Premios AEIPRO a la Excelencia en Proyectos

Generando biomasa con Aguas Regeneradas: Oportunidad para la Bioeconomía Circular (BIOARBIO)

INVESTIGACIÓN APLICADA

Nombre de la organización: Eulen, SA., Fundación iMdea Agua, INIA-CSIC
Nombre del proyecto: Generando biomasa con Aguas Regeneradas: Oportunidad para la Bioeconomía Circular (BIOARBIO)
Director del proyecto: Irene de Bustamante Gutiérrez
Fecha de envío: **03/03/2022**

Premios
AEIPRO
a la Excelencia
en Proyectos

Tabla de contenidos:

Sección 1 Información General 3

Sección 2 Resumen del proyecto 5

Sección 3 Esquema del proyecto 9

Sección 4 Entrega de valor del negocio 10

Sección 5 Logros sobresalientes y/o innovación en las buenas prácticas de gestión de proyectos 131

Sección 6 Problemas y desafíos 16

Sección 7 Lecciones Aprendidas 33

Sección 8 Anexos 19

Sección 9 Declaración del Solicitante 22

Premios AEIPRO a la Excelencia en Proyectos

Sección 1 **Información General**

NOMBRE DE LA ORGANIZACIÓN APLICANTE Eulen, SA., Fundación iMdea Agua, INIA-CSIC

NOMBRE DEL PROYECTO / FASE DEL PROYECTO: GENERANDO BIOMASA CON AGUAS REGENERADAS: OPORTUNIDAD PARA LA BIOECONOMÍA CIRCULAR (BIOARBIO) (FASE I)

LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

CIUDAD Madrid

PAIS España

¿SE AJUSTA EL PROYECTO A LA DEFINICIÓN DE PROYECTO COMO SE DESCRIBE EN LA IPMA ICB versión 4.0.?	☒ SI	☐ NO
¿SE HA FINALIZADO EL PROYECTO O FASE DEL PROYECTO QUE SE USA COMO BASE PARA LA PRESENTACIÓN?	☒ SI	☐ NO

REPRESENTANTE DEL EQUIPO DE PROYECTO

NOMBRE Raúl Jerónimo Pradana Yuste

CORREO ELECTRÓNICO jpradana@eulen.com

TELÉFONO 663 01 11 45

DIRECCIÓN POSTAL:

PROMOTOR / CLIENTE / ENTIDAD FINANCIADORA

NOMBRE Área de Fomento de la Transferencia Tecnológica y del Emrpendimiento Tecnológico, Dirección General de Investigación e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid

CORREO ELECTRÓNICO indus_doc2018@madrid.org

TELÉFONO

DIRECCIÓN POSTAL: Paseo de Recoletos, 14, 4ª planta

Confirmación de envío

Por favor, inserte la confirmación o añádala como adjunto al Informe de Solicitud.

☒ CONFIRMACIÓN DEL CLIENTE / PROMOTOR

Confirmación de que el cliente/promotor ha dado su consentimiento para presentar el proyecto.
Por ejemplo, una carta o correo electrónico del cliente / dueño otorgando el consentimiento.

☒ CONSENTIMIENTO PARA EL USO DE FOTOGRAFÍAS, LOGOTIPOS DE LA ORGANIZACIÓN, ETC.

Confirmación de que se consiente el uso de fotografías, logotipos de la organización y otra información suministrada en la solicitud recibida, a los fines de promoción del Premio.
Por ejemplo, una carta o correo electrónico de una persona autorizada otorgando el consentimiento.

☒ CONFIRMACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL PROYECTO

Confirmación de que el proyecto / fase del proyecto ha sido aceptado por el cliente/propietario.
Por ejemplo, una carta o correo electrónico del cliente / propietario confirmando la aceptación o documento de finalización del proyecto aprobado o fase de proyecto aprobada.

Sección 2 **Resumen del proyecto**

El aumento de las necesidades de recursos hídricos, unido a la progresiva reducción de su disponibilidad hace necesario aumentar los esfuerzos para fomentar la reutilización del agua, siempre cumpliendo unos estrictos requisitos de calidad marcados por la legislación.

Las tecnologías basadas en la naturaleza son métodos robustos de tratamiento de aguas residuales que se utilizan y están muy desarrollados con aguas residuales urbanas. Su aplicación con aguas residuales industriales es incipiente, pero teniendo en cuenta sus reducidos costes económicos, energéticos y ambientales de operación, es una apuesta innovadora a investigar. En este caso, la investigación va dirigida a la reutilización y el tratamiento de aguas tratadas provenientes de la industria cervecera mediante un Filtro Verde.

En esta primera fase del proyecto, se han realizado una serie de ensayos de selección de material vegetal para determinar los genotipos del género Populus más aptos para este fin, culminando en la implementación de una plantación piloto de 1000 m^2 en las instalaciones de una cervecera local.

Los resultados obtenidos permiten establecer diferencias claras entre la aptitud de los diferentes genotipos estudiados, pudiendo seleccionar así el material vegetal que produzca mejores resultados de tratamiento y producción de biomasa.

INFORMACIÓN CLAVE DEL PROYECTO / FASE DEL PROYECTO

NUMERO DE MIEMBROS DEL EQUIPO DE GESTIÓN DEL PROYECTO: 4	NUMERO DE EMPLAZAMIENTOS IMPLICADOS: 4	NUMERO TOTAL DE EMPLEADOS INTERNOS IMPLICADOS: 15	NUMERO TOTAL DE EMPLEADOS EXTERNOS IMPLICADOS: 10

¿Cuáles fueron los objetivos clave / beneficios esperados del proyecto o fase del proyecto?

El objetivo principal de esta fase del proyecto fue el de conocer el comportamiento de los diferentes genotipos, tanto autóctonos como híbridos productivos, del género Populus en contacto con las aguas residuales de la industria cervecera, para así poder seleccionar los más aptos para su plantación en Filtros Verdes forestales en casos reales. Así, se esperaba comparar las tasas de producción de biomasa (aérea y radicular) y los parámetros ecofisiológicos (tasa de fotosíntesis, conductancia estomática, respiración) conseguidos por cada genotipo en condiciones controladas, para así poder seleccionar los más aptos a crecer en esta casuística concreta.

¿Cuáles fueron los principales resultados / productos del proyecto / fase del proyecto?

Se han podido establecer diferencias significativas entre los diferentes genotipos testados en todos los parámetros medidos, así como diferentes niveles de respuesta en la tolerancia al agua residual, comparando las tasas de crecimiento y ecofisiológicas que presentaron los ejemplares creciendo con agua residual con las que presentaron aquellos que crecieron con agua de control (agua de red con o sin fertilizante, dependiendo del tipo de ensayo).
Esto ha permitido establecer en el campo un Filtro Verde piloto de 1000 m^2 constituido por una plantación policlonal compuesta por los genotipos que presentaban mejores resultados en nuestros ensayos previos.

