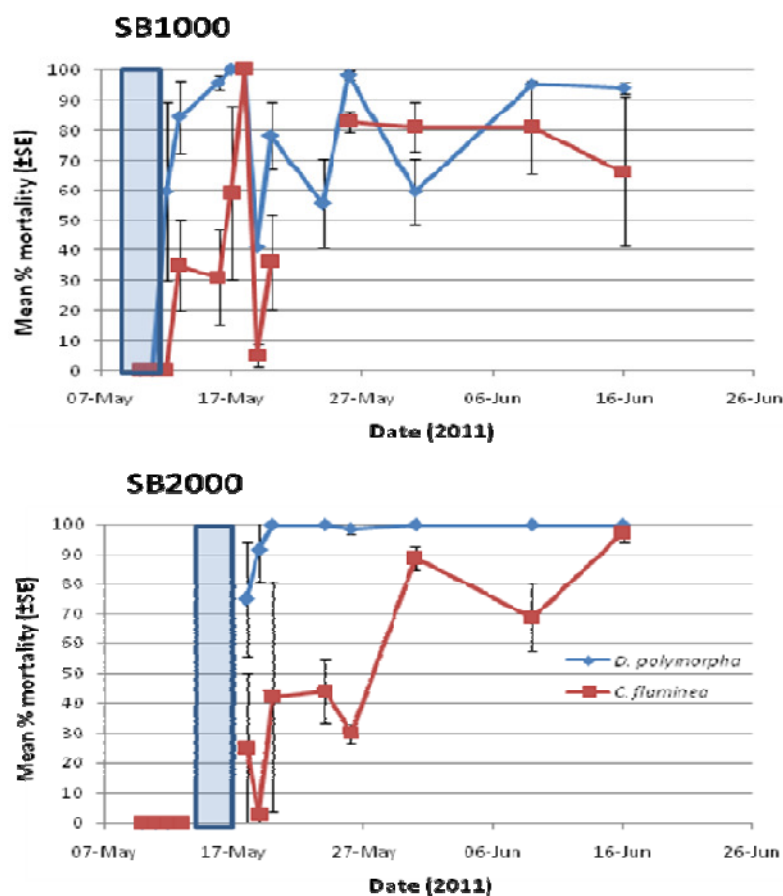


Ilustración 31. Mortalidad media (porcentaje de ejemplares agonizantes y vacíos en comparación con vivos) de mejillón cebra y almeja asiática tratados con dos formulaciones de Biobalas (SB1000 y SB2000). La barra azul señala el periodo de administración del producto para los dos tratamientos.
Fuente: BioBullet Ltd. (2011).

Estos ensayos ponen de manifiesto la efectividad de las biobalas como técnica válida en el control de la almeja asiática y el mejillón cebra. El hecho de que ninguno de los productos empleados fuera selectivo en cuanto al tamaño de los ejemplares eliminados sugiere que los productos pueden ser utilizados para acabar con todo tipo de organismos, desde los más pequeños a los más grandes.

4.6.7.3. Formulación del producto.

Los ingredientes activos ya utilizados en BioBullets incluyen cloruro de potasio, ácido acético, ácido cítrico e hidróxido de calcio.

4.6.7.4. Administración de las biobalas.

Las biobalas se han aplicado principalmente en sistemas cerrados (sistemas de riego, aguas de lastre de barcos, plantas de generación hidroeléctrica, conducciones, etc.). No obstante, se está estudiando su aplicabilidad en sistemas abiertos. De hecho, *BioBullet* Ltd. ofrece, entre sus servicios, la posibilidad de tratamiento de moluscos acuáticos invasores en embalses con biobalas (BioBullet Ltd., 2014). Los resultados hasta la fecha muestran que estos productos pueden ser adaptados para ser altamente específicos frente al mejillón cebra, la almeja asiática y otros bivalvos invasores, resultando en impactos prácticamente indetectables en el resto de especies, incluidos los bivalvos autóctonos.

4.6.7.5. Seguimiento

Una vez se aplica el tratamiento es necesario realizar un seguimiento para conocer la efectividad del mismo. Dicho seguimiento consiste en detectar y cuantificar: (I) los individuos que permanecen vivos y (II) los individuos que han muerto por efecto del tratamiento, distinguiéndolos de otros individuos cuya muerte se deba a circunstancias ajenas a la aplicación de las biobalas. Se tiene como criterio que los individuos muertos como consecuencia del tratamiento son aquellos que presentan sus conchas recientemente vacías (son conchas en las que el contenido tisular del mejillón se ha perdido, pero todavía se aprecia un perióstraco brillante y un nácar iridiscente). También se consideran individuos muertos por efecto del tratamiento aquellos que no cierran sus valvas en respuesta a un ligero golpe, ya que se trata de ejemplares que han muerto recientemente. Por el contrario, los individuos vivos son los que



cierran o mantienen cerradas sus valvas en respuesta a un ligero golpe en la concha. Con el conteo de los individuos vivos y los que han muerto por la acción de las biobalas puede calcularse la tasa de mortalidad en distintos momentos del tratamiento.

4.6.8. VIABILIDAD DE LOS MÉTODOS DE CONTROL/ERRADICACIÓN.

Una vez analizadas las técnicas disponibles en la literatura científica sobre control y erradicación del mejillón cebra, se valora en este apartado la posible aplicación de las mismas la cuenca del Guadiana.

Atendiendo al **medio natural**, el método menos agresivo desde el punto de vista ecológico, y que a la vez presenta una alta eficacia consiste en el recubrimiento con esteras bentónicas (Braithwaite ,2003). Según estudios realizados, la aplicación de esta técnica ha demostrado una alta eficacia en la eliminación de este bivalvo invasor, induciendo en la mayoría de las situaciones una tasa de mortalidad muy elevada; los resultados del recubrimiento durante 8 semanas fueron del 100% de mortalidad, mientras que el recubrimiento durante 2 ó 4 semanas resultó inferior al 70% de mortalidad.

Además, el desarrollo de esta práctica supone un daño ambiental muy localizado. El impacto que produce en el medio se circunscribe al espacio donde se instalan las esteras, donde la biocenosis bentónica puede verse afectada durante el período de tratamiento, recolonizándose estas áreas posteriormente a partir de las fuentes situadas en las inmediaciones. Las esteras bentónicas pueden aplicarse en períodos consecutivos hasta conseguirse los niveles de mortalidad propuestos.

En principio, las técnicas relacionadas con el empleo de productos químicos estarían descartadas para aplicarse en sistemas naturales de la cuenca, debido al posible impacto que podrían ejercer



sobre el resto del ecosistema. El *principio de cautela* obligaría a valorar primeramente otras alternativas antes de dar el paso definitivo del tratamiento con productos químicos. No obstante, la aparición de tecnologías novedosas, como las **biobalas**, abre una posibilidad a su uso en sistemas naturales. Actualmente se trabaja en la mejora de la efectividad y especificidad de esta metodología de control y erradicación para su empleo en sistemas naturales. Como se ha comentado con anterioridad, existen empresas especializadas en el tratamiento con biobalas, como *BioBullet Ltd.*, que ofrecen la posibilidad de tratamiento de moluscos acuáticos invasores en embalses mediante el empleo esta metodología (BioBullet Ltd., 2014). En cualquier caso, dada la rigurosidad que se precisa en estos estudios y apelando nuevamente al principio de cautela, el empleo o no de este tipo de métodos en sistemas naturales necesita de una valoración por parte de expertos formados en esta técnica.

Como ya se ha descrito anteriormente, una vez establecida la plaga en un ecosistema es prácticamente imposible su erradicación, pero sí es posible actuar en sistemas cerrados alimentados por esas aguas, como depósitos, balsas o circuitos de agua. La obstrucción de las conducciones hidráulicas se puede evitar manteniendo revisiones periódicas y aplicando métodos mecánicos, químicos o térmicos de eliminación de los racimos de mejillón cebra.

En **sistemas artificiales confinados**, como instalaciones industriales, infraestructuras de riego, depósitos, etc., los tratamientos más efectivos serían los químicos.

En el caso de depósitos y balsas se ha usado fundamentalmente el cloro, tratamiento común en la desinfección del agua, temperaturas elevadas y molusquicidas. Antes de emplear cualquiera de estos sistemas, se requiere conocer previamente su toxicidad frente a otros organismos acuáticos así como su inocuidad en caso de que se trate de aguas para consumo humano. En el caso de tuberías o conducciones infectadas, es recomendable la utilización de bombas de vacío para reducir la presión del aire. En caso de utilizar métodos químicos, hay que tener en cuenta que al ser animales filtradores, los mejillones pueden cerrar las valvas cuando detectan toxinas o



venenos en el agua y permanecer cerrados hasta tres semanas, por lo que pueden ser resistentes a ciertos biocidas. Por ejemplo, en el caso del cloro, el sistema más ampliamente utilizado, los tratamientos prolongados para asegurar su efecto producen trihalometanos tóxicos al reaccionar con la materia orgánica del agua. Es también muy importante tener en cuenta si se quiere actuar contra una población ya establecida (aplicando medidas reactivas) o si se trata de prevenir una posible invasión (medidas proactivas), por ejemplo para prevenir la fijación de las larvas a las superficies.

