



PROTOCOLOS DE PREVENCIÓN, DETECCIÓN TEMPRANA Y ERRADICACIÓN Y CONTROL DE *Azolla filiculoides* Lam.



Proyecto LIFE10 NAT/ES/582 “Lucha contra especies invasoras en las cuencas hidrográficas del Tago y del Guadiana en la Península Ibérica” (LIFE INVASEP)



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
3. PROTOCOLO DE PREVENCIÓN	3
3.1. INTRODUCCIÓN	3
3.2. ACTUACIONES	3
3.2.1. EDUCACIÓN AMBIENTAL	4
3.2.2. CUMPLIMIENTO DE LAS POLÍTICAS Y NORMATIVAS VIGENTES	7
3.3. TEMPORALIZACIÓN DE LAS ACTUACIONES	9
3.4. PRESUPUESTO	9
4. PROTOCOLO DE DETECCIÓN TEMPRANA	10
4.1. INTRODUCCIÓN	10
4.2. ACTUACIONES	10
4.2.1. ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGOS DE INVASIÓN POR AZOLLA FILICULOIDES	12
4.2.2. VISITAS DE SEGUIMIENTO A LAS ÁREAS DE MAYOR RIESGO RESCATANDO INFORMACIÓN SIGNIFICATIVA	13
4.3. TEMPORALIZACIÓN DE LAS ACTUACIONES	17
4.4. PRESUPUESTO	17
5. PROTOCOLOS DE ERRADICACIÓN Y CONTROL	19
5.1. INTRODUCCIÓN	19
5.2. ACTUACIONES	20
5.2.1. EXTRACCIÓN DE AZOLLA FILICULOIDES DEL CAUCE FLUVIAL	22
5.2.2. ACUMULACIÓN Y TRANSPORTE DE AZOLLA FILICULOIDES	28
5.2.3. SECADO E INCINERACIÓN Y CONTROL FINAL DE LOS RESTOS	29
5.3. TEMPORALIZACIÓN DE LAS ACTUACIONES	30
5.4. PRESUPUESTO	30
6. ESQUEMA METODOLÓGICO DE LOS PROTOCOLOS	34
7. MANEJO DE AZOLLA FILICULOIDES EN EL RÍO TAJO A SU PASO POR PARQUE NATURAL DEL TAJO INTERNACIONAL Y PARQUE NACIONAL DE MONFRAGÜE	35
7.1. ESTUDIO PREVIO	35
7.2. APLICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN	37
8. BIBLIOGRAFÍA	40



1. INTRODUCCIÓN

El proyecto **LIFE10 NAT/ES/000582 “Lucha contra especies invasoras en las cuencas hidrográficas del Tajo y del Guadiana en la Península Ibérica” (INVASEP)** se presenta como un proyecto de carácter transfronterizo para la lucha frente a las especies invasoras, donde la Dirección General de Medio Ambiente de la Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio de la Junta de Extremadura participa como Beneficiario Coordinador.

Azolla filiculoides es un pequeño helecho flotante de carácter invasor y objetivo de este proyecto. Los densos tapices que pueden llegar a formar limitan la llegada de luz impidiendo el intercambio gaseoso entre el aire y el agua y favoreciendo procesos de anoxia. Estas modificaciones pueden provocar efectos adversos sobre la flora autóctona, lo que a su vez puede provocar cambios dramáticos en las relaciones tróficas del conjunto del ecosistema acuático. Por otro lado, debido a la acumulación de masas de individuos, pueden generar problemas en infraestructuras hidráulicas así como interferencias en actividades como la pesca y la navegación.

Para conocer cómo se comporta esta especie en la cuenca del Tajo y establecer medidas de prevención y control se llevaron a cabo diferentes estudios dentro de la acción A.5 “Valoración de la amenaza y medidas de control de la especie invasora *Azolla filiculoides* en la cuenca del Tajo”: valoración del efecto producido por *Azolla filiculoides* en cursos de agua, su capacidad de asentamiento, dispersión y efectos sobre las comunidades acuáticas en la cuenca del Tajo.

Con los resultados obtenidos y con la información existente procedente de otras experiencias en el ámbito geográfico español, se ha procedido a la elaboración de protocolos de prevención, detección temprana y erradicación y control que pueden ser aplicables en los cursos de agua de toda la Comunidad Autónoma de Extremadura.



2. OBJETIVOS

El objetivo general de estos protocolos es establecer una serie de pautas para la gestión de *Azolla filiculoides* en las masas de aguas de la Comunidad Autónoma de Extremadura. Para ello se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar medidas que permitan concienciar y educar a la población en general y a las personas vinculadas con los medios donde se desarrolla la especie en particular para evitar su introducción minimizando así el riesgo de invasión.
- Establecer un sistema de vigilancia de las masas de agua susceptibles de invasión por *Azolla* que aporte información sobre la presencia o ausencia de la especie y sobre los principales factores que favorecen la instalación y desarrollo de ésta para una actuación temprana.
- Desarrollar planes de erradicación y control para el manejo de las poblaciones de *Azolla* en medios invadidos con miras a proteger la biodiversidad autóctona y evitar daños socioeconómicos.
- Fomentar el cumplimiento de las políticas y normativas vigentes respecto a las especies exóticas invasoras.



3. PROTOCOLO DE PREVENCIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN

Todos los científicos y gestores del medio natural están de acuerdo que la primera línea de defensa ante las especies exóticas invasoras es la prevención, siendo la estrategia más efectiva para evitar o minimizar los riesgos y que conlleva un menor coste, ya que ahorra recursos económicos a medio y largo plazo.

La prevención persigue dos objetivos, la exclusión de las especies invasoras para impedir a priori su entrada, y su interceptación antes de que lleguen a su destino, evitando y/o minimizando el riesgo de introducciones indeseadas.

Existe un instrumento fundamental en el tema de la prevención que es la educación ambiental. Estas campañas de educación deben ser enfocadas a los usuarios o los vinculados a los recursos así como el público general.

La puesta en marcha de una acción educativa intensiva y continuada en el tiempo a través de la educación formal y no formal así como la elaboración de códigos de buenas prácticas sectoriales son clave para conseguir este objetivo. Estos constituyen por tanto una herramienta de gran utilidad para que tanto el público en general como los diferentes actores implicados tomen conciencia tanto de la problemática como de los beneficios para la biodiversidad autóctona y para la economía local y global, que derivan de la prevención de la introducción y expansión de estas especie y se impliquen en la gestión del problema cumpliendo de manera voluntaria con las recomendaciones y normas.

Por otra parte, también se hace necesario aplicar la legislación vigente y reforzar las medidas necesarias para cumplir con las políticas nacionales e internacionales que tratan sobre la identificación o catalogación de las especies exóticas invasoras, prevención y la gestión de su introducción o propagación.

3.2. ACTUACIONES

Para prevenir las invasiones de *Azolla* se proponen las siguientes actuaciones:



3.2.1. EDUCACIÓN AMBIENTAL

Sector agropecuario

El principal factor limitante que controla el crecimiento de *Azolla* y el responsable de que este helecho se comporte como especie invasora es la concentración de **fósforo** disuelto en agua. Diversos estudios han puesto de manifiesto que esta planta comienza a comportarse como tal cuando dicha concentración supera los 0,4 mg P/l. Además, al ser una especie nitrófila, una vez que aparece se ve favorecida por la eutrofización, colonizando rápidamente y por completo las zonas invadidas. Es por ello que **disminuir los vertidos con nutrientes a los cursos de agua y un mejor manejo agrícola y ganadero sería la mejor herramienta contra la lucha de esta especie.**

La agricultura y ganadería son dos actividades que producen vertidos de nutrientes con altas concentraciones de fósforo. La agricultura utiliza los productos fertilizantes con altas cantidades de fosfatos para mejorar la productividad de las cosechas, estos compuestos por medio de la escorrentía acaban en los cauces y zonas húmedas que aumentan su nivel de fósforo facilitando el crecimiento de *Azolla*.

En el caso de la ganadería los purines y desechos de los animales contienen altas cantidades de nitratos y también de fosfatos. Arrojar estos desechos a los cursos de agua sin su previo tratamiento multiplica las posibilidades de una invasión de *Azolla*.

Por ello se necesita fomentar el control de estos vertidos, sustituir los productos fertilizantes por otros sin fosfato, así como fomentar el tratamiento y depuración de desechos animales. Para ello es indispensable la concienciación de la población local dedicada a estos sectores, indicando la problemática y los efectos que puede producir una invasión de esta especie.

Esta campaña de concienciación debe ser continua a lo largo de todo el año puesto que las buenas prácticas deben integrarse en la gestión corriente de las explotaciones, pero debe intensificarse en la época crítica de desarrollo de la planta, donde la aparición de fósforo en el agua es un factor determinante para su explosión demográfica.



Agentes del medio natural

Los agentes del medio natural son las personas que junto con la población local mejor conocen el territorio así como su flora y fauna, y debido a su formación son los más capacitados para transmitir esta problemática a la población en general. De la misma forma son la mejor ayuda para la detección temprana, al estar en contacto directo con los hábitats susceptibles de colonización.

Por ello es necesario una formación concreta de estos agentes sobre la problemática de *Azolla*, establecer recomendaciones para transmitir a la población local y darles una vía de comunicación directa en el caso de su detección para activar los protocolos de erradicación y control.