FECHA DE COMIENZO: Febrero 2020 FECHA DE FINALIZACIÓN: Julio 2021

Duración total 18 meses

¿Cuáles fueron los principales hitos o fases del proyecto?

1. Reuniones y planificación previa
2. Revisión bibliográfica sobre el estado del arte de los Filtros Verdes en el mundo
3. Búsqueda de stakeholders con interés y posibilidad de participar en el proyecto
4. Realización de ensayos de cultivo hidropónico como pre-screening en condiciones controladas
5. Estudio geológico e hidrogeológico de la zona
6. Realización de ensayos de cultivo en sustrato (macetas) en condiciones controladas de invernadero
7. Implementación de la plantación piloto, incluyendo derivaciones del agua residual para riego, sistema de riego y sistemas de control de calidad del agua subterránea (piezómetros)

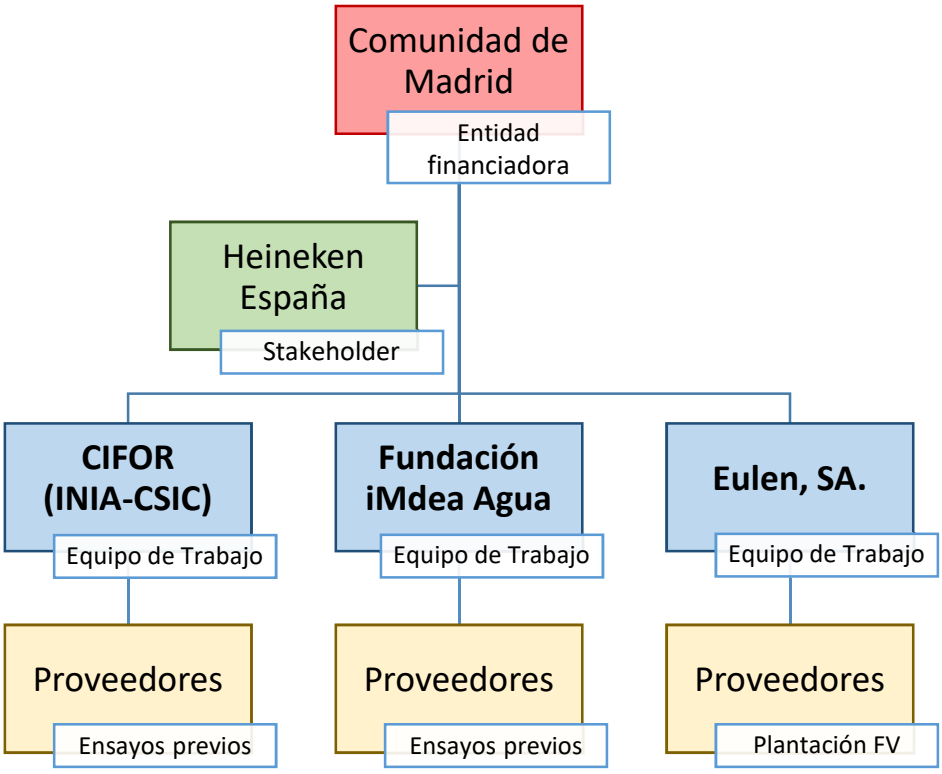
PRESUPUESTO 95.525,00 €

Estructura de gobernanza del proyecto
¿Quiénes son el cliente y el promotor del proyecto? ¿Cómo se organizó la gobernanza?

Este proyecto ha sido financiado por la Dirección General de Investigación e Innovación Tecnológica de la consejería de educación, universidades, ciencia y portavocía de la Comunidad de Madrid. Ha sido concedido en el marco de la convocatoria de ayudas para la realización de doctorados industriales en la Comunidad de Madrid (Orden 52/2019).
La solicitud del proyecto fue realizada por las entidades Eulen, SA. (entidad empresarial) y la Fundación iMdea Agua (entidad académica y de investigación), dentro del Consorcio de colaboración que ambas empresas mantienen, junto con el centro de investigación forestal (CIFOR) del INIA-CSIC.
La toma de decisiones, así como la planificación y el seguimiento de los diversos hitos del proyecto, se han llevado a cabo entre los 3 participantes del consorcio.

Estructura organizacional (organigrama)

Describa la estructura del equipo de proyecto



Sección 3 Esquema del proyecto

A. Personas y Propósito

Este proyecto ha sido planteado y llevado a cabo por un equipo multidisciplinar de personas pertenecientes a diversos campos tanto de investigación como de trabajo, con enfoques académicos y empresariales variados, pero siempre manteniendo como tótem común la adecuada gestión medioambiental. Así, ya sea enfocado al conocimiento y la correcta gestión del agua, de los sistemas forestales o de las zonas verdes, las personas involucradas en el proyecto cuentan con una dilatada experiencia en sus respectivos campos y unos valores de adecuación medioambiental de sus acciones apropiados.

Esto ha permitido que la obtención de los objetivos del proyecto; la atenuación de contaminantes en las aguas residuales cerveceras mediante filtros verdes forestales, al tiempo que se generan una serie de beneficios adicionales, como la producción de biomasa o la revalorización ambiental del medio, se logre mediante la aplicación de una dinámica de trabajo propia de las más rigurosas investigaciones científicas, y contando con las capacidades logísticas y de ejecución de proyectos del entorno empresarial, gracias al consorcio de trabajo IMDEA-INIA-EULEN.

Este consorcio de trabajo IMDEA-INIA-EULEN se ha materializado mediante la firma de un convenio de colaboración y un acuerdo de confidencialidad entre las 3 entidades, con el objetivo de llevar a cabo actividades conjuntas de investigación, desarrollo, innovación, formación y divulgación, y para la cooperación en temas específicos en el ámbito de los Filtros Verdes Forestales. El consorcio se construye sobre la base de conocimientos, experiencia y capacidad de cada una de las partes tanto en materia de diseño, desarrollo y funcionamiento de sistemas de tratamiento no convencionales y plantaciones forestales de producción de biomasa como en materia de realización de proyectos a pequeña, media y gran escala.

B. Procesos y Recursos

La naturaleza de este proyecto, al estar concedido en el marco de la convocatoria de ayudas para la realización de doctorados industriales en la Comunidad de Madrid, hace fundamental que la gestión de los recursos y la justificación de los procesos llevados a cabo se realicen mediante los procedimientos establecidos en los Organismos Públicos de Investigación, que se ajusten a una planificación pre-establecida y que sean debidamente justificados anualmente.