Las **biobalas** se presentan como una técnica novedosa y esperanzadora, tanto por los buenos resultados que se han obtenido en experiencias previas como por el bajo impacto ambiental que provocan.

En estructuras para la conducción de agua, como los canales, pueden utilizarse métodos de eliminación directa como el dragado de los fondos y las paredes de los mismos con maquinaria o bien el rascado de las superficies. La colocación de filtros en lugares estratégicos y en épocas concretas (por ejemplo en el momento de liberación de larvas) puede también ayudar a retener la expansión de la población en estas infraestructuras.

En las siguientes tablas se muestran, para cada método, la aplicabilidad, efectividad y la dificultad/coste del mismo:



TRATAMIENTOS MECÁNICOS			
MÉTODO	CONDICIONES DE APLICACIÓN	EFFECTIVIDAD	DIFICULTAD/COSTE
Diseño del proyecto	- Nuevas instalaciones	- Minimiza la necesidad de técnicas de mitigación a largo plazo	- Minimiza costes de futuros tratamientos.
	- Nuevas instalaciones u obras de reposición de las existentes.	- Efectivas en aguas primarias	- Posibles impactos ambientales. - Minimiza costes de futuros tratamientos.
Utilización de materiales antiadherentes	- Para instalaciones donde sea imposible establecer capa antiadherente o repelente	- Efectividad en los 2 a 5 primeros años.	- Posibles impactos ambientales. - Coste moderado.
Tratamiento químico preventivo	- En tuberías	- Velocidades > 1,5 m/seg	- Escasos datos disponibles.
Flujos de alta velocidad	- 0,95 kg/m2 de forma continua - Vacío en el interior de las conducciones	- Reducción de oxígeno. - Muerte en 2-3 días.	- Consumo de electricidad y agua reciclada. - No residuos. - Respetuoso medio ambiente.
Presión			
Infiltración de entrada	- En pequeñas plantas con suelos estratificados.	- Escasos datos disponibles.	- Impactos de construcción. - Coste de mantenimiento.
Limpieza mecánica	Tuberías de diámetro grande	- Hasta 180 cm de diámetro	- Se debe realizar un vaciado previo del sistema - Elevado coste.
	Bajo agua	- Soluciones a corto plazo	- Coste elevado.
	Con agua a altas presiones	- Soluciones a corto plazo	- Se debe realizar un vaciado previo del sistema - Coste elevado.
	Con agua a altas presiones y abrasivos	- Elimina los depósitos bisales.	- Coste elevado.



TRATAMIENTOS MECÁNICOS				
MÉTODO		CONDICIONES DE APLICACIÓN		EFFECTIVIDAD
	Por choque térmico (hielo seco)	- Dióxido de carbono líquido a -84ºC	- Elimina depósitos bisales.	los - Hay que tener cuidado con la cantidad de abrasivo, ya que puede dañar el sistema.

Tabla 25. Métodos mecánicos para la eliminación del mejillón cebra.

TRATAMIENTOS FÍSICOS				
MÉTODO	CONDICIONES DE APLICACIÓN	EFFECTIVIDAD	DIFICULTAD/COSTE	
Filtración mecánica	- Pantallas, filtradores, tamices, ultrafiltración. - Tener en cuenta las diferencias de presión, turbulencia, etc.	- Muy alta: 100% para caudales pequeños.	- Costes elevados.	
Tratamiento térmico	- La variación de la temperatura tiene que ser rápida.	- Muy alta.	- Contaminación del agua: a altas temperaturas disminuye el oxígeno disuelto.	
Desecación	- Alta humedad relativa acelera más la mortalidad que la ausencia de agua.	- Moderada.	- Implica vaciar el sistema. Alto coste por efectos sobre usos asociados a embalses.	
Congelación, enfriamiento	- Sistemas abiertos de lugares donde se den épocas de bajas temperaturas y posibilidades de gestión hidráulica de los ecosistemas acuáticos implicados.	- Mortalidad mayor que aplicando calor. - Por debajo de 3ºC, cuanto más baja sea la temperatura mayor es la tasa de mortalidad lograda.	- Viable en aquellos lugares en los que se pueda vaciar el sistema. - Sin datos disponibles del coste.	
Choque eléctrico	- 100 V/cm continuo, corriente alterna durante 0,25 segundos	- 100% de mortalidad en veligeras, post-veligeras y juveniles.	- Problemas de seguridad. - No practicable para la industria. - Sin datos disponibles del coste.	
Protección catódica	- Densidades 2,4-5 A/ft²	- Reducción significativa a 5 mA/ft2	- Completa inhibición no disponible. - Sin datos disponibles del coste. - Escasos datos disponibles.	
Electromagnetismo de baja frecuencia	- En sistemas cerrados. - En sistemas abiertos. - En sistemas de vida.	- El mejillón pierde capacidad para asimilar calcio mineral. - 100% mortalidad en sistemas cerrados.	- Escasos datos disponibles.	
Pulsos acústicos	- 39-41 Hz	- Fragmenta de larvas veligeras en pocos segundos. - En 19-24 h mata a los adultos.	- No existe un dispositivo comercial. - Sin datos disponibles del coste.	



TRATAMIENTOS FÍSICOS			
MÉTODO	CONDICIONES DE APLICACIÓN	EFFECTIVIDAD	DIFICULTAD/COSTE
Ondas de radio	- Exposición 40 días a ondas de radio de baja frecuencia.	- Causan el desprendimiento del calcio	- No daña medio ambiente - Mortalidad 100%, sin información de costes.
Luz ultravioleta	- Para volúmenes pequeños de agua potable. - Recientemente en plantas residuales	- Efectiva para prevenir establecimiento de larvas veligeras. - No efectiva para juveniles.	- Alternativa tecnológica viable a la cloración. - La calidad del agua limita su efectividad. - Sin datos disponibles del coste.
Cubrimiento	- Pequeñas poblaciones muy localizadas.	- 100% en recubrimientos superiores a 8 semanas. - >70% en recubrimientos de 2-4 semanas	- Daño ambiental localizado. - Altos costes.

Tabla 26. Tratamientos físicos para la eliminación del mejillón cebra.

TRATAMIENTOS QUÍMICOS			
MÉTODO	CONDICIONES DE APLICACIÓN	EFFECTIVIDAD	DIFICULTAD/COSTE
Cloración	- Aplicable en casi todos los sistemas.	- Fin de la época de reproducción. - Efectividad demostrada.	- Algunas de sus formas son carcinogénicas. Toxicidad en especies no objetivo en bajas concentraciones. Coste asumible y simple de utilizar.
Cloro	Hipoclorito sódico	- Su mejor forma es la de hipoclorito sódico.	- Costes asumibles.
	Clorito sódico	- Fácil aplicación	- Costes moderados debido a la frecuencia de las dosis.
	Cloraminas	- El ácido tricloroisocianúrico (tricloro-1,3,5-triazinotrión), se usa principalmente para agua de piscinas. Si no se usa adecuadamente puede ser causa de corrosión y deterioro.	- Dosis letales desconocidas - Elevado coste para sistemas de aguas en movimiento, se requieren altas concentraciones.
Dióxido de cloro	- Desinfectante de aguas residuales	- Fin de la época de reproducción	- Su efectividad no está totalmente probada. Requiere equipos especializados y es más caro y complicado de usar que el cloro.
Bromo	- Bromuro sódico y Cloruro de bromo	- Alta eficacia a pH superior a 8	- Alta toxicidad en especies no objetivo. Sin datos de costes disponibles.
Ozono	- Requiere mucha producción e inyección de ozono.	- Alta eficacia en áreas reducidas.	- Alto coste de equipo y mantenimiento - Baja eficiencia en grandes áreas - Altamente explosivo.

TRATAMIENTOS QUÍMICOS			
MÉTODO	CONDICIONES DE APLICACIÓN		EFFECTIVIDAD
Permanganato potásico	- Necesita altas y continuas dosis.	- Fin de la época de reproducción	- No es totalmente tóxico. Altos costes.
Peróxido de hidrógeno.	- Se puede combinar con iones de hierro	- Efectividad alta a grandes concentraciones de peróxido de hidrógeno.	- No es rentable para grandes superficies. Se necesitan altas concentraciones. Altos costes.
Potasio	- Sistemas confinados.	- El ión de potasio es el más efectivo de todas las sales de potasio.	- Muy tóxico para bivalvos endémicos.
Sulfato potásico	- Precloración previa	- 126 mg/l; 50%	- Dosis muy elevadas para la consecución de mortalidades altas de larvas
Nitrato amónico	- Aguas confinadas	- En circuitos cerrados. Adultos: 400-500 mg/l; 100% en 5-6 días. En larvas: 3 mg/l, 100%	- Sin datos disponibles del coste.
Metasulfito sódico	- Recomendado para circuitos cerrados	- Baja eficacia.	- Se necesitan concentraciones muy altas
Sulfato de cobre	- En forma de capas antiadherentes	- Tóxico para el plancton y organismos microbianos del agua.	- Ninguna amenaza para el hombre
Biobalas (Biobullets)	- En medios artificiales confinados - Se estudia su aplicación en medios abiertos (embalses)	- Tasas de mortalidad muy elevadas, muy próximas al 100% de la población	- Se está trabajando para mejorar su selectividad frente a las especies objetivo

Tabla 27. Tratamientos químicos para la eliminación del mejillón cebra.