Esta formación se realizará mediante una formación específica cada temporada explicando la problemática por medio de especialistas en la materia. Se llevará a cabo al final del invierno, antes de que la próxima subida de las temperaturas haga posible la aparición de *Azolla* en los cursos fluviales.

Productores y lugares de venta de plantas ornamentales

La vía principal de entrada de *Azolla* es su cultivo para su uso ornamental en acuariofilia y jardinería. Su escape a medios naturales por accidente o por imprudencia puede derivar en fuertes invasiones en estos medios, por ello son necesarias acciones de información sobre los peligros de la utilización de esta planta a los productores, distribuidores y responsables de su venta fomentando la sustitución de esta especie por otras autóctonas. De esta manera se obtendrá un doble objetivo, la prevención de la introducción de *Azolla* y la mejora de la flora autóctona.

Estas recomendaciones deben venir avaladas por una normativa clara y restrictiva sobre el uso y venta de estas plantas invasoras, pero este hecho se detalla en la siguiente acción.

Usuarios vinculados a cursos fluviales y público en general

Los ciudadanos pueden jugar un papel muy importante en informar a las autoridades tras la detección de esta especie. Se hace por tanto importante educar a la ciudadanía, y en especial a



aquellos que tienen una relación importante con el medio (pescadores, empresas de turismo activo, fotógrafos de naturaleza, etc.) sobre el impacto que produce *Azolla* en las áreas invadidas.

En estas acciones educativas, la principal información a transmitir serán: la biología y descripción física de la especie, la problemática medioambiental y social que causan sus invasiones, los costes derivados de su gestión, malas praxis, buenas prácticas así como información de contacto en caso de su observación. Esta información se realizará mediante las siguientes vías de comunicación:

1) CHARLAS INFORMATIVAS

Se realizarán charlas durante los últimos meses de invierno y en primavera explicando la problemática por medio de técnicos especialistas a los siguientes grupos objetivo: agricultores y ganaderos, funcionarios y agentes encargados del territorio, colectivos o asociaciones ambientalistas y ONG's, ayuntamientos y mancomunidades, productores, distribuidores y lugares de venta de plantas ornamentales y escuelas.

2) PANFLETOS Y TRÍPTICOS

Se crearán panfletos o trípticos informativos que recoja la información mencionada con anterioridad. Estos panfletos se distribuirán por los centros de interpretación de la naturaleza de la zona susceptible de invasión, ayuntamientos y oficinas de turismo. Se facilitarán también a empresas o asociaciones de turismo o de actividades de ocio al aire libre como son las actividades en la naturaleza, actividades deportivas, fotográficas, pesca, etc.

3) SEÑALÍTICA

Con esta misma información se instalarán carteles permanentes en los sitios de más afluencia de público como embarcaderos, miradores o cualquier otro punto de interés local, que coincidan con zonas cercanas a los ríos o charcas donde potencialmente se pueda desarrollar esta planta.



3.2.2. CUMPLIMIENTO DE LAS POLÍTICAS Y NORMATIVAS VIGENTES

El desarrollo y la aplicación de normas y leyes respecto a las especies exóticas invasoras es un componente fundamental para prevenir o reducir el riesgo de introducciones y establece una base sólida para su gestión.

El Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras incluye a *Azolla* en su anexo. Esto conlleva los siguientes hechos según el artículo 7 de la citada ley:

- *La inclusión de una especie en el catálogo, de acuerdo al artículo 61.3 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, conlleva la prohibición genérica de su posesión, transporte, tráfico y comercio de ejemplares vivos o muertos, de sus restos o propágulos, incluyendo el comercio exterior.*
- *La inclusión de una especie en el catálogo, de acuerdo al artículo 52.2 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, conlleva la prohibición de su introducción en el medio natural en el ámbito del territorio nacional de aplicación recogido en el anexo.*
- *Los ejemplares de las especies animales y vegetales incluidas en el catálogo que sean extraídos de la naturaleza por cualquier procedimiento no podrán ser devueltos al medio natural.*
- *En ningún caso, se podrán contemplar actuaciones o comportamientos destinados al fomento de las especies incluidas en el catálogo.*

La preocupación por las especies exóticas invasoras es máxima desde los organismos internacionales. La Unión Europea publicó un reglamento (1143/2014) en el Parlamento Europeo el 22 de octubre de 2014 sobre la prevención y la gestión de la introducción y propagación de especies exóticas invasoras. La lucha contra las especies exóticas invasoras es uno de los seis objetivos clave de la estrategia de la UE sobre biodiversidad para 2020 y la Comisión está preparando propuestas concretas para reforzar la legislación en este ámbito.



Se necesita aplicar la normativa nacional e internacional, dotar de herramientas para el cumplimiento de estas leyes e incentivar a los agentes encargados de su ejecución de obrar con rapidez ante los hechos relacionados con una posible introducción de *Azolla*.

Para llevarlo a cabo se proponen ciertas medidas:

- Tener una visión estratégica del problema, estableciendo directrices claras y consensuadas.
- Evitar la dispersión de competencias y la falta de coordinación entre diferentes administraciones tanto a nivel local, regional como nacional o internacional.
- Crear un marco jurídico y una normativa más específica en materia de prevención y gestión de esta planta.
- Mantener una provisión oportuna de recursos técnicos, económicos y materiales a los agentes encargados de la aplicación de las leyes en esta materia.
- Establecer un control y uso adecuado de estos recursos.
- Definir responsabilidades y funciones.
- Prohibir o limitar actividades como la utilización de fósforo o vertido de éste a los cauces de agua.
- Establecer controles en las zonas más sensibles para asegurar el cumplimiento de la ley: tiendas de plantas ornamentales o instalaciones agropecuarias.



3.3. TEMPORALIZACIÓN DE LAS ACTUACIONES

A continuación se expone el siguiente cronograma para la aplicación de las actuaciones descritas:

ACCIONES	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Charlas												
Paneles Informativos	Permanente											
Material divulgativo impreso	Permanente											

3.4. PRESUPUESTO

Descripción detallada de las tareas a realizar, materiales necesarios y precios unitarios para la prevención de introducción, colonización e invasión en los ríos o zonas húmedas de *A. filiculoides*.

UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
ud	Charlas formativas realizadas por un titulado superior especialista más dietas y desplazamiento.	200€	1	200€
lote	Material divulgativo impreso (5.000 ud)	1.536,45€	1	1.536,45€
ud	Paneles informativos	779,44€	1	779,44€
TOTAL				2.515,89€



4. PROTOCOLO DE DETECCIÓN TEMPRANA

4.1. INTRODUCCIÓN

Las mejores oportunidades de los planes de erradicación de una especie invasora son durante las fases iniciales de la invasión, cuando las poblaciones aún son pequeñas o se limitan a un área poco extensa. Detectar e identificar estas especies antes o inmediatamente después de su establecimiento se vuelve por tanto en una prioridad para poder frenar el proceso de colonización y de expansión antes de que sea demasiado tarde. La detección temprana se convierte por tanto en una herramienta esencial para lograr una respuesta rápida antes de que estas poblaciones se establezcan definitivamente.

La detección temprana debe basarse en un sistema de vigilancia continua, realizados con personal capacitado y con equipos y recursos disponibles, que busque detectar las especies a un bajo nivel de densidad en sitios de alto riesgo de entrada y sobre todo en áreas de alto valor para la conservación que contenga hábitats potenciales para estas especies.

El tiempo que transcurre entre la detección temprana y la implementación de una respuesta es crítico. Es por ello por lo que se debe elaborar un plan de contingencia que será el que determinará la acción que deberá llevarse a cabo una vez detectada la especie. Estos planes indicarán que instituciones deben ser contactadas para agilizar el proceso de autorización para una respuesta rápida y las instrucciones exactas sobre qué se debe hacer.

4.2. ACTUACIONES

Los elementos que condicionan el crecimiento desenfrenado de *Azolla* son las condiciones físico-químicas de las aguas y las características del cauce. En este sentido esta tarea se concentra en prevenir posibles facilitadores a la invasión, apoyándose en el control de estos elementos.

El hábitat preferente de *Azolla* son humedales y cursos lentos de agua, tanto naturales como artificiales con altos niveles de eutrofización debido a actividades agrícolas, industriales y efluentes domésticos.



Puesto que su simbiosis con el alga *Anabaena azollae* le permite fijar Nitrógeno atmosférico, todos los autores coinciden en que es **la concentración de fósforo disuelto en el agua el factor limitante que controla el crecimiento de *Azolla* y el responsable de que este macrófito acuático pase a considerarse como especie invasora.** *Azolla* comienza a comportarse como tal cuando dicha concentración supera los 0,4-0,5 mg P/l (estudios llevados a cabo en Doñana, la extinción del 90% y del 100% de la vegetación sumergida se da cuando se alcanzan valores de 0,69-0,99 mgP/l respectivamente). No obstante, el nivel de nitrógeno que contenga el agua interfiere con el rango de fijación del nitrógeno atmosférico. Altas concentraciones de fósforos asociados con valores bajos de nitrógeno crean condiciones favorables para el crecimiento de *Azolla* cuando la temperatura del agua se aproxima 15°C.