Para la realización de los ensayos previos a la implantación del Filtro Verde Piloto, se ha contado con las instalaciones del INIA. Se ha dispuesto de un invernadero con sistema de control de climatización y luminosidad, de modo que las condiciones de los ensayos estuvieran controladas. Asimismo, los medios logísticos dispuestos por Eulen han sido esenciales para la realización de estos ensayos, facilitando tanto

personal como flota vehicular para el muestreo y transporte del agua residual desde las instalaciones del stakeholder hasta las del INIA.

Las analíticas llevadas a cabo durante el ensayo se han llevado a cabo tanto en el propio INIA como en las instalaciones de iMdea Agua, en Alcalá de Henares. Concretamente, en el INIA se han realizado las mediciones de crecimiento y de parámetro ecofisiológicos, así como los pesajes de biomasa y los análisis foliares. Por su parte, en los laboratorios ubicados en iMdea Agua se han analizado las muestras del agua residual de cada muestreo, determinando sus características físico-químicas y evaluando su evolución al ser empleada en los ensayos.

C. Resultados del Proyecto

Los resultados de esta primera fase del proyecto han sido muy satisfactorios y prometedores para todas las partes involucradas. Se ha conseguido establecer diferencias de tolerancia y capacidad productiva entre los diferentes genotipos del género Populus, se ha logrado establecer una buena relación y coordinación entre las diversas personas que componen el equipo del proyecto, se ha podido establecer una plantación piloto en campo, revalorizando un entorno industrial sin uso concreto hasta entonces, y se ha logrado avanzar en el conocimiento de la materia, incluyendo comunicaciones a congresos y la publicación de artículos científicos en revistas internacionales de alto impacto.

La principal entidad financiadora ha emitido un informe intermedio favorable, al considerar mediante auditoría externa realizada a los 18 meses del proyecto que el grado de ejecución y adecuación a la planificación inicial es alto y satisfactorio.

Tanto el equipo de proyecto como el stakeholder principal consideran que los resultados obtenidos son positivos y prometedores. Esto queda reflejado, sin ir más lejos, en que recientemente se ha solicitado, por parte de todas las entidades involucradas, un nuevo proyecto de ampliación y continuación de la investigación en materia de circularidad, regeneración y reutilización del agua en las instalaciones de Heineken España, dentro de la convocatoria de Proyectos en Colaboración Público-Privada 2021.

Sección 4 Entrega de valor de negocio

Desde el equipo de trabajo y ejecución de este proyecto, consideramos que es un muy buen ejemplo de aplicación de los criterios del Modelo de Excelencia en Proyectos de IPMA.

Primeramente, tal y como ya se ha mencionado, la comunicación, cooperación y coordinación entre las diversas entidades, tanto OPIs como empresas, stakeholders y proveedores ocasionales ha sido constante y ejemplar, permitiendo el buen rendimiento del equipo, llevando a cabo las labores previamente establecidas de una forma eficaz, eficiente y acorde a lo planificado, obteniendo resultados satisfactorios y haciendo frente a diversas adversidades tanto derivadas de la casuística concreta como externas e imprevisibles en el momento de la planificación previa, como fue la pandemia ocasionada por la Covid-19.

Esta capacidad de actuación, cumplimiento y coordinación ha sido posible gracias a la vasta experiencia y conocimiento que cada uno de los implicados tiene en sus respectivos campos, y no deja de ser, a su vez, un reflejo de la fiabilidad de este equipo, que sólo se ve reforzada por el consorcio de colaboración firmado entre las partes.

De igual modo, durante la ejecución del proyecto se han ido adaptando las estrategias que dirigen las acciones a llevar a cabo a medida que se obtenían resultados, conocimiento y experiencia en esta casuística concreta. Este ejercicio de flexibilidad ha resultado clave para afrontar las potenciales problemáticas logísticas y de gestión que se han tenido que afrontar durante la ejecución del proyecto, como pueden ser la disponibilidad del agua residual objeto de estudio en las instalaciones donde se realizarían los ensayos, la necesidad de proteger la plantación ante la acción perjudicial de lepóridos en la zona o el replanteo del diseño de los ensayos y la plantación para reforzar u obtener más datos y resultados (i. e. la instalación de una plantación policlonal y sectorizada que sirva al mismo tiempo de ensayo de adaptabilidad de genotipos).

El proyecto supone, a su vez, tanto para los diferentes miembros del equipo ejecutor como para la entidad financiadora y el stakeholder principal, un paso más en su filosofía de mejora continua, pues supone, en todos los casos, una ampliación de los horizontes dentro del área de experiencia de cada entidad. Así, desde la Fundación iMdea Agua se contaba con una amplia experiencia en Filtros Verdes, pero no aplicados a la casuística concreta de la industria cervecera. En el caso del INIA-CSIC, las plantaciones forestales para la producción de biomasa, en concreto del género Populus, han sido su área de investigación durante años, pero su aplicación en los filtros verdes como método de tratamiento de aguas ha sido un nuevo hito en su investigación. Para el entorno empresarial, en Eulen se han llevado a cabo múltiples proyectos de plantaciones forestales, pero mayoritariamente orientadas a la captación de CO_2, con densidades de plantación mucho menores a la aquí aplicada y sin

contemplar su uso como sistema de tratamiento de aguas, de modo que su apuesta por este proyecto ha supuesto la apertura de una posible nueva línea de innovación y de negocio. Para Heineken España, este proyecto y cualquier otro que derive del mismo son pasos adelante en su estrategia de circularidad y gestión del agua, en un ejercicio de sostenibilidad medioambiental. Finalmente, en el caso de la entidad financiadora, la CAM se ve beneficiada de los avances que los organismos de investigación y las industrias que operan en su territorio puedan llevar a cabo, tanto desde un punto de vista académico y de investigación, como de negocio y medioambientalmente sostenible.

En pos de que todo lo expuesto anteriormente se viera realmente materializado, el diseño de la plantación era un parámetro fundamental, pues ha de ser representativo y escalable si se quieren poder extraer conclusiones firmes. Desde este punto de vista, una plantación experimental en la que simplemente se quisiera testar la capacidad de tratamiento del agua o de producción de biomasa podría haber tenido unas dimensiones muy reducidas (50 m2). No obstante, en este caso concreto, por necesidades del entorno empresarial (tanto del equipo ejecutor como de los stakeholders), se tomó la decisión de elevar la extensión de la plantación a >1000 m^2, y así poder evaluar su comportamiento y capacidades reales de producción y tratamiento por unidad de superficie.