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS			
MÉTODO	CONDICIONES DE APLICACIÓN	EFFECTIVIDAD	DIFICULTAD/COSTE
Toxinas de origen microbiano	- Libera un metabolito tóxico para ciertos invertebrados.	- Cepa CL0145A:80-100%	- No afecta a otros unionidos naturales. - Sin datos disponibles del coste.
Depredadores	- Atacan tanto a la fase sésil como a la larvaria	- Muy reducida	- Sin información sobre costes. - Difícil aplicabilidad.
Parásitos	- Medio de control efectivo y seguro	- La bacteria <i>Pseudoma fluorescens</i> sólo ataca al mejillón cebra. Son necesarias concentraciones 200 veces superiores a las naturales.	- Inviabile por su elevado coste.
Competidores bentónicos	- Ninguno parece ser suficientemente específico.	- Es el método con menos perspectivas.	- Altos costes.

Tabla 28. Tratamientos biológicos para la eliminación del mejillón cebra.



Life
INVASEP



NATURA 2000

TRATAMIENTOS DE GESTIÓN HIDRÁULICA			
MÉTODO	CONDICIONES DE APLICACIÓN	EFFECTIVIDAD	DIFICULTAD/COSTE
Fluctuaciones naturales nivel de agua	- Fluctuaciones naturales nivel de agua entre 10-30 m	- Control poblacional	- Fenómeno natural probado sólo en embalses griegos.

Tabla 29. Tratamientos de gestión hidráulica para la eliminación del mejillón cebra.





BLOQUE 5

Anexos



“Determinación de las principales zonas de riesgo para el mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y recomendaciones prácticas para prevenir su introducción y su control/eliminación”.



5.1. ANEJO CARTOGRÁFICO.

ÍNDICE DE PLANOS:

Plano nº 1. RIESGO DE INVASIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA EN MASAS DE AGUA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUADIANA

Plano nº 2. RIESGO DE PROPAGACIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA EN MASAS DE AGUA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUADIANA

Plano nº 3. SIMULACIÓN DEL RECORRIDO DEL MEJILLÓN CEBRA DESDE EL EMBALSE DE LA CABEZUELA HASTA EL AZUD DE MONTIJO.



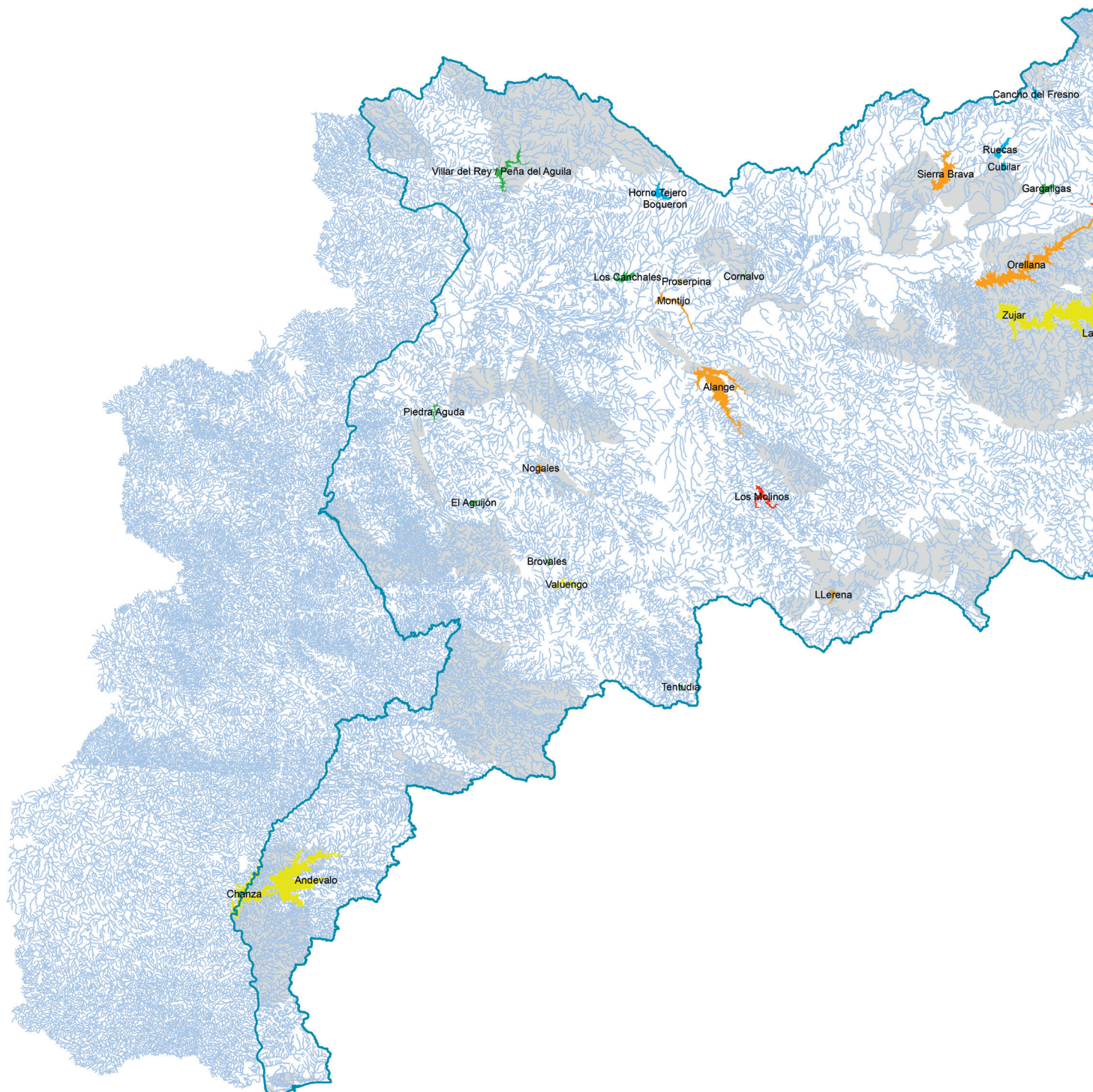


GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

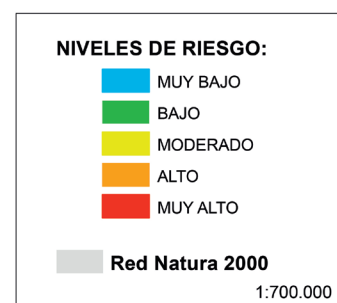
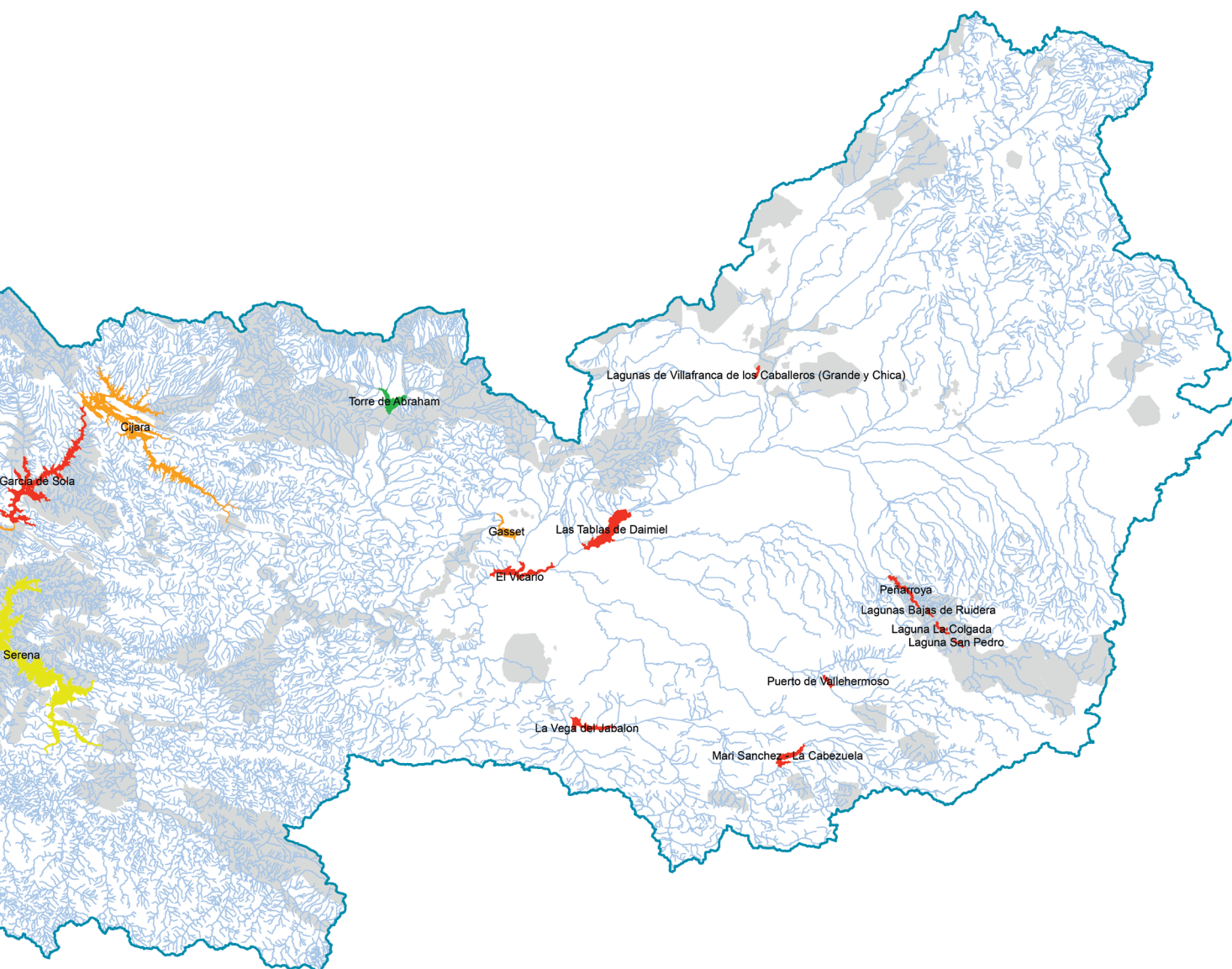
CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADIANA

PLANO Nº1. RIESGO DE INVASIÓN DE DE LA CUENCA HIDROG



“Determinación de las principales zonas de riesgo para el mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y sus
Acción A.3 LIFE 10/NAT/ES/000582. INVASEP. “Lucha contra especies invasoras en las cuencas Hidrográ

EL MEJILLÓN CEBRA EN MASAS DE AGUA DISTRIBUCIÓN DEL RÍO GUADIANA



recomendaciones prácticas para prevenir su introducción y su control/eliminación”
“Distribución del Tajo y Guadiana en la Península Ibérica”.

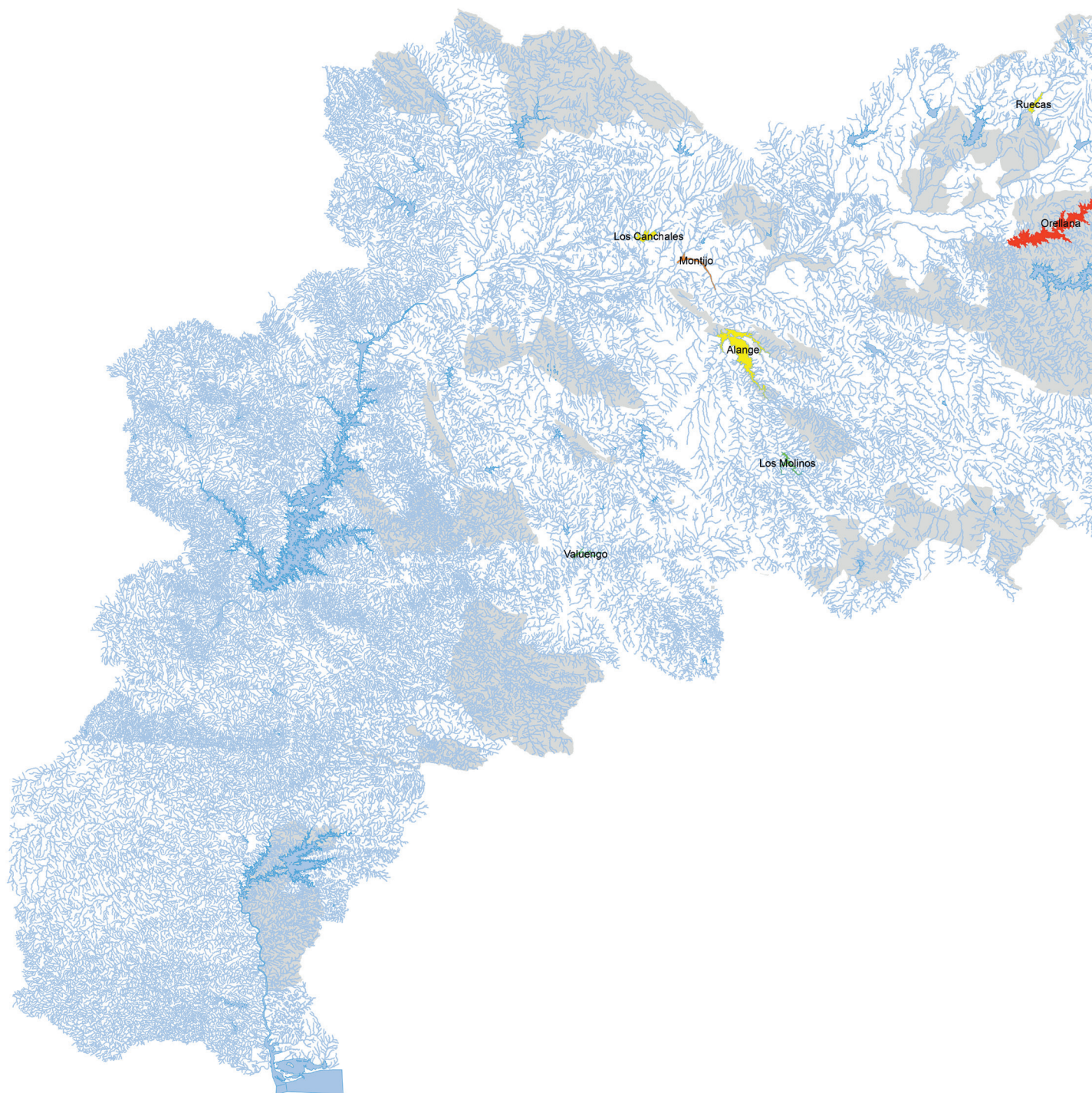


GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

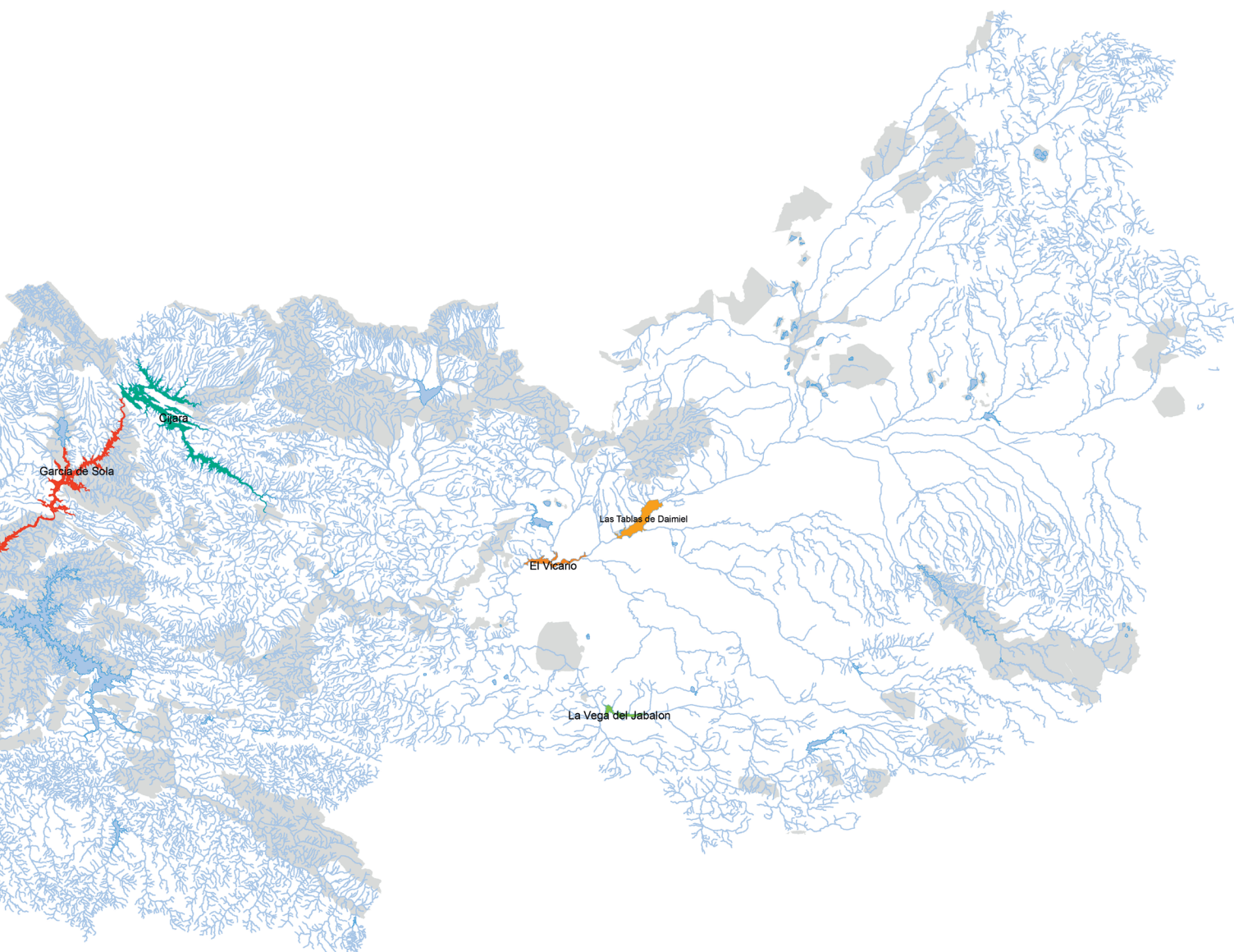
CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADIANA

PLANO Nº2. RIESGO DE PROPAGACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA



“Determinación de las principales zonas de riesgo para el mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y sus
Acción A.3 LIFE 10/NAT/ES/000582. INVASEP. “Lucha contra especies invasoras en las cuencas Hidrográficas”

DEL MEJILLÓN CEBRA EN MASAS DE AGUA GRÁFICA DEL RÍO GUADIANA



TIEMPOS MÍNIMOS DE LEGADA DE LARVAS DE MEJILLÓN CEBRA DESDE EMBALSES AFECTADOS AGUAS ARRIBA

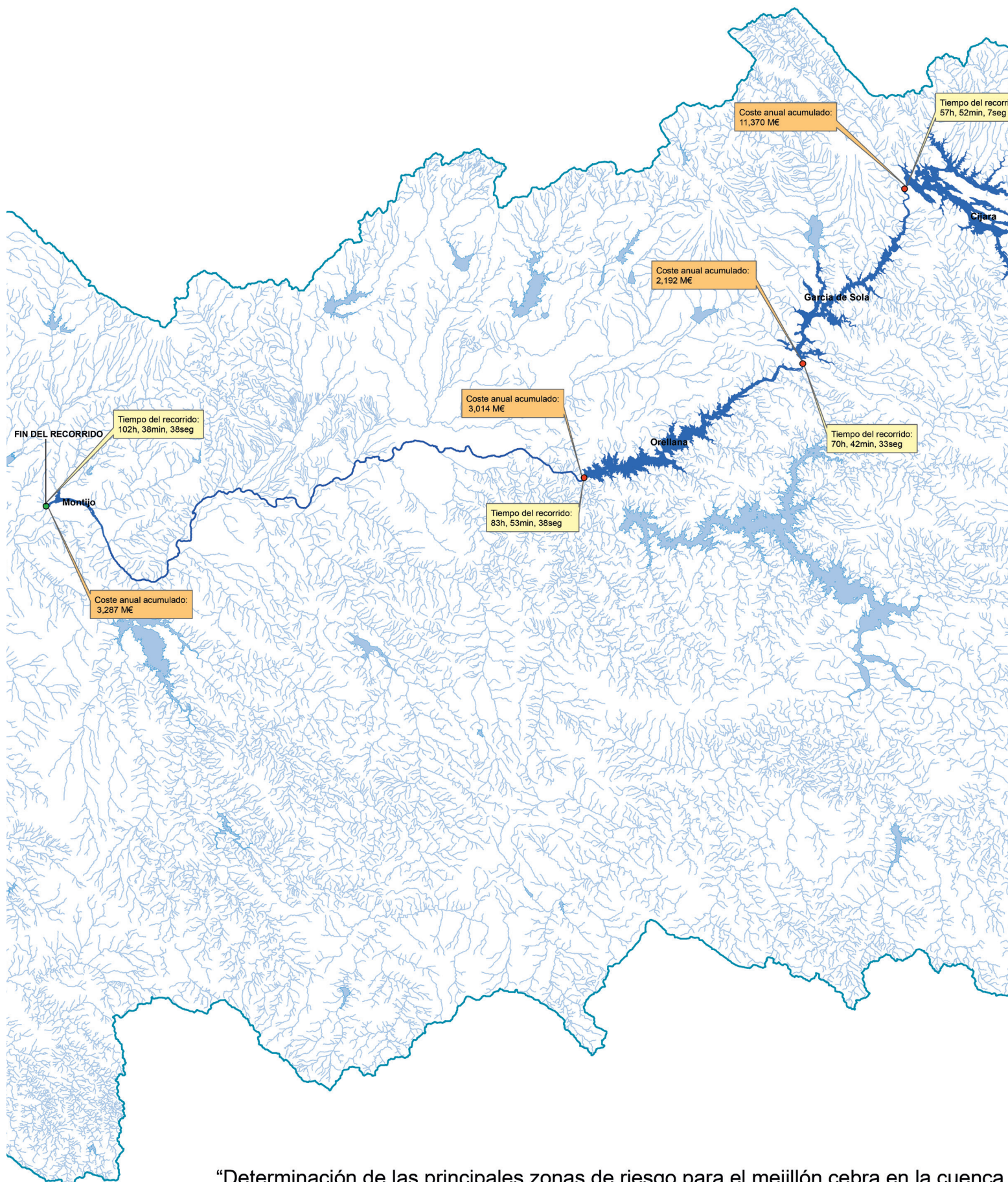
- (menos de 1 hora)
- (de 1 a 6 horas)
- (de 6 a 12 horas)
- (de 12 a 24 horas)
- (de 24 a 48 horas)

Red Natura 2000

1:700.000

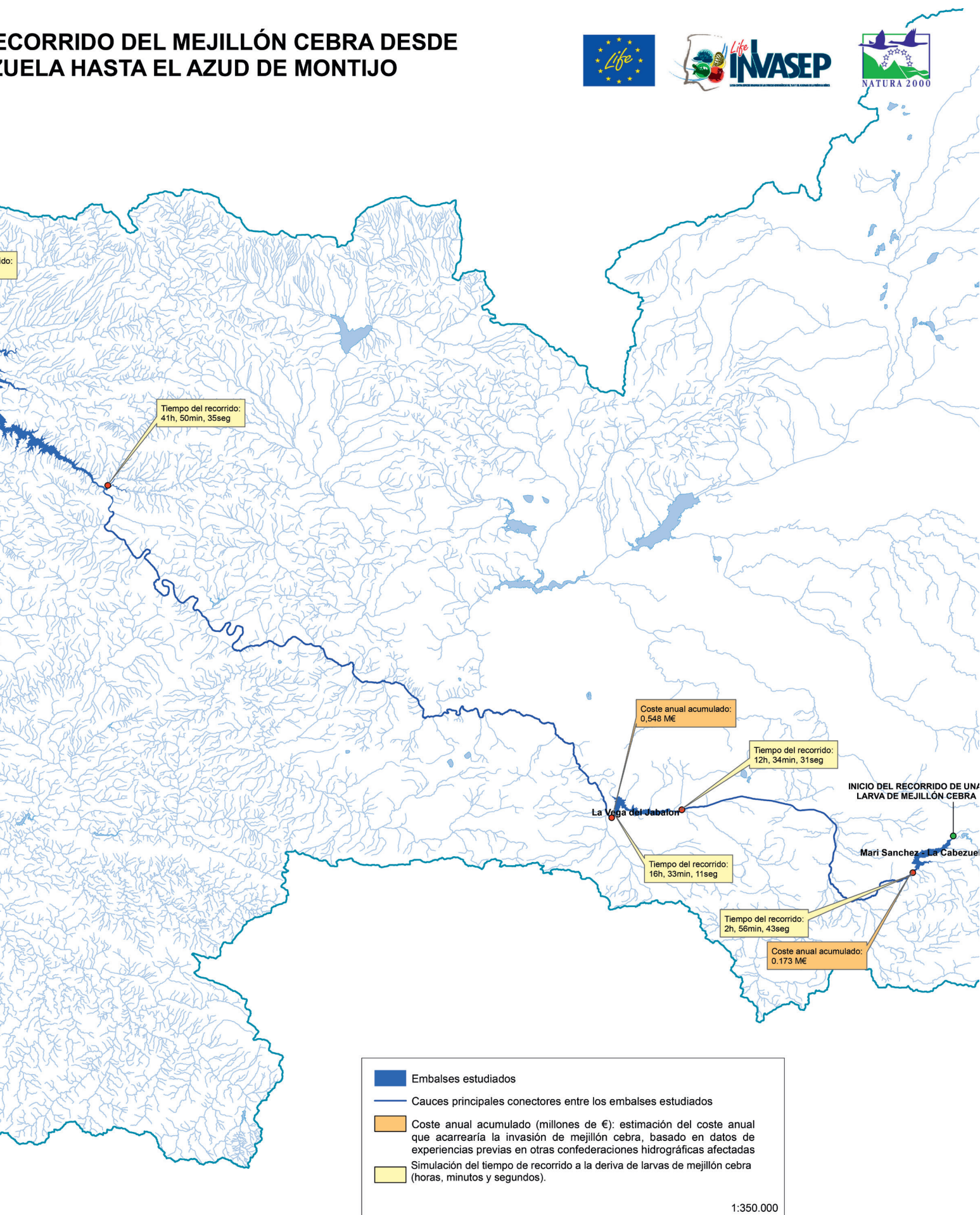
recomendaciones prácticas para prevenir su introducción y su control/eliminación”
“Prácticas del Tajo y Guadiana en la Península Ibérica”.