La temperatura ambiental es el principal factor regulador del crecimiento de esta planta, viéndose muy limitado a temperaturas medias bajas, de entre 5-10°C o inferiores, y temperaturas medias altas, que se convierten en letales a partir de los 35°C. El desarrollo óptimo se da entre los 18 y 28°C.

El pH también es un parámetro muy importante que hay que tener en cuenta. Puede sobrevivir a pH comprendidos entre 3,5 y 10, y su óptimo de crecimiento se encuentra entre 4,5 y 7,5.

La radiación solar también es un factor determinante para la especie ya que va a influir en el pH y la temperatura. El rango de pH óptimo es directamente proporcional a la radiación (siempre que se encuentre en el rango de supervivencia del helecho). Paralelamente, el rango de temperatura óptimo para el crecimiento también es proporcional a la radiación solar.

Por último, la salinidad del agua también influye sobre la tasa de crecimiento de *Azolla*. Esta decrece cuando aumenta la concentración salina. Es capaz de soportar altas concentraciones de sales disueltas, y prosperar en lugares en los que otros macrófitos acuáticos flotantes que viven en aguas eutróficas, como *Lemna minor*, mueren por exceso de sal. En estudios llevados a cabo en Doñana, se concluye que el límite de tolerancia se establece entre 8.000 y 12.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En humedales temporales *Azolla* muestra un crecimiento limitado frente a los medios permanentes. La variación interanual de la precipitación y el tiempo de inicio de la inundación influye en el crecimiento de las poblaciones localizadas en humedales temporales, limitando su



germinación y crecimiento a periodos donde existe disponibilidad de agua. Además la sequía anual en estos medios supone una regulación anual de sus poblaciones puesto que en los últimos meses de inundación se producen condiciones de anoxia y un aumento de la temperatura, conductividad y de los valores totales de concentración de nutrientes que llegan a superar el rango que puede soportar esta especie.

En cuanto a la reproducción de esta especie, la asexual o vegetativa se da sobre todo en medios permanentes y es el proceso más frecuente. Este modo de reproducción le permite tener un crecimiento muy rápido y expansivo. En condiciones ambientales óptimas la productividad de *Azolla* alcanza valores de 24g de materia seca por m²/día y su tasa de crecimiento medio es del 15% diario, lo que indica que es capaz de doblar su masa en sólo 6 días. Frente a condiciones adversas la especie responde por medio de reproducción sexual con la producción de esporas que se liberan en el medio hasta que las condiciones vuelven ser favorables para su germinación (en aguas estancadas se han encontrado esporas viables formadas tres años antes).

Conocidos por tanto los principales factores que favorecen la invasión por *Azolla* en masas de agua, para su detección temprana se propone el siguiente protocolo en base a las actuaciones que se exponen a continuación.

4.2.1. ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGOS DE INVASIÓN POR *AZOLLA FILICULOIDES*

Para poder ejercer un control adecuado de la plaga de *Azolla* en un área determinado, se hace necesario saber cuál es exactamente su distribución geográfica en la actualidad y predecir en la medida de lo posible, cuál sería su distribución futura. Los mapas de riesgos son una importante herramienta de apoyo para priorizar estas áreas que por sus condiciones ambientales y antrópicas son susceptibles al potencial crecimiento y desarrollo de esta especie invasora.

Esta acción se llevará a cabo durante los meses correspondientes a diciembre-enero, antes de que las condiciones sean favorables para el crecimiento de la especie.

Para su elaboración se realizará una cartografía mediante técnicas de interpolación con Sistemas de Información Geográfica para cada una de las variables físico-químicas del agua de la zona seleccionada, así como de los diferentes factores ambientales y antrópicos que condicionan su expansión. Las variables a considerar serán: **fósforos, nitratos, conductividad, temperatura**



del agua, pH, temperatura ambiental, radiación solar, usos del suelo y estacionalidad del cauce.

Una vez construida la cartografía de las diferentes variables, se obtendrá por métodos de superposición de los anteriores, el mapa de riesgo de la especie donde se establecerá una leyenda que permita distinguir zonas de diferentes riesgos de afectación.

4.2.2. VISITAS DE SEGUIMIENTO A LAS ÁREAS DE MAYOR RIESGO RESCATANDO INFORMACIÓN SIGNIFICATIVA

1) INSPECCIÓN VISUAL

Se realizarán visitas mensuales durante los meses correspondientes a marzo-agosto en los cauces de mayor riesgo de presencia de *Azolla* y en aquellos donde se tenga constancia de presencia de esta planta invasora por referencias bibliográficas o estudios previos. La inspección visual se realizará en 3 tramos del cauce de 1000 m de longitud que se corresponderán con el curso alto, medio y bajo del mismo. Se recorrerán a pie las orillas de cada tramo seleccionado anotando las coordenadas de los puntos de inicio y fin mediante GPS.

Durante el recorrido se comprobará la presencia/ausencia de la especie. En caso de presencia se procederá a la toma de los siguientes datos: **dimensiones de las poblaciones** (se tomarán medidas de la orilla cubierta de *Azolla* y la extensión hacia el centro del río cubierto por el helecho), **profundidad** (se tomará la profundidad del agua en cm debajo de la mancha del *Azolla* con la ayuda de una vara milimetrada), porcentaje de **cobertura** (se hará siguiendo un enfoque semi-cuantitativo utilizando para ello un sistema de estima visual basado en la escala 1 - individuos aislados; 2: 1-10%; 3: 10-50%; 4: 50-70%; 5: >70%), **morfología** (se hará referencia a la forma y color de los individuos), **estado fenológico** (se anotará si se encuentran en estado vegetativo o con estructuras reproductoras), **vegetación asociada** (se realizará un inventario de los macrófitos acompañantes) y se hará un **registro fotográfico**.

En caso de duda de identificación de la especie o dificultad de observación del estado fenológico, se procederá a la toma de muestra para su posterior análisis en laboratorio. Para ello se utilizarán sacaderas de 1mm luz con brazo telescópico. Una vez recogida la muestra se introducirán en bolsas de plásticos herméticas convenientemente rotuladas (como mínimo se deberá indicar la



persona encargada del muestreo, fecha, procedencia y código de identificación) y se conservarán en frío dentro de una nevera hasta su llegada a laboratorio.

Además se hará una caracterización del tramo atendiendo a los siguientes criterios: **temperatura ambiental** (°C), **corriente** (se cuantificará subjetivamente en los siguientes términos: Aguas estancadas, Aguas lentas o Aguas rápidas), **grado de iluminación** (se cuantificará subjetivamente en los siguientes términos: Alto, Medio, Bajo, Muy bajo) y **continuidad del cauce** (Continuo o Discontinuo) (Ver ficha de campo).

2) SEGUIMIENTO DE PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS DEL AGUA

El seguimiento de los parámetros físico-químicos del agua se realizará durante el mismo periodo y en los mismos cauces del río seleccionados en la acción anterior.

Se seleccionarán dos puntos de muestreos para cada tramo, eligiendo para ello siempre que sea posible puntos con características propicias para el desarrollo de la especie como son aguas estancadas o lentas y con alto grado de iluminación.

Para cada punto de muestreo se medirá in situ, con una sonda multiparamétrica y a una distancia de entre 20 – 100 cm de la orilla y a una profundidad de 20 cm los siguientes parámetros: **temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto**. Para la medición de **nitratos, nitritos y fósforo total** se procederá a la toma de muestra para su posterior análisis en laboratorio. Para ello se recogerán 500ml de agua en un recipiente de vidrio o PVC y que se encuentre perfectamente limpio (enjuagar varias veces con el agua a analizar), a una profundidad de 20 cm de la superficie. El envase se debe sujetar por el fondo, con la boca hacia arriba y ligeramente inclinado hacia la corriente. No debe dejarse cámara de aire en el recipiente. Una vez recogida la muestra se procederá a su etiquetado anotando como mínimo la persona encargada del muestreo, fecha, procedencia y código de identificación. Por último las muestras se conservarán debidamente refrigeradas hasta su envío al laboratorio no superando el periodo de 4 días. (Ver ficha de campo).