Sección 5 **Logros sobresalientes y/o innovación en las mejores prácticas de gestión de proyectos**

Criterios del Modelo de Excelencia en Proyectos de IPMA

CRITERIO 1: A.2 OBJETIVOS Y ESTRATEGIA

La Comisión Europea viene publicando durante los últimos años una hoja de ruta para dotar a la UE de una economía sostenible, la cual debe estar encaminada a buscar Soluciones Basadas en la Naturaleza como forma de afrontar los actuales desafíos de la gestión del agua, incluyendo la depuración y reutilización de las aguas urbanas e industriales. Del mismo modo, la UNESCO también promueve la implementación de este tipo de sistemas basados en la naturaleza en los modelos modernos de gestión del agua (European Commission, 2018; UNESCO, 2018).

Un Filtro Verde es un tipo de Solución Basada en la Naturaleza que consiste en una superficie de terreno donde se instaura un cultivo a la que se aplican, de forma sistemática y programada, aguas residuales (de Miguel et al., 2014). Una parte de estas aguas se evapora y el resto es absorbido por las raíces de los árboles o filtrada a través del suelo, de modo que la acción conjunta del suelo, los microorganismos y las plantas eliminan los contaminantes del agua. Concretamente, los Filtros Verdes Forestales con especies de crecimiento rápido son los que han mostrado claramente un mejor resultado en un contexto de depuración y reutilización de aguas (Persson & Lindroth, 1994; Susarla et al., 2002; Herschbach et al., 2005; Fillion et al., 2009; Muthusaravanan et al., 2018; de Bustamante et al, 2018).

Con la entrada en vigor del Real Decreto 1620/2007, sobre reutilización de las aguas residuales, los FVFs utilizados hasta entonces para la depuración de aguas residuales, pueden ser utilizados también como estaciones de reutilización y regeneración de aguas depuradas, ya sea para el riego de cultivos (biomasa y/o forrajeras) y/o para la recarga de acuíferos por retornos de riego. El uso de especies arbóreas de rápido crecimiento, como chopos y sauces, con gran requerimiento hídrico y cuyas raíces son tolerantes a condiciones anaerobias permite la aplicación de importantes volúmenes de agua residual, mejorando además la capacidad de eliminación de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) en el agua.

Aunque la mayoría de las experiencias de utilización de los Filtros Verdes Forestales se ha enfocado al tratamiento de aguas residuales urbanas, el empleo de estos sistemas para el tratamiento de otros tipos de efluentes, como vertidos industriales aislados, lixiviados de vertederos o vertidos de origen ganadero ha sido también evaluado con éxito (De Bustamante, 1990; De Miguel et al., 2014; Duggan, 2005; FalcónCardona et al., 2015).

Una de las actividades industriales que generan un volumen considerable de aguas residuales es la de las industrias cerveceras. Así para la fabricación de 1L de cerveza,

se generan entre 2 y 8 L de residuos líquidos, con unas concentraciones muy altas de materia orgánica, sólidos en suspensión, nutrientes y conductividad eléctrica. Actualmente y de forma genérica, estos residuos se tratan en depuradoras convencionales para asimilarlos a urbanos y verterlos a las redes de saneamiento municipales o a cauces de ríos, lo que supone un alto coste energético y de reactivos químicos.

Por otro lado, la producción de biomasa como materia prima de interés para la Bioeconomía, tanto para la obtención de bioenergía, como para la obtención de bioproductos ligados a las plataformas de la lignina o la celulosa (química verde), es de máximo interés en toda Europa (EU, 2018). Entre los cultivos que mayor interés despiertan a escala global para proporcionar biomasa se encuentran los lignocelulósicos leñosos que se desarrollan en turnos cortos bajo diferentes ciclos de manejo del rebrote (Short Rotation Coppice -SRC- en la nomenclatura anglosajona), mostrando las Salicáceas una alta adecuación para este tipo de producción (IPC-FAO, 2016).

En ambientes mediterráneos con marcada sequía estival, como es el caso de la mayor parte de nuestro territorio, el cultivo exige la aplicación de riego. Esta exigencia es vista frecuentemente como una debilidad para su desarrollo, al suponer para muchos un conflicto en relación con la utilización de recursos hídricos deseables para otros usos. En este contexto, la utilización de aguas residuales para la producción de biomasa constituye en sí misma una fortaleza, al evitar la utilización de aguas limpias.

Así, consideramos que este proyecto supone una solución integrada a todos estos problemas explicados, ya que los Filtros Verdes se presentan como un sistema capaz de tratar las aguas residuales o regeneradas, de producir biomasa sin consumir un recurso de agua limpia, sino revalorizando un residuo, especialmente en época de sequías, de devolver parte del agua consumida para la producción de la cerveza al medio natural mediante la recarga de acuíferos y de revalorizar un terreno industrial sin uso útil mediante la potenciación de sus servicios ecosistémicos.

Sección 5

CRITERIO 2: B.1 PROCESOS Y RECURSOS DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS

Desde el punto de vista de los procesos y los recursos en la gestión de proyectos, en este proyecto concreto, a pesar de estar ejecutado por diversas entidades, la gestión de la principal fuente de financiación, destinada a cubrir los gastos derivados de la investigación, está centralizada a través de uno de los centros de investigación: la Fundación iMdea Agua.

De este modo, el centro de coste asociado a este proyecto lo controla una única entidad, promoviendo así la comunicación entre las diversas entidades a la hora de hacer efectiva una decisión que requiera de compra de equipos, material fungible o cualquier otra necesidad derivada de la actividad del proyecto. Del mismo modo, esto imposibilita que por falta de comunicación y coordinación entre las partes se den desajustes presupuestarios que puedan desencadenar en problemas con la entidad financiadora o con terceros.

En la fundación iMdea Agua, la gestión de estos centros de coste se realiza mediante la herramienta de gestión integral de proyectos IDINET, orientada a la I+D+i. De este modo, cualquier adquisición o proceso que se necesite realizar y que requiera aprobación explícita de los departamentos de Gerencia o Gestión Económica se realiza mediante esta herramienta, y requiere aprobación constante del equipo de trabajo, del investigador principal y de la gerencia y personal de administración del centro.

Adicionalmente a estos controles continuos implementados por el mismo centro de investigación, este proyecto, al estar englobado en la convocatoria de ayudas para la realización de doctorados industriales en la Comunidad de Madrid, está sujeto a un control tanto técnico como económico anual por parte de la misma comunidad de Madrid. Así, a través de la aplicación Quadrivium, tanto el entorno empresarial como el entorno académico deben rellenar anualmente la información correspondiente a la utilización de los recursos económicos puestos a su disposición por la entidad financiadora, para su posterior evaluación y validación por la misma.