PLANO Nº3. SIMULACIÓN DEL RE EL EMBALSE DE LA CABEZ



“Determinación de las principales zonas de riesgo para el mejillón cebra en la cuenca
Acción A.3 LIFE 10/NAT/ES/000582. INVASEP. “Lucha contra especies invasoras en l

RECORRIDO DEL MEJILLÓN CEBRA DESDE PUELA HASTA EL AZUD DE MONTIJO



del Guadiana y sus recomendaciones prácticas para prevenir su introducción y su control/eliminación”
as cuencas Hidrográficas del Tago y Guadiana en la Península Ibérica”.



5.2. DÍPTICO INFORMATIVO.



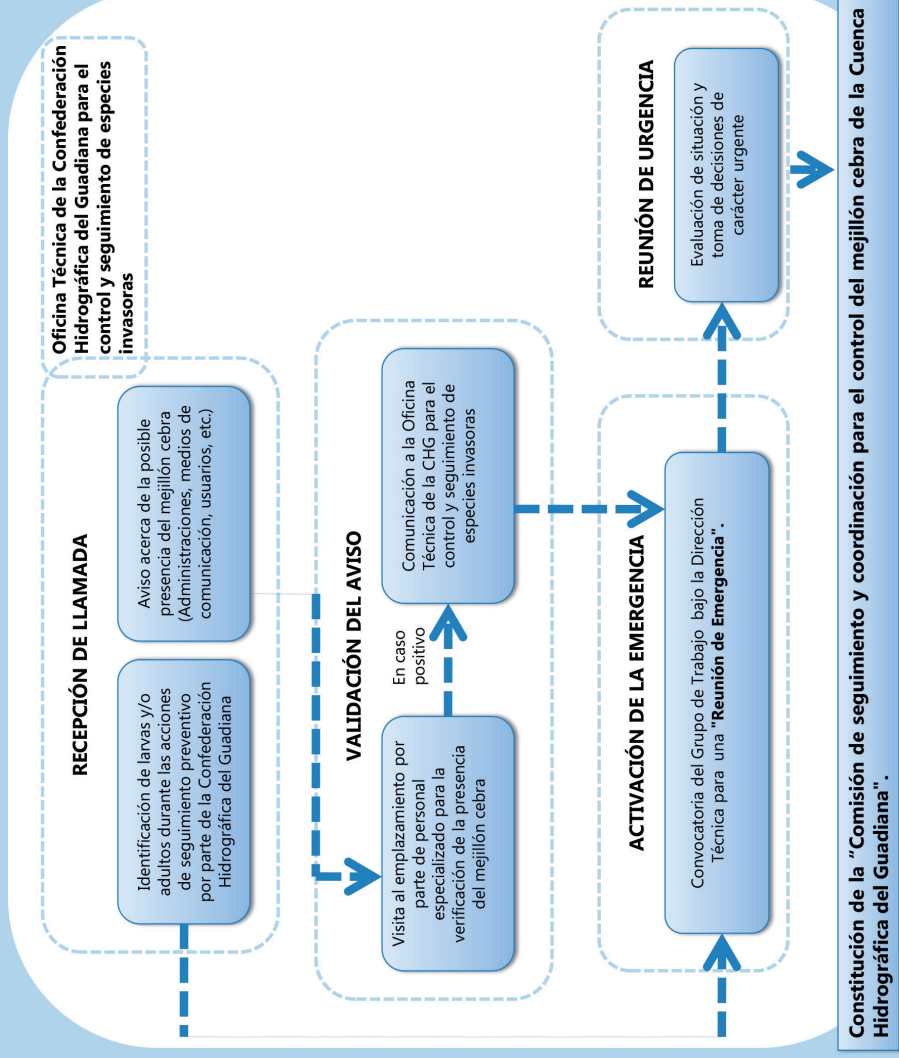


GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

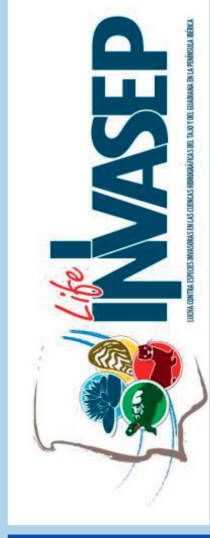
CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADIANA

Protocolo de actuación en caso de detección del mejillón cebra:



EL MEJILLÓN CEBRA

Protocolos para la prevención, control y erradicación del mejillón cebra



Actuaciones llevadas a cabo por la Confederación Hidrográfica del Guadiana respecto al mejillón cebra:

Análisis del riesgo de invasión

(Estudio de la susceptibilidad ante la colonización y la capacidad de propagación)

RIESGO DE INVASIÓN: bajo-moderado

Masas de agua con mayor riesgo: Lagunas (lagunas de Ruidera, laguna de Villafraanca y complejo de las Tablas de Daimiel), Embalses del Vicario, Peñarroya, Puerto de Vallehermoso, Vega del Jabalón, La Cabezueta y el sistema Cijara-García de Sola-Orellana.

RIESGO DE PROPAGACIÓN: alto

Simulación del recorrido completo que realizaría una larva de mejillón cebra desde la cola del embalse de La Cabezueta hasta el azud de Montijo teniendo en cuenta la situación más desfavorable (desembalse).

Actuaciones de prevención y control

(Mecanismos para prevenir la introducción del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana)

- Análisis y controles sistemáticos en muestras de agua de 33 embalses de la cuenca (desde 2007 a 2015)
- Adquisición de 4 equipos móviles para la desinfección de embarcaciones y equipos de pesca y navegación e instalación de 2 estaciones fijas de limpieza en los embalses de Orellana y García de Sola.
- En 2014, la Confederación Hidrográfica del Guadiana ha autorizado un Centro de Desinfección de Vehículos ubicado en la localidad de Olivenza (Badajoz)
- Protocolo de limpieza y desinfección de embarcaciones.
- Protocolo de desinfección para material de pesca y de otros usos recreativos.
- Protocolo de desinfección para pequeños equipos de trabajo en medios acuáticos.
- Protocolo de limpieza para hidroaviones y otros medios para extinción de incendios.
- Protocolo de limpieza para maquinaria de trabajo.
- Protocolo de detección y seguimiento de las poblaciones de mejillón cebra.

Estudio de técnicas de control/eliminación

(Investigación de los diferentes métodos existentes para la lucha contra el mejillón cebra y análisis de la viabilidad de su posible aplicación)

Conclusiones sobre la viabilidad de los métodos de control/erradicación del mejillón cebra en la Cuenca del Guadiana

MEDIO NATURAL	SISTEMAS ARTIFICIALES/ MEDIOS CONFINADOS
Métodos físicos: recubrimiento con esteras bentónicas Métodos químicos: descartados excepto biobalas	Métodos químicos: Cloro y molusquicidas específicos Métodos mecánicos: antiaherentes, filtros, dragados
✓ Alta eficacia ✓ Efectos ambientales localizados ✓ Alta toxicidad ✓ Actualmente en investigación su aplicación en medio natural.	✓ Reducida eficacia por la reacción del mejillón (cierre de valvas) ✓ El encapsulamiento en biobalas puede incrementar la eficacia ✓ Eficacia muy variable dependiendo de la infraestructura afectada
Desembalses y desecados (en ambos medios) ✓ Eficacia moderada ✓ Alto coste por efectos sobre usos asociados a embalses.	

Protocolo de actuación en caso de emergencia

(Diseño de mecanismos de coordinación y planificación de situaciones de alarma)

Creación de un **Grupo de trabajo** bajo la Dirección Técnica de la CHG, (constituido por representantes del Servicio de Aplicaciones Forestales y Agronómicas y del Servicio de Explotación), con representación de la Comisaría de Aguas (Área de Calidad de las Aguas y Navegación), para la coordinación, desarrollo y seguimiento de actuaciones de carácter preventivo.

Habilitación de una **Oficina Técnica de la Confederación Hidrográfica del Guadiana para el control y seguimiento de especies invasoras**, que realice, entre otras funciones, la gestión de la atención temprana a través de la recepción de avisos sobre la posible detección del mejillón cebra en cualquier punto de la cuenca.

Constitución de una **Comisión de seguimiento y coordinación para el control del mejillón cebra de la Cuenca Hidrográfica del Guadiana** como mecanismo de coordinación entre entidades con competencias en la gestión de la especie en el territorio de la Cuenca Hidrográfica del Guadiana.

ACCIONES EN ESTUDIO



BLOQUE 6

Referencias



“Determinación de las principales zonas de riesgo para el mejillón cebra en la cuenca del Guadiana y recomendaciones prácticas para prevenir su introducción y su control/eliminación”.