FICHA DE CAMPO PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE AZOLLA FILICULOIDES

Masa de agua: _____ Fecha: _____ Coordenadas inicio: _____
 Cuenca: _____ Hora: _____ Coordenadas fin: _____
 Municipio: _____ Código Tramo: _____
 Muestreador: _____

PRESENCIA DE AZOLLA FILICULOIDES

Presencia de Azolla: SÍ / NO

Código Población: _____	Coordenadas: _____			
Dimensión (m ²): _____		Cobertura:	1	Individuos aislados
Profundidad (cm): _____			2	1-10%
Morfología: _____			3	10-50%
Estado fenológico: _____			4	50-70%
Vegetación asociada: _____			5	>70%
Toma de muestra: SÍ / NO		Código de muestra: _____		
Fotografías: _____				
Código Población: _____	Coordenadas: _____			
Dimensión (m ²): _____		Cobertura:	1	Individuos aislados
Profundidad (cm): _____			2	1-10%
Morfología: _____			3	10-50%
Estado fenológico: _____			4	50-70%
Vegetación asociada: _____			5	>70%
Toma de muestra: SÍ / NO		Código de muestra: _____		
Fotografías: _____				
Código Población: _____	Coordenadas: _____			
Dimensión (m ²): _____		Cobertura:	1	Individuos aislados
Profundidad (cm): _____			2	1-10%
Morfología: _____			3	10-50%
Estado fenológico: _____			4	50-70%
Vegetación asociada: _____			5	>70%
Toma de muestra: SÍ / NO		Código de muestra: _____		
Fotografías: _____				

CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE

Temperatura ambiental (°C): _____																							
Grado de iluminación:	<table border="1"><tr><td>1</td><td>Alto</td></tr><tr><td>2</td><td>Medio</td></tr><tr><td>3</td><td>Bajo</td></tr><tr><td>4</td><td>Muy bajo</td></tr></table>	1	Alto	2	Medio	3	Bajo	4	Muy bajo	Corriente:	<table border="1"><tr><td>1</td><td>Estancadas</td></tr><tr><td>2</td><td>Lentas</td></tr><tr><td>3</td><td>Rápidas</td></tr></table>	1	Estancadas	2	Lentas	3	Rápidas	Continuidad:	<table border="1"><tr><td>1</td><td>Continuas</td></tr><tr><td>2</td><td>Discontinuas</td></tr></table>	1	Continuas	2	Discontinuas
1	Alto																						
2	Medio																						
3	Bajo																						
4	Muy bajo																						
1	Estancadas																						
2	Lentas																						
3	Rápidas																						
1	Continuas																						
2	Discontinuas																						

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA

Código Muestra:	Coordenadas:	
Temperatura (°C): _____	pH: _____	Conductividad (µS/cm): _____
Oxígeno disuelto (mg/l): _____	Oxígeno disuelto (%): _____	Fósforo (mg/l): _____
Nitratos (mg/l): _____	Nitritos (mg/l): _____	
Código Muestra:	Coordenadas:	
Temperatura (°C): _____	pH: _____	Conductividad (µS/cm): _____
Oxígeno disuelto (mg/l): _____	Oxígeno disuelto (%): _____	Fósforo (mg/l): _____
Nitratos (mg/l): _____	Nitritos (mg/l): _____	

OBSERVACIONES

--



3) ELABORACIÓN DE INFORMES

Se elaborarán informes mensuales sobre el estado de la colonización de *Azolla* en los cursos fluviales con la información recogida con el fin de evaluar posibles explosiones de crecimiento de la especie ligadas a los parámetros estudiados.

4.3. TEMPORALIZACIÓN DE LAS ACTUACIONES

A continuación se expone el siguiente cronograma para la aplicación de las actuaciones descritas:

MESES												
ACCIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mapas de riesgos	■											■
Inspección visual			■	■	■	■	■	■				
Seguimiento parámetros físico-químicos			■	■	■	■	■	■				
Informes			■	■	■	■	■	■				

4.4. PRESUPUESTO

A continuación se enumeran los materiales necesarios y precios unitarios para la detección temprana de *Azolla filiculoides* en masas de agua.

UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
mes	Especialista en SIG para el tratamiento de la información	2.500€	2	5.000€
Día	Técnico de campo	82€	2	164€
Día	Vehículo todoterreno 86-110 CV	85€	1	85€
Km	Kilometraje medio diario	0,40€	300	120€
Día	Dietas	27€	2	54€
Ud	Análisis diario de muestras en el laboratorio	30€	6	180€
Ud	Elaboración Informe mensual	250€	1	250€
TOTAL				5.853€



Materiales

UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
ud	Hardware	993,48€	1	993,48€
ud	Software	3.600€	1	3.600€
ud	GPS	166€	1	166€
ud	Profundímetro	35€	1	35€
ud	Sacadera	149€	2	298€
ud	Vadeadoras	149,99€	2	299,98€
lote	Guantes de látex (1000 ud)	56,56€	1	56,56€
ud	Bandejas	10€	1	10€
lote	Bolsas herméticas (12 x 18cm) (1000 ud)	30,61€	1	30,61€
ud	Nevera (24 Litros)	39,60€	1	39,60€
ud	Cámara de fotos	132,48€	1	132,48€
ud	Cuentahilos 10x	18€	1	18€
ud	Sonda multiparamétrica portátil	3.112,73€	1	3.112,73€
ud	Recipientes PVC (500ml)	2,59€	100	259€
ud	Líquido desinfectante + Bidón	49€	1	49€
TOTAL				9.100,44€



5. PROTOCOLOS DE ERRADICACIÓN Y CONTROL

5.1. INTRODUCCIÓN

Cuando las medidas de prevención no han servido para impedir la introducción de una especie exótica invasora, la solución preferida suele ser implementar un programa de erradicación. La erradicación consiste en la eliminación de toda la invasión en todos los estadios biológicos en el área que se está gestionando, dándose las mejores oportunidades durante las fases iniciales de la invasión, cuando las poblaciones aún son pequeñas o están limitadas en su expansión a un área poco densa.

Aunque la erradicación es la única alternativa para alcanzar con mayor plenitud los objetivos del manejo de la especie invasora puesto que sería eliminada, su punto débil es que usualmente involucra altos costos y sólo debería intentarse si es viable y tiene probabilidades de éxito.

Cuando la erradicación no es viable y la especie invasora se ha extendido ampliamente, las posibilidades de gestión se reducen a convivir con ella intentando minimizar sus impactos, controlando y reduciendo sus densidades poblacionales y abundancia por debajo de un umbral asumible. Es por ello por lo que el término erradicación debe ser diferenciado del de control.

A corto plazo los métodos de control son más baratos y requieren un menor compromiso por parte de los estamentos gestores, razones por las cuales son generalmente preferidos como opción de manejo. Sin embargo, el control sólo palió el problema, no lo elimina, y requiere un esfuerzo constante y continuado en el tiempo.

A la hora de intervenir sobre poblaciones invasoras existe un gran número de métodos específicos referentes a tres categorías fundamentales los cuales pueden utilizarse de forma aislada o combinada, siendo estos métodos físicos, químicos y biológicos. En principio, ninguna técnica de control es intrínsecamente superior a otra, y ninguna por separado suele ser suficiente para todas las situaciones en las que aparece una especie. Algunas son más caras, pero controlan densas poblaciones en grandes áreas. Otras son más efectivas para pequeñas superficies y nuevas poblaciones recién instaladas. Debe evaluarse para cada población de una misma especie cuál es el mejor método a utilizar según el nivel de control deseado, los recursos disponibles y las implicaciones ecológicas y económicas que conlleva.



5.2. ACTUACIONES

La invasión de *Azolla filiculoides* se ha intentado controlar con diferentes técnicas con mayor o menor efectividad, entre las que cabe destacar:

Métodos físicos

Estos métodos se basan en la eliminación física de la planta invasora. Entre los métodos físicos más conocidos para la eliminación de *Azolla* se encuentran la retirada manual desde tierra o embarcaciones usando para ello redes de malla muy fina. Este método se recomienda en zonas de difícil acceso, en zonas muy delimitadas o de especial interés y en zonas donde la cobertura de la planta es baja.

La retirada mecánica mediante maquinaria pesada y bombas de succión también ha sido empleada para la eliminación de esta especie cuando la invasión presentaba grandes dimensiones.

En poblaciones existentes sobre suelos húmedos, además de la retirada manual y mecánica ya comentada, se han llevado a cabo técnicas de incineración y para la retirada de las esporas, se han utilizado retroexcavadoras para retirar la capa de sustrato susceptible de contenerlas. Estos métodos no obstante no se recomiendan por el fuerte impacto que puede producir en las especies autóctonas puesto que son métodos pocos selectivos. Además tras estas actuaciones sería recomendable la realización de planes de reforestación y adaptación de las orillas, encareciendo considerablemente los métodos de control.

Además de estas métodos físicos, se ha ideado otras técnicas que actúan sobre las condiciones del medio, orientadas a modificar el ambiente para que resulte desfavorable para el crecimiento de la especie. Por ejemplo, la desecación estival, que provoca un estrés hídrico en la planta además de un estrés salino. *Azolla* es altamente sensible a los cambios de humedad ambiental y la tasa de crecimiento decrece cuando la salinidad aumenta. El aumento de la turbulencia de las aguas o del grado de sombreado también se han considerado puesto que no tolera cursos rápidos y baja iluminación. Pero estas técnicas generalmente son poco selectivos, incidiendo de manera similar sobre las especies nativas, por lo que deberían utilizarse en poblaciones muy



densas donde prácticamente sólo crezca la especie a eliminar. Serían por tanto técnicas poco viables, sobre todo en invasiones extensas.

Métodos químicos

Son varios los autores que proponen diferentes métodos para frenar la expansión de *Azolla* con la aplicación de productos químicos mediante la pulverización o rociado sobre la planta, siendo el más conocido el Glifosato. En 1997 se aplicó este producto en Sudáfrica con buenos resultados a corto plazo pero con un fuerte impacto para otras poblaciones tanto de plantas como de animales. También en el caso de tablas de arrozales se han utilizado herbicidas de aplicación acuática. Este tipo de control químico es rápido y efectivo, pero requiere una continua aplicación debido a que las esporas de la *Azolla* germinan continuamente.