Dentro de la serie de gastos contemplados dentro de la ejecución del proyecto, como pueden ser adquisición de material fungible, adquisición de equipos inventariables, formación y/o viajes, se incluye también una partida para contratación de personal en el entorno académico-investigador. En este caso proyecto, esa partida presupuestaria ha sido puesta en práctica mediante la nueva contratación de un técnico de laboratorio, destinado a la recepción y análisis de las muestras de suelo y agua que se han tomado durante la ejecución del proyecto, así como para la elaboración de informes derivados de dichos análisis.

Sección 5

CRITERIO 3: C.4 RESULTADOS E IMPACTO EN EL CONTEXTO DEL PROYECTO

Los resultados obtenidos de las actuaciones llevadas a cabo durante este proyecto se muestras prometedores y satisfactorios, así como bien alineados con los objetivos planteados inicialmente.

El primero de los resultados más llamativos del proyecto es el derivado del hito 2 del proyecto, la revisión bibliográfica del estado del arte de los Filtros Verdes en el mundo. Durante los primeros estadios del proyecto, se realizaron exhaustivas búsquedas bibliográficas tanto en revistas internacionales de alto impacto y especializadas en la investigación y desarrollo enfocados al tratamiento alternativo de aguas residuales y la fitorremediación como en fuentes de "literatura gris" acerca de la utilización de Filtros Verdes a lo largo del mundo.

La búsqueda se centró en determinar los parámetros clave en el funcionamiento de este tipo de sistemas, así como los procesos protagonistas en la atenuación de la carga contaminante en el agua residual, y las buenas prácticas en la gestión de filtros verdes. El resultado ha sido la publicación en la revista *Journal of Environmental Management* del artículo *Attenuation Mechanisms and Key Parameters to Enhance Treatment Performance in Vegetation Filters: A Review*. Lo aprendido durante la realización de dicho artículo permitió tener un conocimiento más profundo de los filtros verdes, lo que se ha podido aplicar a las acciones posteriores.

Los ensayos de selección de material vegetal realizados a lo largo de la duración del proyecto han permitido, tal y como se ha mencionado anteriormente, estimar, para cada uno de los genotipos testados (24 en el caso de los ensayos hidropónicos y 7 en el caso de los ensayos en macetas), sus índices de tolerancia al agua residual de la industria cervecera, comparando su crecimiento, producción de biomasa y actividad ecofisiológica con las que han mostrado en los grupos de control (creciendo con agua de red en lugar de con agua residual).

Del mismo modo, también se han podido observar y confirmar diferentes tasas de crecimiento, producción y actividad fisiológica entre los genotipos a igualdad de condiciones (tanto en el grupo de control como en el grupo de estudio).

La unión de ambos resultados nos brinda la oportunidad de hacer una selección en función de las categorías que más nos interesen, para concluir qué genotipos presentan mayor aptitud para ser usados en una plantación real.

En nuestro caso, dada la variabilidad de los resultados obtenidos, el interés en testar con más detalle y en condiciones reales el comportamiento de cada genotipo, y la valoración de las ventajas que ofrece una plantación policlonal desde el punto de vista de la biodiversidad, se tomó la decisión de seleccionar diferentes genotipos, no únicamente uno.

Por otro lado, estos estudios, junto a las demás acciones llevadas a cabo en el proyecto, han permitido también presentar comunicaciones en formato presentación oral y tipo póster en congresos nacionales e internacionales, como pueden ser la comunicación *POPLAR VEGETATION FILTERS FOR THE BEER INDUSTRY: WASTEWATER TREATMENT COMBINED WITH BIOMASS PRODUCTION – Preliminary results* presentada en formato ponencia oral en el *XI congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua* o la comunicación *¿Reutilizar Aguas Residuales de la producción de Cerveza para producir Biomasa, generar Biodiversidad y compensar la Huella de Carbono? FILTROS VERDES FORESTALES*, presentada en formato poster en el Congreso Nacional del Medio Ambiente 2020 (CONAMA 2020).

Adicionalmente, el haber ejecutado de forma efectiva la implementación del Filtro Verde piloto en las instalaciones de la cervecera, así como la instalación de los sistemas de control de nivel y calidad de las aguas subterráneas, nos permite confirmar que las acciones que se han llevado a cabo durante esta fase del proyecto han derivado en una revalorización de los servicios ecosistémicos, una regeneración de parte del agua residual generado en la fábrica, una producción de biomasa y una recarga de los acuíferos infrayacentes a la plantación con un agua regenerada.

Esto supone, además, tanto a nivel de investigación como a nivel empresarial, un paso pionero en la investigación de este tipo de sistemas, pues no se ha encontrado en la bibliografía ninguna mención ni experiencia previa en la utilización de los Filtros Verdes en la industria cervecera.

Sección 5

CRITERIO 4: C.3 SATISFACCIÓN DE OTROS INTERESADOS

La dinámica de trabajo llevada a cabo por el equipo ejecutor del proyecto y las conversaciones mantenidas con el stakeholder principal, Heineken España, SA., han resultado satisfactorias y beneficiosas para este último.

La inversión realizada por parte del equipo de trabajo, especialmente de la entidad financiadora mayoritaria, ha permitido que Heineken España, SA. se beneficie de los resultados obtenidos sin necesidad de realizar por sí mismo tan importante inversión.

Además, dadas las características y las diversas ventajas económicas y medioambientales que los Filtros Verdes han demostrado presentar, el principal stakeholder del proyecto está viendo una revalorización de sus terrenos y sus instalaciones, además de estar contribuyendo activamente a mejorar los servicios ecosistémicos de la zona, como parte de su estrategia de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

Del mismo modo, su colaboración en este proyecto, les ha permitido posicionarse como pioneros en la implementación de estas soluciones basadas en la naturaleza dentro de su industria, potenciando aún más su estrategia de circularidad del agua.