6. REFERENCIAS

6.1. INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diferentes imágenes de <i>Dreissena polymorpha</i>	14
Ilustración 2. Ciclo completo de desarrollo del mejillón cebra (modificado de Claudi & Mackie, 1194; Ackerman et al., 1994; ZMIS, 2008).	17
Ilustración 3. Síntesis del procedimiento seguido para la estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en masas de agua de la cuenca del Guadiana.....	65
Ilustración 4. Historia del proceso de invasión del mejillón cebra en la Península Ibérica.....	82
Ilustración 5. Esquema de la hipótesis de partida para el estudio de la propagación del mejillón cebra.....	88
Ilustración 6. Distancia hipotética que recorrerían las larvas de mejillón cebra por hora en el tramo del cauce comprendido entre los embalses de La Vega del Jabalón y Cijara.	92
Ilustración 7. Distancia hipotética que recorrerían las larvas de mejillón cebra por hora en el tramo del cauce comprendido entre los embalses de Proserpina y Montijo.....	93
Ilustración 8. Distancia hipotética que recorrerían las larvas de mejillón cebra por hora entre los embalses Valdecaballeros-Cijara-García de Sola-Orellana-.....	94
Ilustración 9. Simulación del recorrido del mejillón cebra desde el embalse de La Cabezuela hasta el azud de Montijo.	101
Ilustración 10. Simulación del recorrido del mejillón cebra desde el embalse de La Cabezuela hasta el azud de Montijo.....	102
Ilustración 11. Situación de la Estación Fija 1 de desinfección de embarcaciones de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.	109
Ilustración 12. Estación Fija de desinfección de embarcaciones de la Confederación Hidrográfica del Guadiana 1. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.	110
Ilustración 13. Situación de la Estación Fija 2 de desinfección de embarcaciones de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.	111
Ilustración 14. Estación Fija de desinfección de embarcaciones de la Confederación Hidrográfica del Guadiana 2. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.	112
Ilustración 15. Equipo móvil de desinfección. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.	114
Ilustración 16. Toma de muestras en el embalse de García Sola. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.....	124
Ilustración 17. Toma de muestras en el embalse de Proserpina. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.....	125
Ilustración 18. Limpieza de exterior de una embarcación. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.....	131
Ilustración 19. Limpieza de motor. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.	133
Ilustración 20. Modelo de certificado de desinfección de embarcaciones utilizado actualmente por la Confederación Hidrográfica del Guadiana Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.....	136



Ilustración 21. Visión global de uno de los testigos colocados en el Embalse de Iznájar. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir	146
Ilustración 22. Muestra del método de identificación de cotas por nudos en los testigos colocados en el Embalse de Iznájar. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir	146
Ilustración 23. Esquema del Protocolo de actuación en caso de aviso ante la detección del mejillón cebra en la Cuenca Hidrográfica del Guadiana.	157
Ilustración 24. Filtro instalado en Malpica del Tajo. Fuente: Filtros Palacios, S.L.	175
Ilustración 25. Detalle del sistema de limpieza del sistema de filtración, instalado en la cara inferior del filtro. Fuente: Filtros Palacios, S.L.	176
Ilustración 26. Filtro para final de canal. Fuente: Filtros Palacios, S.L.	176
Ilustración 27. Detalles del filtro de final del canal. Fuente: Filtros Palacios, S.L.	177
Ilustración 28. Imagen con microscopio electrónico de partículas de Biobullets (Biobalas). Fuente: BioBullet Ltd.	190
Ilustración 29. Esquema mostrando la diferencia de comportamiento de un bivalvo al suministrarle una toxina libre (figura a) y la misma toxina encapsulada según la técnica de las Biobullets (Biobalas) (Figura b). Fuente: BioBullets	190
Ilustración 30. Gráfico ilustrativo sobre la tasa de mortalidad que se consigue al aplicar el ingrediente activo (toxina) de forma libre y encapsulado (Biobalas). Fuente: modificado de BioBullets	191
Ilustración 31. Mortalidad media (porcentaje de ejemplares agonizantes y vacíos en comparación con vivos) de mejillón cebra y almeja asiática tratados con dos formulaciones de Biobalas (SB1000 y SB2000). La barra azul señala el periodo de administración del producto para los dos tratamientos. Fuente: BioBullet Ltd. (2011).	194





6.2. INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Condiciones de colonización y crecimiento potenciales del mejillón cebra. Fuente: Ecología del mejillón cebra (<i>Dreissena polymorpha</i>) en el tramo inferior del río Ebro. Problemática y posibilidades de control. Autor: Imanol Cia Abaurre.....	21
Tabla 2. Síntesis de los impactos generados por el mejillón cebra en función de los sistemas afectados.....	29
Tabla 3. Masas de agua lénticas incluidas en el estudio de estima del riesgo de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana.	46
Tabla 4. Listado de variables empleadas en la estimación del riesgo de invasión del mejillón cebra en la cuenca del Guadiana. Se indican en su caso las variables accesorias necesarias para su cálculo, la expresión de cálculo y si la variable en cuestión se ha podido obtener para embalses, lagunas o en ambos casos.	58
Tabla 5. Autovalores y porcentaje de varianza explicado de cada componente extraído del PCA aplicado a las variables "tiempo de viaje (en inverso)" y "navegación".	66
Tabla 6. Contribución de cada variable en el componente 1 (PC _{CONEXIÓN-USO}) medida a través de los factores de carga. Se resaltan la variable de mayor peso (contribución) en el componente.....	67
Tabla 7. Autovalores y porcentaje de varianza explicado de cada componente extraído del PCA aplicado a las variables "concentración de Ca", "conductividad", "dureza", "pH", "oxígeno disuelto" y "temperatura".	67
Tabla 8. Contribución de cada variable en el componente 1 (PC _{FÍSICO-QUÍMICA}) medida a través de los factores de carga. Se resaltan las variables que más peso (contribución) tienen en el componente.	68
Tabla 9. Autovalores y porcentaje de varianza explicado de cada componente extraído del PCA aplicado a las variables "tiempo de residencia del agua", "oscilación volumétrica relativa", "morfología de la cubeta" y "longitud de costas".....	68
Tabla 10. Contribución de cada variable en el componente 1 (PC _{HIDROMORFOLÓGICAS}) medida a través de los factores de carga. Se resaltan las variables que más peso (contribución) tienen en el componente.	69
Tabla 11. Niveles de riesgo (1 a 5) asignados a los embalses en función de los valores obtenidos por los mismos en los componentes PC _{CONEXIÓN-USO} , PC _{FÍSICO-QUÍMICA} y PC _{HIDROMORFOLÓGICAS} . A mayor valor mayor riesgo estimado.	70
Tabla 12. Niveles de riesgo (1 a 5) asignados a los embalses en función de la variable COMB _{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA} surgida de la combinación de los componentes PC _{CONEXIÓN-USO} y PC _{FÍSICO-QUÍMICA} . A mayor valor mayor riesgo estimado.	73
Tabla 13. Estima final del riesgo de invasión del mejillón cebra en embalses en función de la combinación de COMB _{CONEXIÓN-USO-FÍSICOQUÍMICA} y PC _{HIDROMORFOLÓGICAS} . Se incluye un código de color para cada nivel de riesgo estimado (rojo: muy alto; naranja: alto; amarillo: moderado; verde: bajo; azul: muy bajo). Los embalses aparecen ordenados según el nivel de riesgo de mayor a menor.	75
Tabla 14. Comparativa del riesgo inicial y final de invasión del mejillón cebra en embalses.....	76





Tabla 15. Autovalores y porcentaje de varianza explicado de cada componente extraído del PCA aplicado a las variables "concentración de Ca", "conductividad", "dureza", "pH", "oxígeno disuelto" y "temperatura".	78
Tabla 16. Contribución de cada variable en el componente 1 (PCLAGUNAS FÍSICO-QUÍMICA) medida a través de los factores de carga. Se resaltan las variables que más peso (contribución) tienen en el componente.	79
Tabla 17. Estima final del riesgo de invasión (1 a 5) del mejillón cebra en laguna de la cuenca del Guadiana en función de la integración de las variables "tiempo de viaje (inverso)" y PC _{HIDROMORFOLÓGICAS} . Color rojo: riesgo muy alto.	80
Tabla 18. Porcentajes de masas de agua de cada nivel de riesgo incluidas en terrenos silíceos y calcáreos de la cuenca del Guadiana. Entre paréntesis se indica el número de masas de agua de cada nivel de riesgo.	83
Tabla 19. Tiempo de alcance del mejillón cebra entra masas de agua en situación de desembalse; tiempo de llegada de larvas de mejillón cebra desde un embalse afectado hasta la masa de agua más cercana localizada aguas abajo.	91
Tabla 20. Tiempos de residencia en días de los embalses analizados, según datos del SAICA de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.	98
Tabla 21. Longitud de remanso y velocidad del agua en superficie de los embalses analizados.	99
Tabla 22. Tiempos de recorrido de la corriente de agua en embalses estudiados desde la cola hasta la presa.	100
Tabla 23. Desinfecciones realizadas en la Confederación Hidrográfica del Guadiana desde el año 2009.	116
Tabla 24. Resultados, en términos de ausencia o presencia de larvas planctónicas, de los análisis realizados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana entre los años 2007 y 2014. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana.	128
Tabla 25. Métodos mecánicos para la eliminación del mejillón cebra.	200
Tabla 26. Tratamientos físicos para la eliminación del mejillón cebra.	201
Tabla 27. Tratamientos químicos para la eliminación del mejillón cebra.	202
Tabla 28. Tratamientos biológicos para la eliminación del mejillón cebra.	202
Tabla 29. Tratamientos de gestión hidráulica para la eliminación del mejillón cebra.	203