Son muchos los inconvenientes de la utilización de esta técnica de control, debido a los graves efectos sobre la flora y fauna local, a la imposibilidad de aplicar medidas de mitigación o el desconocimiento de ellas. La aplicación de productos químicos en medios acuáticos no es muy recomendable y en zonas protegidas son incompatibles con los criterios de conservación, ya que afectan también al resto de la vegetación acuática autóctona e inciden en la biodiversidad local. Por todos estos inconvenientes en España está regulado el uso de estos herbicidas como el Glifosato, y legislación nacional no permite la aplicación directa en ríos o humedales de estos productos fitosanitarios.

Métodos biológicos

Estos métodos consisten en la introducción de un agente externo que incida sobre el crecimiento, reproducción o vigor de la planta invasora y que permita reducir su expansión.

Son pocos los fitófagos específicos utilizados para el control de *Azolla*, aunque en Sudáfrica se ha utilizado con éxito un coleóptero, *Stenopelmus rufinusus*, proveniente de Norteamérica. Este curculiónido se alimenta casi con exclusividad de plantas de este género, por lo que probablemente no atacaría a plantas nativas. Tiene una buena capacidad de adaptación; de hecho, en Inglaterra se han detectado poblaciones naturalizadas de este gorgojo y se ha podido constatar cómo una vez eliminadas las poblaciones de *Azolla* en una zona, se dispersaban en busca de nuevas poblaciones.



En la Península Ibérica fue recolectado por primera vez en el año 2002, cerca del río Guadiana a su paso por Ciudad Real. Posteriormente se ha citado en Andalucía, como especie naturalizada, en el año 2006. Este hecho minimiza los posibles problemas de introducción de una especie alóctona en el medio, pero no existen trabajos suficientemente dilatados en el tiempo y bien planificados para poder concluir si sería efectivo considerar estos métodos, ni se conoce si los ecosistemas afectados se verían beneficiados y la expansión detenida o ralentizada.

Conocidos por tanto los principales métodos de erradicación y control de *Azolla*, y desestimando los métodos químicos y biológicos por los motivos expuestos anteriormente, se propone el siguiente protocolo en base a las actuaciones que se describen a continuación.

5.2.1. EXTRACCIÓN DE AZOLLA FILICULOIDES DEL CAUCE FLUVIAL

Una vez detectado un foco de presencia de *Azolla* mediante la **detección temprana** se da comienzo al protocolo de erradicación y control mediante la **extracción física**.

Para realizar esta tarea se establecen metodológicamente las siguientes acciones:

1) INSPECCIÓN VISUAL EXHAUSTIVA AGUAS ABAJO PARA CONCRETAR LOS LÍMITES DE LA AFECCIÓN

Se hará una inspección exhaustiva aguas abajo de la mancha principal de *Azolla* para conocer el alcance de la misma a ambos márgenes del río. Se establecerá una distancia de seguridad de al menos 100m desde el límite de presencia de la afección en dirección a favor de la corriente, donde se colocarán las barreras flotantes.

2) COLOCACIÓN DE BARRERAS FLOTANTES

Se establecerá una línea de contención mediante la colocación de barreras flotantes respetando la distancia de seguridad anteriormente descrita, buscando una zona de fácil acceso y donde la anchura del cauce sea mínima.

Las barreras consistirán en flotadores hinchables o cuerpos flotantes, ya sean cilíndricos o cuadrados, de una altura superior a 15 cm (Francobordo) y un calado de 30 cm como mínimo.



Su colocación será de forma oblicua, coincidiendo la parte inferior respecto de la corriente con un punto de fácil acceso para su posterior recogida, ya que la corriente acumulará allí el grueso de la masa de vegetación.

Esta barrera se mantendrá después de la finalización de los trabajos de extracción como medida de precaución ya que pueden germinar nuevas esporas o reproducirse vegetativamente por los restos de planta que hayan podido permanecer en el cauce. De esta manera se podrían volver a retirar con facilidad. Esta medida se deberá continuar hasta que las condiciones climáticas o del medio no permitan la proliferación de la *Azolla* y por tanto no se aprecien individuos de la misma.



Barreras flotantes de contención.



3) RETIRADA DE LA PLANTA

La retirada de la planta puede ser realizada mediante métodos manuales o con ayuda mecánica dependiendo de ciertos factores que se detallan a continuación. Ambos métodos requieren de operarios con un equipo especial que les permita la extracción de la planta, su almacenamiento y su posterior transporte, minimizando el impacto medioambiental que los trabajos pudieran provocar en las zonas donde se desarrollan y evitando en todo momento la difusión accidental de esta planta a consecuencia de los mismos.

La elección del método a utilizar en cada caso debe ser tomada por el responsable de la actuación, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Extensión de la afección	>100m ²	< 100 m ²	
Densidad de la afección	Alta	Media	Baja
Accesos al cauce	Difícil	Medio	Fácil
Fragilidad del medio	Alta	Media	Baja
Figuras de protección	Alto	Medio	Bajo
Presencia de fauna de especial interés	Abundante	Estacional	Nula
Presupuesto necesario	Alto	Medio	Bajo

Método Manual

Método Mecánico



La retirada de la planta se deberá realizar antes de que se produzca la esporulación para evitar que se acumulen las esporas en el sustrato. Además se realizará cuando las masas presenten su máximo vigor. Una vez concluida la extracción de la planta deberá realizarse un seguimiento periódico cada 15 días para comprobar su ausencia. Si se detectara, se deberán activar de nuevos los mecanismos de extracción hasta que no se aprecien individuos de la misma.

- **Extracción Manual**

Se procederá a la extracción manual en afecciones pequeñas o de baja densidad donde la rapidez y la movilización de un menor número de recursos es un hándicap positivo. También será necesaria, a pesar de la magnitud de la invasión, cuando la utilización de medios mecánicos



sea imposible o sea demasiado compleja o costosa metodológicamente y económicamente, por motivos de accesibilidad al cauce, longitud, caudal, vegetación de ribera, etc.

Para la retirada de la planta se utilizarán sacaderas con una malla de un 1 mm de luz colocadas en un mástil fijo o telescópico sólido que aguante el peso de la sacadera cuando esté cargada con vegetación, barro y agua.

Se introducirá la sacadera $\frac{3}{4}$ partes en el agua y se moverá de forma lenta pero enérgica hacia aguas arriba, recogiendo la masa de *Azolla* en su interior y elevándola por encima del nivel de agua. Después de unos segundos para el desalojo del agua, se introducirá el material en bolsas estancas colocadas en capazos para facilitar su manejo y transporte.



Retirada manual mediante la utilización de sacaderas. Fotografía: Centro de Investigación Piscícola de El Palmar (Generalitat Valenciana).

Si los límites de profundidad son inferiores a 1,5 metros se podrá realizar la extracción desde la orilla e introduciéndose en el cauce provistos de vadeadoras. Si la profundidad fuera mayor se necesitará contar con un equipo en una barca para llegar a las zonas que no son accesibles desde la orilla.



Se realizará una batida por toda la zona afectada, aunque no se aprecien a simple vista los restos de *Azolla*, prestando mucha atención a los márgenes y zonas con vegetación de ribera.

De igual forma se utilizará una barrera auxiliar de forma plana para la concentración de la masa de vegetación hacia el punto de extracción para así facilitar la labor de los operarios. Para ello se realizará un barrido, con ayuda de la embarcación o desde tierra, desde aguas arriba hacia aguas abajo cubriendo a ser posible toda la anchura del cauce o en su defecto las zonas donde la concentración de la planta sea mayor.

Una vez terminada la jornada de trabajo se deberá limpiar todo el material en contacto con el agua mediante una disolución de 1 mg de cloro libre/l para evitar transmitir pequeños restos de la planta o sus esporas a otras zonas. Sólo se podrá omitir este paso cuando la jornada de trabajo se interrumpa por turno diario y el material de trabajo vaya a ser usado en el mismo punto del río al día siguiente, no pudiéndose almacenar en espacios que contaminen otras herramientas o que no vayan a ser lavados y desinfectados posteriormente.

- **Extracción Mecánica**

Se procederá a la retirada mecánica de la planta cuando su extensión y densidad sea de tal magnitud que provoque que los trabajos de extracción manual no sean viables, siempre y cuando las condiciones morfológicas del cauce y su acceso lo permitan.

Para la extracción mecánica se utilizarán los mismos recursos y protocolos utilizados en la extracción manual pero se añadirá una herramienta más a los trabajos de extracción como es una bomba succión y el filtrado del agua extraída, así como la ayuda de un camión pluma para el manejo de mayores cantidades de materia orgánica.

Se colocará en la parte inferior del cauce, próxima a las barreras de contención, una bomba de succión con una boca de 15 cm de diámetro como mínimo, alimentada por una fuente de energía portátil o grupo electrógeno. El agua extraída se arrojará a un tamiz con una malla de 1mm de luz, donde retendrá el volumen de la planta y filtrará el agua que se verterá en el mismo punto donde se ha realizado la extracción, aguas arriba de las barreras de contención, para evitar contaminar otras zonas del río.



Bomba de succión.



Barca equipada con bomba de succión para la retirada mecánica de Azolla.



Los restos de la planta retenidos en el tamiz se verterán periódicamente en bolsas estancas colocadas en capazos para facilitar su manejo y transporte.

Se podría valorar la utilización de bombas con depósitos integrados especializados en esta tarea que pueden recoger la masa de vegetación en su interior. Estos sistemas vienen integrados en un remolque para facilitar el transporte por carretera y con brazos hidráulicos para el volcado en las zonas de desecación y ya han sido utilizados para la retirada de esta planta.