Las acciones llevadas a cabo durante el proyecto, junto con este importante componente vanguardista (aplicable al proyecto en su conjunto), también hay tenido un considerable impacto mediático, derivando en diversas notas de prensa en diferentes medios, tanto generalistas como especializados:

- https://gacetinmadrid.com/2021/06/16/madrid-financia-un-proyecto-pionero-para-depurar-aguas-residuales-de-la-industria-cervecera/
- https://okdiario.com/naturaleza/eulen-heineken-desarrollan-primer-filtro-verde-forestal-mundial-industria-cervecera-5712109
- https://www.europapress.es/economia/noticia-eulen-heineken-espana-desarrollan-primer-filtro-verde-forestal-mundial-industria-cervecera-20200605104035.html
- https://www.indisa.es/fabricantes/heineken-implanta-primer-filtro-verde-forestal-cervecero-mundo
- https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/el-grupo-eulen-imdea-agua-e-inia-investigan-el-pri-8ps5V?fbclid=IwAR3ocf8-NFPd1a_dYKy4cp60uuRd4TeHLtytIoLHOPC7XHzwXa_dEbN5lVc
- https://www.retema.es/noticia/el-grupo-eulen-imdea-agua-e-inia-investigan-el-primer-filtro-verde-forestal-en-la-ind-Tf8RP
- https://www.eleconomista.es/retail/noticias/11561971/01/22/Heineken-reutiliza-los-productos-derivados-de-la-cerveza-para-abonar-el-campo-y-alimentar-al-ganado.html
- https://www.corresponsables.com/actualidad/ods12-heineken-economia-circular-derivados-cerveza-campo-ganado
- https://www.alimarket.es/envase/noticia/343780/heineken-espana-continua-avanzando-en-su-apuesta-por-la-economia-circular
- https://www.revistainforetail.com/noticiadet/heineken-fomenta-la-economia-circular-en-espana/dd474062882c7ff916018a8720547243

- https://www.foodretail.es/fabricantes/heineken-espana-economia-circular-cerveza-abonos-ganado_0_1619838041.html
- https://financialfood.es/heineken-espana-se-compromete-a-ser-cero-residuos-en-2022/
- https://www.comunidad.madrid/noticias/2021/06/16/financiamos-proyecto-pionero-depurar-aguas-residuales-industria-cervecera

De forma adicional, la satisfacción general de Heineken España, SA. con el equipo ejecutor y con el proyecto ha desembocado en la solicitud, esta vez con ellos como entidad participante principal, de un nuevo proyecto de investigación, englobado en la convocatoria de Proyectos en Colaboración Público-Privada 2021. En este nuevo proyecto, se buscará continuar con la investigación que se ha venido haciendo en este proyecto, al tiempo que se profundiza en la implementación de los filtros Verdes dentro de la estrategia de circularidad del agua y de sostenibilidad de Heineken España, SA., estudiando su aplicación e incorporación a los sistemas de depuración más convencionales que actualmente vienen utilizando para tratar sus aguas residuales.

Adicionalmente, es también destacable que hay otros posibles interesados dentro de la industria cervecera, cuyas instalaciones se sitúan en contextos climatológicos similares al aquí estudiado y para los que, si bien los resultados aquí obtenidos pueden necesitar matizarse, también les pueden resultar muy útiles, como punto de partida para posibles proyectos de transición e implementación de estos sistemas en sus propias casuísticas concretas.

Sección 5

CRITERIO 5: A.3. EQUIPO DE PROYECTO, ALIANZAS Y PROVEEDORES.

iMdea Agua

La línea de investigación en Filtros Verdes es una de las principales actividades del equipo *Soil and Water Quality in the* Environment de IMDEA AGUA. Se comenzó trabajando en los FVFs de Villarrubia de los Ojos y Damiel, para continuar haciéndolo en los implantados en la Comunidad de Madrid y gestionados por el Canal de Isabel II en los municipios de Redueña, Torremocha de Jarama, Patones y Talamanca del Jarama.

A partir del año 2006 y en el marco del Programa CONSOLIDER-TRAGUA, se comenzaron estudios relacionados con la capacidad de distintos tipos de tecnologías (extensivas e intensivas) de aplicación en pequeñas zonas urbanas, respecto a la reutilización de sus aguas en distintos usos, controlándose principalmente los parámetros de calidad establecidos en el RD 1620/2007. Fue cuando se comenzó a trabajar estudiando tres sistemas de FV: el primer sistema era un filtro verde extensivo de *Eucalyptus camaldulensis* y *Populus alba*, con una extensión de 4.000 m2 que se regaba con agua procedente de un lagunaje; el segundo sistema constaba de seis parcelas de 1.200 m2, con *Jatropha curcas* regada tres de ellas con agua subterránea y otras tres con agua procedente de un tratamiento de aireación prolongada y pasada por un filtro de arena, y un tercer sistema en el que se riega un filtro verde intensivo con una superficie de 60 m2 y regado con agua procedente de un tanque *imhoff*.

En el último proyecto financiado por el MINECO, se evaluaron los efectos del sistema regenerador planta-suelo-Zona No Saturada sobre la calidad de aguas residuales aplicadas al terreno en Carrión de los Céspedes (Sevilla) en dos situaciones diferentes: un caso de aguas domésticas utilizadas para el riego de cultivos forestales (Filtro Verde Intensivo) y otro de aguas procedentes de un tratamiento secundario para el riego de cultivos bioenergéticos (girasoles).

Además, se han valorado los efectos de la aplicación de aguas residuales en términos de producción vegetal, optimizándose los sistemas de riego. Los resultados obtenidos indicaron que estos sistemas presentan un gran potencial en la reutilización y regeneración de aguas residuales (con una gran capacidad de retención de sustancias no deseadas en las aguas subterráneas).

iMdea Agua cuenta con una potente infraestructura de investigación, con plantas piloto, laboratorio de aguas, laboratorio de suelos, unidad de espectrometría de masas parcelas experimentales y diversos equipos de campo y de laboratorio para realizar muestreos planificados y ensayos en condiciones controladas.

INIA-CSIC

Centro de Investigación Forestal (CIFOR) del Instituto Nacional de Tecnología Agraria y Alimentaria – Consejo Superior de Investigaciones Científicas (INIA-CSIC).

La tarea a desarrollar por INIA-CIFOR se fundamenta en la dilatada experiencia investigadora en el ámbito forestal de los participantes y en concreto en relación a los *Cultivos Forestales*, siendo un grupo referente en España y que colabora con otras instituciones internacionales que trabajan en la misma materia. El cultivo de especies e híbridos de *Populus s*pp. viene siendo objeto de interés desde los años 60, en buena medida derivado del mandato de la Comisión Internacional del Álamo, órgano estatutario de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), al que nuestro país pertenece a través de la Comisión Nacional del Chopo.

Se ha trabajado desde diferentes aproximaciones, que abarcaban tanto aspectos silvícolas como de conservación de recursos genéticos. Para ello, se ha dispuesto de una Red de Ensayos que ha posibilitado realizar una adecuada selección de material vegetal bajo distintas condiciones edafoclimáticas, tanto en relación a su caracterización a nivel productivo como por su interés medioambiental. En los últimos años, el interés de estos cultivos se ha focalizado en la producción de *biomasa lignocelulósica* con la que contribuir al desarrollo de la bioeconomía así como en relación a la cuantificación de los servicios ambientales asociados a su presencia.

Además de sus parcelas experimentales, INIA cuenta con una serie de laboratorios y talleres de procesado y análisis de muestras vegetales y de una serie de invernaderos con sistema de climatización en las que realizar ensayos en condiciones controladas.