6.3. BIBLIOGRAFÍA.

- Bossenbroek J. M., Johnson L. E., Peters B. and D. M. Lodge. 2007. Forecasting the expansion of zebra mussels in the United States. *Conservation Biology* 21: 800-810.
- Bossenbroek J. M., Kraft C. E. and Nekola J. C. 2001. Prediction of long-distance dispersal using gravity models: zebra mussel invasion of inland lakes. *Ecological Applications* 11: 1778-1788.
- Carlton J. T. 1993. Dispersal mechanisms of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. En: Nalepa T. F. and Schloesser D. W. (eds). 1993. *Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Control*, pp 677-697. Lewis Publishers, Ann Arbor, Michigan.
- Cia Abaurre I. 2008. Ecología del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en el tramo inferior de río Ebro. Problemática y posibilidades de control. Tesis Doctoral publicada por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Serie temática Naturaleza y Parques Naturales. ISBN: 978-84-9014-737-8.
- Claudi, R. y Mackie G. L. 1994. Practical manual for zebra mussel monitoring and control. Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Clavero M., Blanco-Garrido F. and Prenda J. 2004. Fish fauna in Iberian Mediterranean river basins: biodiversity, introduced species and damming impacts. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 14: 575-585.
- Davis M. A. and Pelsor M. 2001. Experimental support for a resource-based mechanistic model of invasibility. *Ecology Letters* 4:421-428.
- Durán C. y Anadón A. 2008. The zebra mussel invasión in Spain and navigation rules. *Aquatic Invasions* 3: 315-324.
- Durán C., Lanao M., Anadón A. y Touyá V. 2010. Strategy of management of the zebra mussel in the Ebro river basin. *Aquatic Invasions* 5: 309-316.
- Forsyth D. M., Duncan R. P., Bomford M. and Moore G. 2004. Climatic suitability, life-history traits, introduction effort, and establishment and spread of introduced mammals in Australia. *Conservation Biology* 18:557-569.
- Gasith A. y Resh V H. 1999. Streams in Mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 30: 51-81.
- Herborg L. M., Jerde C. L., Lodge D. M., Ruiz G. M and MacIsaac H. J. 2007. Predicting invasion risk using measures of introduction effort and environmental niche models. *Ecological Applications* 17: 663-674.
- Hermoso V. 2008. Ríos mediterráneos, aproximación a la evaluación del estado ecológico y planificación para la conservación a través de los peces. Tesis doctoral, Universidad de Huelva. 185 pp.



- Hermoso V., Clavero M., Blanco-Garrido F. and Prenda J. 2011. Invasive species and habitat degradation in Iberian streams: an analysis of their role in freshwater fish diversity loss. *Ecological Applications* 21 (1): 175-188
- Hernández-Pacheco E. 1928. Fisiografía del Guadiana. Centro de Estudios Extremeños, 3: 511-521.
- Horvath, T. G y Crane L. 2010. Hydrodynamic forces affect larval zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) mortality in a laboratory setting. *Aquatic Invasions* (2010) Volume 5 (4): 379-385.
- Kilgour, B.W., G. L. Mackie, M. A. Baker y R. Keppel. 1994. Effects of salinity on the condition and survival of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). *Estuaries*, 17(2): 385-393.
- Kolar C. S. and Lodge D. M. 2002. Ecological predictions and risk assessment for alien fishes in North America. *Science* 298:1233-1236.
- Levine J. M., Adler P. B., and Yelenik S. G. 2004. A meta-analysis of biotic resistance to exotic plant invasions. *Ecology Letters* 7:975-989.
- Levine J. M., and D'Antonio C. M. 1999. Elton revisited: a review of evidence linking diversity and invasibility. *Oikos* 87:15-26.
- Lockwood, J. L., Cassey P. and Blackburn T. 2005. The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends in Ecology and Evolution* 20:223-228.
- Lodge D. M. 1993. Biological invasions: lessons for ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 8:133-137.
- Lonsdale W. M. 1999. Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. *Ecology* 80:1522-1536.
- Mackie, G. L. 1993. Biology of the zebra mussel *Dreissena polymorpha* and observations of mussel colonisation on unionid bivalves in Lake St. Clair of the Great Lakes. In T.F. Nalepa and D.W. Schloesser (eds), *Zebra mussels: biology, impacts and control*, 153-66. Boca Raton, Florida. CRC Press.
- McMahon R. F. 1996. The physiological Ecology of the Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha*, in North America and Europe. *Amer. Zool.*, 36: 339-363
- Palau A. 2007. Propuesta de un índice para determinar la vulnerabilidad de las masas de agua frente a la presión de colonización del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*). Aplicación a la Cuenca del Ebro. Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl de la Universitat de Lleida. Disponible en on line: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=18811>
- Palau A., Cia I., Fargas D., Bardina M. y Massuti S. 2004. Resultados preliminares sobre ecología básica y distribución del mejillón cebra en el embalse de Riba-roja (Río Ebro). Endesa. Madrid. 43 pp.



- Rodier J. 1981. Análisis de aguas. Ed. Omega, S.A. Barcelona. 1058 pp.
- Romanuk T. N. and Kolasa J. 2005. Resource limitation, biodiversity, and competitive effects interact to determine the invasibility of rock pool microcosms. *Biological Invasions* 7: 711–722.
- Rouget M. and Richardson D. M. 2003. Inferring process from pattern in plant invasions: a semimechanistic model incorporating propagule pressure and environmental factors. *American Naturalist* 162:713–724.
- Sánchez-Herranz J., Fargas D., Ibáñez-Perales N. y Cia I. 2011. Asistencia técnica en relación a la Susceptibilidad de las masas de agua de la Comunidad Autónoma del País Vasco al asentamiento del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*). Informe para la Agencia Vasca del Agua (URA). 125 pp.
- Schneider D. W., Ellis C. D. and Cummings K. S. 1998. A transportation model assessment of the risk to native communities from zebra mussel spread. *Conservation Biology* 12: 788–800.
- Smith, K. G. and Darwall W. R. T. (Eds.). 2006. The Status and Distribution of Freshwater Fish Endemic to the Mediterranean Basin. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 34 pp.
- Timar L. and Phaneuf D. 2009. Modeling the human-induced spread of an aquatic invasive: The case of the zebra mussel. Report of North Carolina State University (2009), 39 pages.
- Trichkova T. A., Kotsev A. A., Popov A., Zivkov M. T., Kozuharov D. S., Botev I. S., Hubenov Z. K., Dimitrov S. 2007. Assessment of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) infestation risk using GIS for water basins in the North-West Bulgaria. Defense Technical Information Center. 55 pp. Disponible on line en: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a461441.pdf>
- Walker S., Wilson J. B. and Lee W. G. 2005. Does fluctuating resource availability increase invasibility? Evidence from a New Zealand short tussock grassland. *Biological Invasions* 7: 195–211.
- BioBullet Ltd., 2014. Dirección web: <http://biobullets.com/industries/reservoirs/>. Página visitada el 27/11/2014.
- BioBullet Ltd. 2011. Biobullets para el control de obstrucciones de mejillón cebra en sistemas de regadío españoles. Informe final, diciembre de 2011. BioBullets Ltd. 14 pp. Disponible on line en www.chebro.es/contenido.streamFichero.do?idBinario=12432.
- Claudi R. and Mackie G. L. 1994. Zebra Mussel Monitoring and Control. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Aldrige, D., P. Elliot, and Moggridge G. D. 2006. Microencapsulated BioBullets for the control of biofouling Zebra Mussels. *Environmental Science & Technology* 40: 975–979.



- H.J.G. Polman, J.P.M. Janssen-Mommen, J.Cernadas, 2011. Control y mitigación del mejillón cebra dentro del marco normativo de la Unión Europea. Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Luis Pérez y Pérez Carlos Chica Moreu Zaragoza, Diciembre de 2005. Confederación Hidrográfica del Ebro, Comisaría de Aguas. Valoración económica de la invasión del mejillón cebra en la cuenca del Ebro.
- Concha Durán, Munia Lanao, Luis Pérez y Pérez, Carlos Chica, Antonia Anadón y Vincent Touya. Estimación de los costes de la invasión del mejillón cebra en la cuenca del Ebro (periodo 2005-2009).
- El mejillón cebra en la cuenca del Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro. 2007.
- D. Ángel Nieva Pérez. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Red de Vigilancia preventiva de larvas de mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en la cuenca del Guadiana. Resultados 2013
- Plan de Acción para el Control de la expansión del mejillón cebra en la Comunidad Autónoma de País Vasco. Informe elaborado por Cimera Estudios Aplicados, S. A. para la Agencia Vasca del Agua. Octubre de 2013
- Isabel Abel Abellán. Junio 2010. Seguimiento de la Estrategia Nacional contra el mejillón cebra
- V. TOUYA, C. DURÁN, A. ANADÓN & M. LANA O. La navegación como vector de propagación del mejillón cebra en la cuenca del Ebro (España). 2012.
- Sanguansat P. (Ed.). 2012. Principal Component Analysis - Multidisciplinary Applications. Disponible en <http://www.intechopen.com/books/principal-component-analysis-multidisciplinaryapplications>.





**DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES ZONAS DE RIESGO
PARA EL MEJILLÓN CEBRA EN LA CUENCA DEL GUADIANA Y
RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA PREVENIR SU
INTRODUCCIÓN Y SU CONTROL/ELIMINACIÓN**