Bomba con depósito PACS1000. Elastec American Marine Inc.

5.2.2. ACUMULACIÓN Y TRANSPORTE DE AZOLLA FILICULOIDES

Los restos retirados de *Azolla* deben ser tratados con precaución para no dispersar la carga contaminante que puede dejar este helecho como consecuencia de la esporada que produzca.

Se debe retirar y alejar de las zonas con potencial elevado de desarrollo, prestando un especial cuidado con la reintroducción por una posible escorrentía o la dispersión de pequeños restos de la planta por la fauna salvaje o doméstica que pueda reintroducir las esporas en los cauces de los ríos

Para ello, los restos sacados de los cauces de los ríos se acumularán en sacos o bolsas de plástico herméticamente cerradas, utilizando doble capa en el caso que fuera necesario para su correcto sellado.



Se transportarán desde el punto de extracción hasta las zonas habilitadas para la desecación e incineración. Esta localización será un lugar especialmente habilitado para ello, alejado de núcleos urbanos y de los cauces fluviales, con nula posibilidad de escorrentía para evitar la reintroducción de agua cargada de esporas a estos. Esta zona estará cercada o protegida a fin de que no exista posibilidad de acceso del hombre o de fauna silvestre o doméstica. La zona tiene que ser compatible con la quema de rastrojos, ya que en este mismo punto se procederá, pasado el periodo de secado, a la destrucción de la materia orgánica mediante combustión.

Para su transporte se utilizarán remolques sellados con plástico para evitar cualquier pérdida de agua durante el transporte. Si la invasión fuera de tal magnitud que se hayan tenido que utilizar medios mecánicos, se utilizarán camiones pluma para su transporte, debidamente sellados para no propagar restos de plantas o esporas durante el trayecto a las zonas de acumulación.

5.2.3. SECADO E INCINERACIÓN Y CONTROL FINAL DE LOS RESTOS

Se debe realizar la destrucción de los restos de *Azolla* para evitar la propagación futura de las esporas y asegurar así la eficacia de estos métodos de control.

La desecación de la masa de *Azolla* se realizará durante 15 días a temperatura ambiente en zonas soleadas para asegurar una correcta incineración posterior. Durante los cuales se deberá remover periódicamente para facilitar la desecación homogénea de toda la masa.

La incineración se realizará, si fuera necesario, con la ayuda de acelerantes para el fuego para asegurar una correcta combustión de los restos de *Azolla*. Esta incineración se realizará bajo la supervisión de agentes del medio natural o cuerpo de bomberos, y se pedirá un permiso especial en caso de ser necesaria su quema dentro de las fechas inhábiles para ello.

Los restos de la combustión se deberán enterrar o cubrir con tierra para evitar contaminaciones futuras. Para ello una vez terminada la combustión, se acumularán y compactarán con ayuda de una retroexcavadora en una zona asignada para ello y se cubrirán con una capa de arena o tierra traída para tal efecto.



5.3. TEMPORALIZACIÓN DE LAS ACTUACIONES

A continuación se expone el siguiente cronograma para la aplicación de las actuaciones descritas:

MESES												
ACCIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Inspección aguas abajo												
Colocación de barreras												
Retirada de la planta												
Acumulación y transporte												
Secado e incineración												

5.4. PRESUPUESTO

A continuación se enumeran las tareas, materiales necesarios y precios unitarios para la extracción de *Azolla filiculoides* en masas de agua.



Extracción manual de *Azolla filiculoides* en cauce fluvial por día

UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
día	Operario de campo	88€	4	352€
día	Dietas	27€	4	108€
día	Vehículo todoterreno 86-110 CV	85€	2	170€
km	Kilometraje medio diario	0,4€	300	120€
día	Equipo de navegación (Barca + Motor + remolque)	200€	1	200€
Km	Gasto medio de combustible de la embarcación	1€	100	100€
día	Remolque basculante hidráulico	23€	1	23€
TOTAL				1.073€

Material

UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
ud	Sacadera	149€	4	596€
ud	Vadeadoras	150€	4	600€
metro	Barreas flotantes	65€	100	6.500€
metro	Barreras planas	58€	100	5.800€
ud	Sacos estancos (60 x100 Galga 400)	0,39€	100	39€
ud	Capazos o espuestas (60 L)	18€	6	18€
ud	Rastrillo y pala	45€	2	90€
ud	Líquido desinfectante + Bidón	49€	1	49€
TOTAL				13.692€



Extracción mecánica de *Azolla filiculoides* en cauce fluvial por día

UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
día	Operario de campo	88€	4	352€
día	Dietas	27€	4	108€
día	Vehículo todoterreno 86-110 CV	85€	2	170€
km	Kilometraje medio diario	0,4€	300	120€
día	Equipo de navegación (Barca + Motor + remolque)	200€	1	200€
km	Gasto medio de combustible de la embarcación	1€	100	100€
día	Remolque basculante hidráulico	23€	1	23€
TOTAL				1.073€

Material

UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
ud	Sacadera	149€	4	596€
ud	Vadeadoras	150€	4	600€
metros	Barreas flotante	65€	100	6.500€
metros	Barreras planas	58€	100	5.800€
ud	Bomba de succión	25.000€	1	25.000€
Ud	Equipo motorizado de succión	50.000€	1	50.000€
ud	Generador	1.840€	1	1.840€
metros ²	Tamiz (1mm)	30€	10	300€
ud	Sacos estancos (100 x 150 Galga 600)	0,7€	100	70€
ud	Capazos o espuestas (85L)	32€	6	192€
ud	Rastrillo y pala	45€	2	90€
ud	Líquido desinfectante + Bidón	49€	1	49€
TOTAL				91.037€



Transporte de la masa de *Azolla filiculoides*

UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
día	Operario de campo	88€	1	88€
día	Dietas	27€	1	27€
día	Camión pluma	154€	1	154€
km	Kilometraje	0,40€	300	120€
TOTAL				389€

Dsecación e incineración de la masa de *Azolla filiculoides*

UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
día	Operario de campo	88€	2	176 €
día	Dietas	27€	2	54€
hora	Retroexcavadora	65€	8	520€
TOTAL				750€

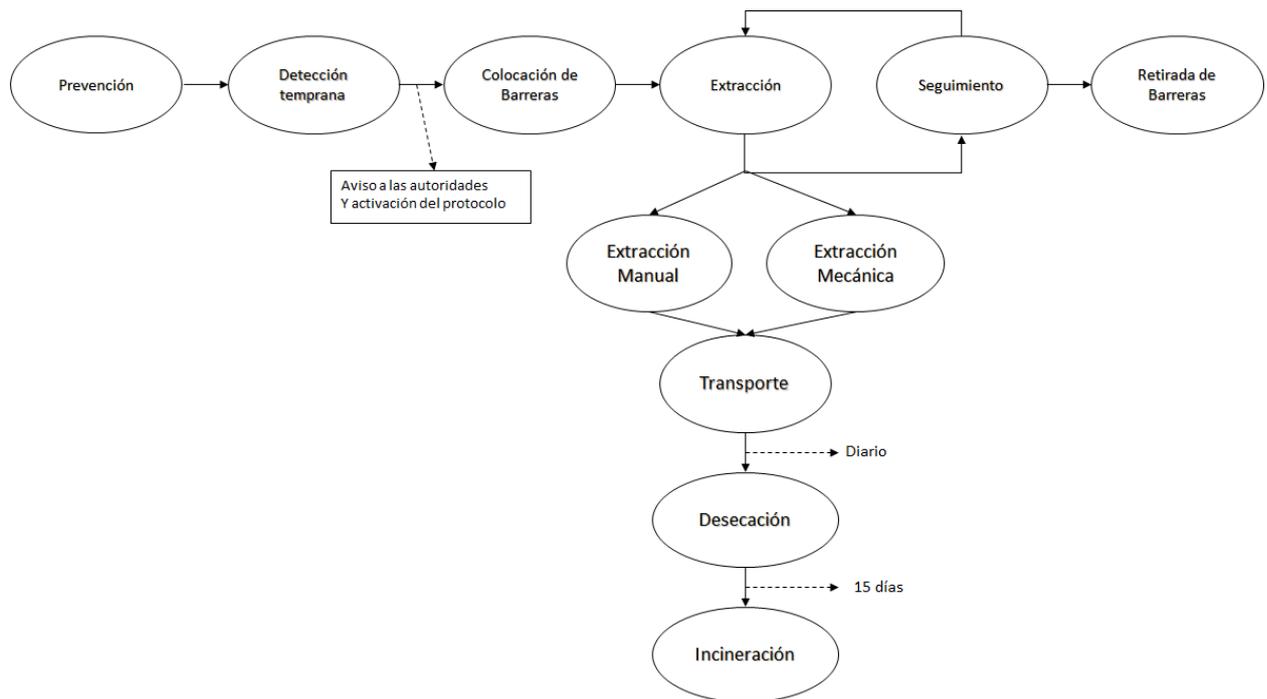
Material

UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
metros ³	Saca Arena	37€	10	370€
litros	Líquido acelerante	1,5€	10	15€
metro	Vallado	18€	100	1.800€
TOTAL				2.185€



6. ESQUEMA METODOLÓGICO DE LOS PROTOCOLOS

A continuación se muestran las acciones a seguir de manera esquemática para la aplicación de los diferentes protocolos.