Grupo EULEN

El Grupo EULEN cuenta con un Departamento de Medio Ambiente con más de 70 técnicos de diversas ramas agronómicas, forestales y medioambientales, además de un Departamento de I+D que canaliza la innovación y mejora de procesos y servicios que prestan a sus clientes. Durante más de 50 años están desarrollando proyectos de reforestación y tratamientos silvícolas por todo el territorio nacional, lo que hace del Grupo Eulen una de las empresas de referencia en el sector forestal. En el Departamento de Medio Ambiente de Eulen se cuenta personal con una amplia experiencia en proyectos de gestión y/o investigación en áreas de mejora ambiental.

Complementariamente, Grupo Eulen dispone de un equipo de más de 60 técnicos de campo apoyado en recursos mecánicos en propiedad para el desarrollo de las obras, incluyendo flota de vehículos tanto utilitarios como de transporte y realización de trabajo mecánico. Además, Eulen cuenta con una oficina de proyectos multidisciplinar con personal certificado por el *Project Management Institute* como garantía de calidad y trazabilidad en la realización de proyectos.

Sección 6 **Problemas y desafíos**

PROBLEMA O DESAFIO 1: A.3. EQUIPO DE PROYECTO, ALIANZAS Y PROVEEDORES

El primero de los desafíos generales más importantes a los que el equipo de ejecución de este proyecto ha tenido que enfrentarse surgió ya desde el planteamiento del proyecto en sí mismo: La necesidad de encontrar un Stakeholder con interés en el proyecto y con capacidad material para colaborar en el mismo.

Desde el planteamiento inicial del proyecto, si se busca testar la implementación de los Filtros Verdes como una solución basada en la naturaleza para el tratamiento o la reutilización de las aguas residuales provenientes de la industria cervecera, se hace imprescindible disponer de un colaborador externo que pertenezca a dicho sector y pueda facilitar el agua necesaria.

Del mismo modo, cuando se busca evaluar la eficacia y la eficiencia de estos sistemas, es necesario tener la posibilidad de instalar una plantación piloto a la que aplicar, mediante el consiguiente sistema de riego, las aguas residuales.

En este caso concreto, el equipo del proyecto pudo contactar y tener diversas conversaciones con Heineken España, SA., haciendo posible así encontrar un stakeholder que cumpliera ambas condiciones.

Por un lado, Heineken España, SA. vio una oportunidad de seguir apostando por la sostenibilidad y por la circularidad del agua, dos puntos fundamentales en sus políticas de empresa actuales, de modo que la posibilidad de ser colaboradores en el proyecto despertó su interés.

Por otro lado, las instalaciones de Heineken España, SA. ubicadas en San Sebastián de los Reyes han resultado ser muy adecuadas para la implementación de una plantación a escala piloto, pues no sólo contaban con la parcela correspondiente a su planta de producción propiamente dicha, sino que cuentan con una segunda parcela en la que actualmente se ubica su propia Estación Depuradora de Aguas Residuales, con un completo sistema de tratamiento convencional dedicado al tratamiento exclusivo de sus aguas de proceso.

Esta segunda parcela, además, presenta grandes dimensiones de terreno libre de uso actualmente, lo que permitió la instalación de la plantación piloto, e incluso su escalamiento y consecuente ampliación posterior en caso de interés.

Adicionalmente, la ubicación de ambas parcelas, y en especial la de aquella en la que se ubican tanto la EDAR de Heineken como la plantación piloto, presenta unas buenas condiciones hidrogeológicas para la implementación del filtro verde. En concreto, se disponen sobre una terraza baja del sistema fluvial del río Jarama, asentándose así sobre materiales cuaternarios poco consolidados y permeables. Además, al estar situada tan cerca del propio cauce del río Jarama, se goza de la presencia de un acuífero subyacente fácilmente accesible y monitorizable.

Sección 6

PROBLEMA O DESAFIO 2: B.1. PROCESOS DE GESTIÓN DE PROYECTOS Y RECURSOS

El segundo de los principales problemas asociados a las tareas llevadas a cabo durante esta primera fase del proyecto fue el derivado de las cuestiones logísticas para llevar a cabo los ensayos en condiciones controladas.

Una vez se planteó el diseño experimental de los ensayos de selección del material vegetal a realizar previamente a la implementación del Filtro Verde piloto, surgió la problemática de dónde llevarlos a cabo y cómo disponer del material y el agua necesarios.

Por un lado, era imprescindible poder obtener unos resultados que pudieran ser representativos, extrapolables y escalables a la casuística real del stakeholder del proyecto. Del mismo modo, también se hacía de vital importancia, dado el carácter de investigación del proyecto (estando además ligado a la realización de una tesis doctoral), que las condiciones de los ensayos estuvieran lo más controladas posible, con el fin de cumplir con los estándares más estrictos que se exigen en los entornos académicos y de investigación.

Por otro lado, esto condicionaba la disponibilidad del agua, y se hacía necesario encontrar un método de abastecimiento de la misma durante el tiempo que duraran los diferentes ensayos.

Así, se determinó que la mejor opción era llevar a cabo estos ensayos en las instalaciones ubicadas en el INIA-CSIC, al contar con una serie de invernaderos con condiciones de temperatura, humedad y luminiscencia controladas y programables. Además, en dichas instalaciones también hay personal incluido en el equipo de ejecución del proyecto, por lo que se podría llevar un exhaustivo control de los ensayos, asegurando que nada fallara.

Por consiguiente, para solventar la necesidad de abastecimiento de agua, se pusieron en marcha varios mecanismos:

- Se contactó con los proveedores habituales del entorno empresarial del proyecto (Eulen, SA.) para el diseño y la adquisición de un remolque ligero con un depósito opaco acoplado para el almacenamiento de aguas, y totalmente equipado y habilitado con una bomba de trasvase de gasolina BRP100, dedicada a rellenar el depósito del remolque en las instalaciones de Heineken España, SA., su transporte hasta las de INIA-CSIC y, una vez allí, su vaciado en otros depósitos fijos, con una capacidad suficiente como para cubrir las necesidades hídricas de las plantas de los ensayos entre cada recogida de aguas y la siguiente.

- Con el fin de poder disminuir al mínimo y espaciar lo máximo posible los diferentes viajes de recogida de aguas, se adquirieron una serie de bombas de remoción de 5W para su instalación en el interior de cada una de las cubetas de cultivo hidropónico. Su misión era mantener el agua en movimiento y relativamente oxigenada, para prolongar así su vida útil y evitar problemas de estancamiento.
- Desde Eulen, SA. se pusieron a disposición del proyecto tanto medios vehiculares de transporte (tanto utilitarios habilitados al transporte del remolque como de transporte de mercancías) como medios humanos para el apoyo en las labores de muestreo, transporte y recambio de aguas.