7. MANEJO DE AZOLLA FILICULOIDES EN EL RÍO TAJO A SU PASO POR EL PARQUE NATURAL DEL TAJO INTERNACIONAL Y EL PARQUE NACIONAL DE MONFRAGUE

7.1. ESTUDIO PREVIO

A continuación se exponen los resultados obtenidos en los trabajos realizados para la acción A.5 del proyecto INVASEP: “Valoración de la amenaza y medidas de control de la especie invasora *Azolla filiculoides* en la cuenca del Tajo”

Para determinar la distribución potencial de *Azolla* en la cuenca del Tajo se realizó una recopilación de información previa existente en bibliografía además de prospecciones in situ en el río Tajo a su paso por el Parque Nacional de Monfragüe y el Parque Natural del Tajo Internacional para recoger datos referentes a presencia o ausencia de la planta, características del hábitat y de la calidad del agua. Como resultado se obtuvo que *Azolla* sólo estuvo presente en tres puntos del Parque Natural del Tajo Internacional, en los términos municipales de Alcántara, Santiago de Alcántara y Cedillo. En cuanto a los datos físico-químicos del agua medidos (pH, temperatura del agua, conductividad eléctrica, DBO₅, DQO y Oxígeno disuelto) no se observaron diferencias significativas que permitan caracterizar la presencia o ausencia de la especie en base a estas variables.

Las superficies ocupadas por el helecho en estas poblaciones no eran grandes, viéndose incrementadas en los meses veraniegos. La población de Alcántara es la que presentaba un crecimiento mayor, alcanzando en agosto del 2013 una superficie de 6,7m². Del estudio fitosociológico se obtiene como resultado que la cobertura era baja, con valores comprendidos entre el 3-20%, siendo muy reducida al comienzo del estudio (mayo) e incrementándose a lo largo de los meses (agosto). Las especies que aparecen representadas, además de *Azolla* son *Lemna minor* y *Ceratophyllum demersum*, siempre acompañando a *Azolla* la primera. En cuanto a la morfología presentan un color verde en mayo pasando a rojo en fechas posteriores y en ninguna de las poblaciones se encontraron estructuras reproductoras.

De los datos obtenidos sobre la calidad del agua (pH, temperatura del agua, conductividad eléctrica y Oxígeno disuelto) en estos puntos de muestreo tan sólo se observaron leves diferencias en los niveles de oxígeno disuelto, siendo ligeramente menor en la localidad con mayor cantidad de *Azolla* (Alcántara). De los muestreos de zooplancton y fitoplancton no



aparecieron diferencias significativas por lo que en relación a las comunidades de invertebrados parece que éstas no se han visto afectadas por la planta.

Para evaluar el desarrollo y el comportamiento reproductor de esta especie en la cuenca del Tajo se eligieron poblaciones existentes en el río Ayuela y Salor. Estos estudios se llevaron a cabo entre los meses de abril-agosto de 2014. Los resultados mostraron un desarrollo exponencial de las colonias de *Azolla*, especialmente en el periodo de junio, coincidiendo con un incremento de la concentración de fósforo y un incremento adicional en la conductividad eléctrica del agua, fenómenos que suelen estar concatenados con el incremento de las temperaturas, la desecación del cauce y el incremento de la concentración de nutrientes por unidad de volumen. Durante el mes de abril todos los individuos presentaron un color verde intenso y no se observaron estructuras reproductoras (en este momento la lámina de agua era homogénea y existía circulación de agua continua en el río). En mayo, debido al aumento de la temperatura el caudal disminuye y aparecen zonas remansadas. Los individuos que se encontraban en esas zonas presentaron un color rojizo intenso. En los meses posteriores el cauce del río pierde gran parte del caudal y el agua sólo aparece en zonas remansadas y en pocetas, presentando los individuos un color gris ceniciento. La aparición de estructuras reproductoras (microsporocarpo y megasporocarpo) se produce a partir del mes de junio en aquellos puntos donde *Azolla* forma colonias homogéneas de mayor concentración. La media de microsporas que se producen en el río Ayuela en el tramo muestreado con presencia de *Azolla* en estadio reproductor, pudo superar los 130 millones de esporas/metro cuadrado de superficie de lámina de agua.

Como limitaciones al desarrollo y la actividad reproductora se observó que la formación de las estructuras reproductoras se organizó en todos los casos en condiciones de aguas estancadas, en cubetas de poca profundidad y en aguas con pH por encima de 7, no produciéndose en ningún caso en individuos asentados directamente en el suelo. En cuanto a la fauna que puede impedir este desarrollo se encontró un pequeño coleóptero llamado *Stenopelmus rufinusus*. Se estimó una población de más de 2500 individuos / 250m² en la zona estudiada. Otra especie que se localizaron consumiendo *Azolla* fue un caracol de pequeño tamaño llamado *Physella acuta*. La población estimada en la cuenca analizada de los ríos Ayuela y Salor varió de 15000 caracoles / 1km en el río Salor a los 47000 caracoles / 1 km en el río Ayuela. También se observó la presencia de pequeños peces identificados como *Gambusia (Gambusia holbrooki)*. Unas disecciones realizadas a varios individuos permitieron detectar la presencia de fragmentos de *Azolla* en su estómago. Entre estos fragmentos se encontraron esporocarpos. En el caso de que



las esporas transportadas por estos peces no pierdan capacidad para germinar al pasar por el tracto digestivo, algo más que previsible por la morfología de estas estructuras de resistencia, este pez puede ser un vector de dispersión más de *Azolla* por los ríos.

Por último, para evaluar la capacidad de asentamiento de la especie en la zona de estudio se hizo una evaluación del riesgo de desarrollo y proliferación de *Azolla* en los cursos fluviales de la cuenca del Tajo. Los resultados muestran que más de 40% de los cauces suponen un riesgo Alto o muy Alto en la presencia y vertido de *Azolla* al río Tajo en el tramo de estudio. Junto a estos datos se observa que el riesgo en general es elevado, y sólo en menos del 10% de los cauces es bajo, como consecuencia de ser cauces cerrados, con curso continuo y generalmente de aguas frías que limitan notablemente el desarrollo y proliferación de *Azolla*. Los mayores riesgos se producen en los cauces situados en la penillanura Cacerreña, con cursos abiertos, que forman zonas encharcadas, alcanzan altas temperaturas y disponen de una elevada incorporación de nutrientes como consecuencia del pastoreo habitual de los espacios adehesados a los que circundan estos cauces. Igualmente en las zonas portuguesas de proximidad con el pantano de Cedillo aparecen situaciones similares que nutren igualmente la zona del río Tajo a su paso por el Parque Internacional.

7.2. APLICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

La aplicación de estos protocolos para *Azolla filiculoides* en la cuenca del Tajo y en concreto a su paso por el Parque Natural del Tajo Internacional y el Parque Nacional de Monfragüe, requieren una valoración muy estricta por parte de sus responsables, en la cual se deben evaluar los costes, el tiempo de actuación, las molestias medioambientales y el porcentaje de resultado o garantías de éxito.

Es un hecho que la presencia del *Azolla* se encuentra en esta cuenca. En el año 2009 se observó una explosión demográfica en el río Tajo que provocó la cubierta total del lecho del río desde la presa de Cedillo hasta varios kilómetros aguas arriba. Las fuertes precipitaciones posteriores que provocaron una histórica apertura de compuertas en pro de la seguridad, solucionaron el problema puntualmente eliminando la masa de *Azolla* en esta área. Este hecho es muy difícil de realizar hoy en día si no es por los mismos motivos de seguridad que propiciaron su apertura, puesto que iría en contra de los intereses de la central hidroeléctrica que regula la presa, su



utilización supone un perjuicio a otros organismos o comunidades biológicas y sólo trasladaría el problema al país vecino chocando con las leyes internacionales.

Aunque actualmente las poblaciones de *Azolla* se encuentren restringidas a puntos muy concretos del río Tajo, las tareas de erradicación de la especie se prevén altamente complejas debido a los factores que se mencionan a continuación.

Los mecanismos de reproducción de la *Azolla* son altamente específicas, pudiendo reproducirse tanto vegetativamente como sexualmente. La reproducción vegetativa se lleva a cabo por fragmentación de los tallos permitiendo una rápida propagación de la especie, pudiendo duplicar su masa en sólo unos días. Cuando las condiciones se vuelven adversas se produce la reproducción sexual con la producción de esporas que se liberan al medio hasta que las condiciones se vuelven favorables para su germinación, pudiendo permanecer latentes varios meses. Aunque en los estudios realizados para este proyecto no se ha detectado la existencia de esporas en el río Tajo en las poblaciones existentes en las fechas estudiadas, sí han aparecido en otros ríos de la cuenca, en el río Salor, afluente del Tajo, y río Ayuela, afluente del anterior, estimándose una producción de 130 millones de esporas/m² de superficie de lámina de agua.

Otro factor de dispersión y que es difícilmente controlable son las aves. Las aves pueden transportar este helecho o sus esporas en sus patas, pudiendo por tanto llegar y colonizar otras áreas. En el estudio realizado para esta cuenca, se ha constatado la existencia de esporas en peces, en concreto en gambusias, pudiendo ser un vector de dispersión más de *Azolla* por los ríos.

Los cambios en las condiciones ambientales de los ríos debido a actividades agrícolas y ganaderas también influyen decisivamente a su expansión. *Azolla* se desarrolla de manera exponencial en aguas eutrofizadas con altos niveles de fósforo, principal factor limitante del crecimiento y desarrollo de la especie. Existen muchos cauces en la cuenca del Tajo así como en zonas portuguesas próximas al pantano de Cedillo con una elevada incorporación de nutrientes proveniente de las actividades ganaderas. Probablemente el *bloom* del 2009 en Parque Natural del Tajo Internacional coincidió con altas concentraciones de fósforo en el agua asociado a estas actividades junto a escaso caudal y altas temperaturas (y probablemente alta esporulación) que propiciaron el crecimiento y desarrollo desmesurado de la especie.



Para la aplicación de estos protocolos de erradicación y control en el río Tajo en estas zonas además hay que tener en cuenta otra serie de características como son la geografía del terreno. El acceso por tierra a las orillas del cauce es complicado por la pendiente y los escasos caminos existentes. Este hecho provoca un incremento sustancial en los costes, **estimándose que como mínimo los mismos se triplicarían** al tenerse que acceder a la zonas afectadas siempre desde embarcación, debiéndose navegar un mínimo de 40 km entre la ida y la vuelta a las áreas donde se detectaban las grandes acumulaciones de *Azolla*.

Esta falta de accesibilidad provocaría a su vez que hubiese que incrementar el parque de embarcaciones, destinando unas a la extracción de *Azolla* y otras a su transporte hasta el embarcadero, donde se dispondrían contenedores especiales para depositar la planta o estarían esperando los camiones para trasladarla hasta el lugar de incineración.

	Protocolo General	Protocolo P.N. Tajo Internacional
Costes diarios de Extracción Manual	1.073€	3.403€
Equipamiento Manual	13.692€	16.524€
Costes diarios de Extracción Mecánica	1.073€	3.403€
Equipamiento Mecánico	91.037€	93.835€

Por último, los resultados obtenidos en otras experiencias llevadas a cabo España así como otras partes del mundo, indican que los métodos físicos de erradicación y control no son efectivas a largo plazo pues la debilidad de esta especie hace que se rompa con facilidad formando números y pequeños fragmentos que pueden rebrotar con facilidad. El restablecimiento a partir de estos pequeños grupos de individuos requiere repetidos programas de control haciéndolo inviable en el caso de grandes poblaciones.

Así, debido a que una vez la *Azolla* coloniza una zona tiende a persistir, y que está ligada a condiciones de eutrofia, la mejor herramienta contra la lucha de esta especie sería la de restablecer los parámetros físico-químicos del agua de las zonas afectadas, disminuyendo las concentraciones de vertidos con nutrientes al río mediante un mejor manejo agrícola y ganadero.



8. BIBLIOGRAFÍA

ADALBERTO, P. R., MASSABNI, A.C., GOULART, A.J., MONTI, R. & LACAVA, P.M.; 2004. *Efeito de fósforo na captura de minerais e pigmentação de Azolla caroliniana Willd. (Azollaceae)* Revista Brasileira de Botânica 27 (3): 581-585.

AGUT I ESCRIG, A.; 2012. *Estudio sobre el impacto ecológico de Azolla filiculoides y la eficacia de los métodos físicos de control y erradicación como medida de gestión de las poblaciones de esta especie en los ecosistemas acuáticos del municipio de Vitoria-Gasteiz (fase 1)*. Departamento de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.

ARAGONÉS, D. FERNÁNDEZ-ZAMUDIO, R., BUSTAMANTE, J., GARCÍA-MURILLO, P., DÍAZ-DELGADO R. Y CIRUJANO, S.; 2009. *Cartografía de la superficie invadida por Azolla filiculoides en el Parque Nacional de Doñana mediante imágenes Landsat*. Teledetección: Agua y desarrollo sostenible. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección.

ARH DO TEJO, I.P.; 2011. *Plano de Controlo de Infestantes Aquáticas: Azolla sp.* Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.

CAMPRODON, J., FERREIRA, M. T. Y ORDEIX, M.; 2012. *Restauración y Gestión Ecológica Fluvial: Un manual de buenas prácticas de gestión de ríos y riberas*. UE Interreg IVB Sudoe RICOVER. ISBN: 978-84-615-8853-4.

CAPDEVILA ARGÜELLES, L., IGLESIAS GARCÍA, A., ORUETA, J., y ZILLETI, B.; 2006. *Especies Exóticas Invasoras: Diagnóstico y bases para la prevención y el manejo*. Ministerio de Medio Ambiente.

CARRAPICO, F., COSTA M.H., TEXEIRA, G., FRAZAO, M., SANTOS, C., BAIOLA, M.; 1996. *The uncontrolled growth of Azolla in the Guadiana River*. *Aquaphyte* 16(2):11.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN PISCÍCOLA DE EL PALMAR; 2012. *Azolla filiculoides en la Comunitat Valenciana. Distribución, Control y Medidas de Gestión*. Direcció General de Medi Natural, Generalitat Valenciana.



CIRUJANO, S.; 2006. *Estudio y control del helecho acuático invasor Azolla filiculoides en los humedales del Parque Nacional de Doñana.*

CIRUJANO, S., GARCÍA MURILLO P., FERNÁNDEZ ZAMUDIO, R., ESPINAR, J.M., RUBIO OLMO, A., MECO MOLINA, A. LÓPEZ BRAVO, I. SÁNCHEZ ANDRÉS, R., SÁNCHEZ CARRILLO, S., MORENO PÉREZ, M., SOUSA MARTÍN, A.; 2015. *La invasión del helecho acuático Azolla filiculoides en la Marisma del Parque Nacional de Doñana en 2005-2008.* Grupo de Investigaciones del Agua. Serie limnoiberia nº 6.

ESPINAR, J.L., DÍAZ-DELGADO, R., BRAVO-UTRERA, M.A. AND VILÀ, M.; 2014. *Linking Azolla filiculoides invasion to increased winter temperatures in the Doñana marshland (SW Spain).* Aquatic Invasions (2015) Volume 10, Issue 1: 17–24.

GARCÍA-MURILLO, P., FERNANDEZ-ZAMUDIO, R., CIRUJANO, S., SOUSA, A. & ESPINAR, J.M.; 2007; *The invasion of Doñana National Park (SW Spain) by the mosquito fern Azolla filiculoides Lam.* Limnetica, 26(2): 243-250.

GEIB; 2006. *TOP 20: Las 20 especies exóticas invasoras más dañinas presentes en España.* GEIB, Serie Técnica N.2. Pp.: 116.

HERRERA GALLASTEGUI, M. Y CAMPOS PRIETO, J.A.; 2010. *Flora alóctona invasora en Bizkaia.* Diputación Foral de Bizkaia. Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia. ISBN: 978-84-7752-477-7.

HILL, M.P. & CILLIERS, C.J.; 1999; *Azolla filiculoides Lamarck (pteridophyta: Azollaceae), its status in South Africa and control.* Hydrobiología, 415: 203-206.

INSTITUTO DA ÁGUA; 2001. *Azolla em Portugal.* Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. ISBN: 972-9412-58-8.

JANES, R.A.; 1997a; *Growth and survival of Azolla filiculoides in Britain. I. Vegetative reproduction.* New Phytologist, 138: 367-375.



KELLY, J., AND MAGUIRE, C.M.; 2009. *Azolla filiculoides* Invasive Species Action Plan. Prepared for NIEA and NPWS as part of Invasive Species Ireland.

MARTÍN GIL, T.; 2010. *Azolla filiculoides* Lam. (azollaceae), integrante de la flora acuática alóctona de Segovia. Flora Montiberica 46: 13-18 (X-2010). ISSN 1138-5952.

MASFERRER AMAT, J. MOR ROY, J. y SABATER SOLÀ, L.; 2009. *Estudi d'Azolla filiculoides al riu Ter*. Universitat de Girona.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE; 2011. Manual de las especies exóticas invasoras de los ríos y riberas de la Cuenca Hidrográfica del Duero.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE; 2013. *Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras. Fichas*.

Recurso on-line: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacionde-especies-amenazadas/index_ce_eei.aspx

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES; 2012. *Estrategia Nacional de Especies Exóticas Invasoras Realizado en el marco del proyecto "Mitigando las amenazas de las especies exóticas invasoras en el Caribe Insular"*. Santo Domingo, República Dominicana.

MOORE, A.W.; 1969; *Azolla: biology and agronomic significance*. The Biological Review, 35(1): 17-34.

ORGANISMO AUTÓNOMO PARQUES NACIONALES; 2009. *Catálogo de experiencias demostrativas en las Reservas de Biosfera españolas*. Organismo Autónomo Parques Nacionales. NIPO: 781-09-030-3.

RICOVER; 2012. *Guía de control de bioinvasoras vegetales en ríos de la Península Ibérica*. SUDOE Interreg IV B.

ZILLETI, B., LAURA CAPDEVILA-ARGÜELLES, L. y SUÁREZ ÁLVAREZ, V.A.; 2013. *La lucha contra las especies exóticas invasoras: una cuestión de estrategia y compromiso*. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural Segunda época, 10.