La adquisición del remolque necesario, así como de las bombas de remoción y del resto de materiales necesarios para la realización de los ensayos (incluyendo bidones, cubetas, fertilizantes, sistemas de riego, etc.) se gestionaron a través del centro de coste centralizado en iMdea Agua. De este modo, la gestión de los procesos y de la logística ligada a los mismos fue un nuevo ejemplo de la coordinación, comunicación y compenetración de este equipo de trabajo.

Sección 7 **Lecciones aprendidas**

LECCIÓN APRENDIDA: C.4. RESULTADOS DEL PROYECTO E IMPACTO EN EL ENTORNO

Una vez llegado el momento de la implementación de la plantación a escala piloto en las instalaciones de Heineken España, SA., fue necesario el diseño detallado de la misma, teniendo en cuenta todas las consideraciones y aspectos transversales que pudieran impactar en el buen desarrollo de la plantación.

Por cuestiones ajenas a la organización del equipo de ejecución del proyecto, el proceso de preparación del terreno para la implementación de la plantación no pudo prepararse con toda la antelación necesaria, y se realizó de manera muy próxima a la fecha de plantación del material vegetal en forma de estaquillas de 30 cm.

Esto, unido a las condiciones del suelo industrial antropizado, con restos de bloques y aglomerados de diversos tamaños de materiales de construcción varios, desembocó en que las condiciones físicas del suelo no han sido las óptimas para la correcta plantación y el apropiado desarrollo del material vegetal, si bien los resultados en su conjunto han sido satisfactorios.

Por otro lado, la gran abundancia de lepóridos en la zona hizo necesario desde el principio plantear la instalación de un vallado perimetral alrededor de la plantación, compuesto por una malla cinegética de simple torsión combinada con una malla de triple torsión semienterrada, de modo que dificultase o imposibilitase el acceso por debajo de la misma de los animales.

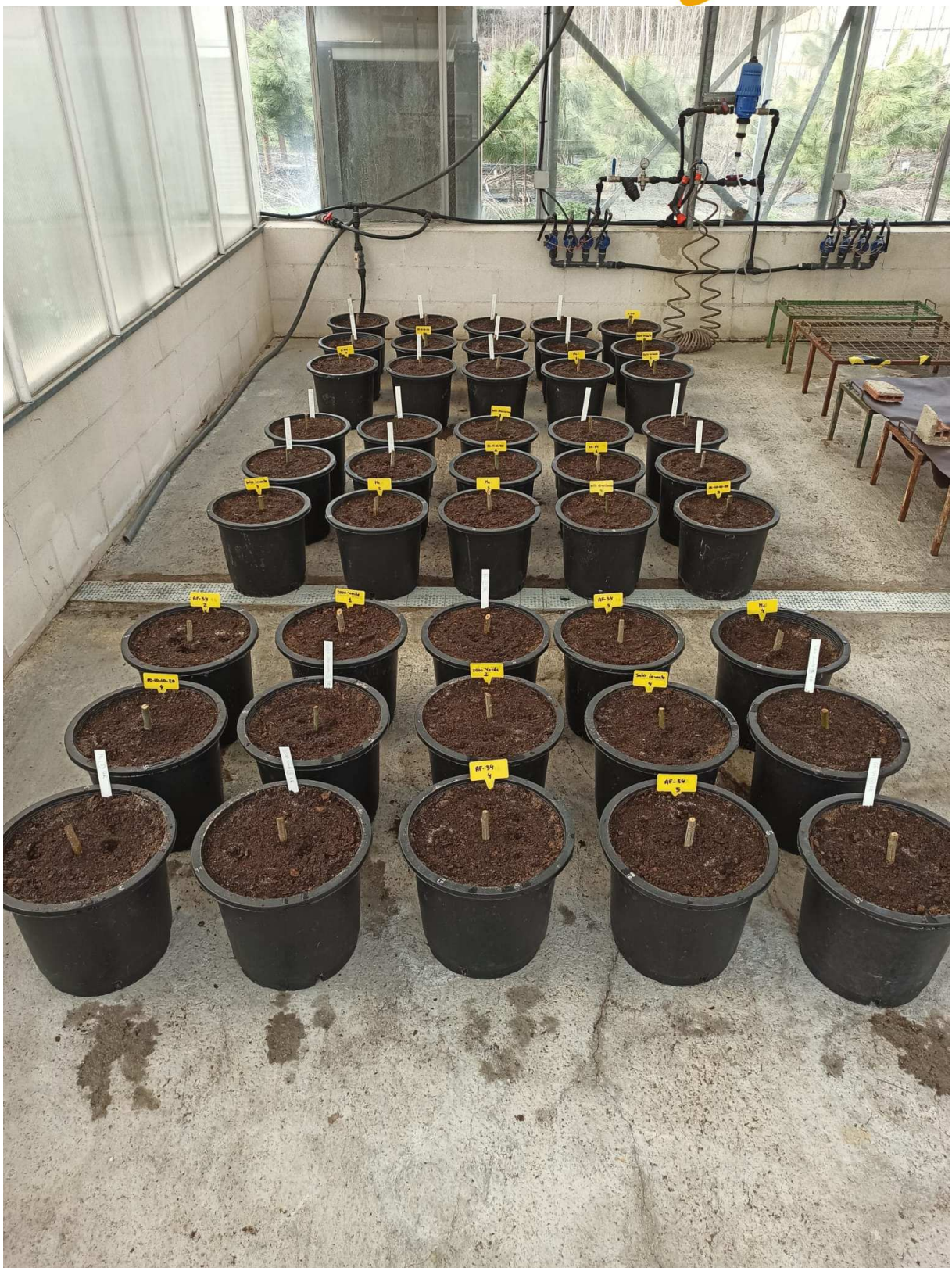
Este vallado, además de conllevar un encarecimiento de la plantación, también supone un impacto visual innegable en el paisaje, aun siendo una necesidad.

A partir de estas lecciones aprendidas, en futuros proyectos se pone de manifiesto la importancia de hacer la preparación del terreno con la suficiente antelación y profundidad, así como realizarlas en la fecha apropiada, de modo que el atempero de los meses fríos y húmedos permita que el terreno quede con las características adecuadas para la correcta implementación del material vegetal.

Del mismo modo, se podrían contemplar opciones alternativas a un vallado tan visualmente llamativo, quizá implementando densidades de plantación menores, que permitan la instalación de las estaquillas con mallas de sombreo y protección individuales con menor impacto visual, típicamente empleados en plantaciones forestales. No obstante, la viabilidad de estos sistemas o la necesidad del vallado tradicional es algo que deberá estudiarse probablemente en cada caso particular.

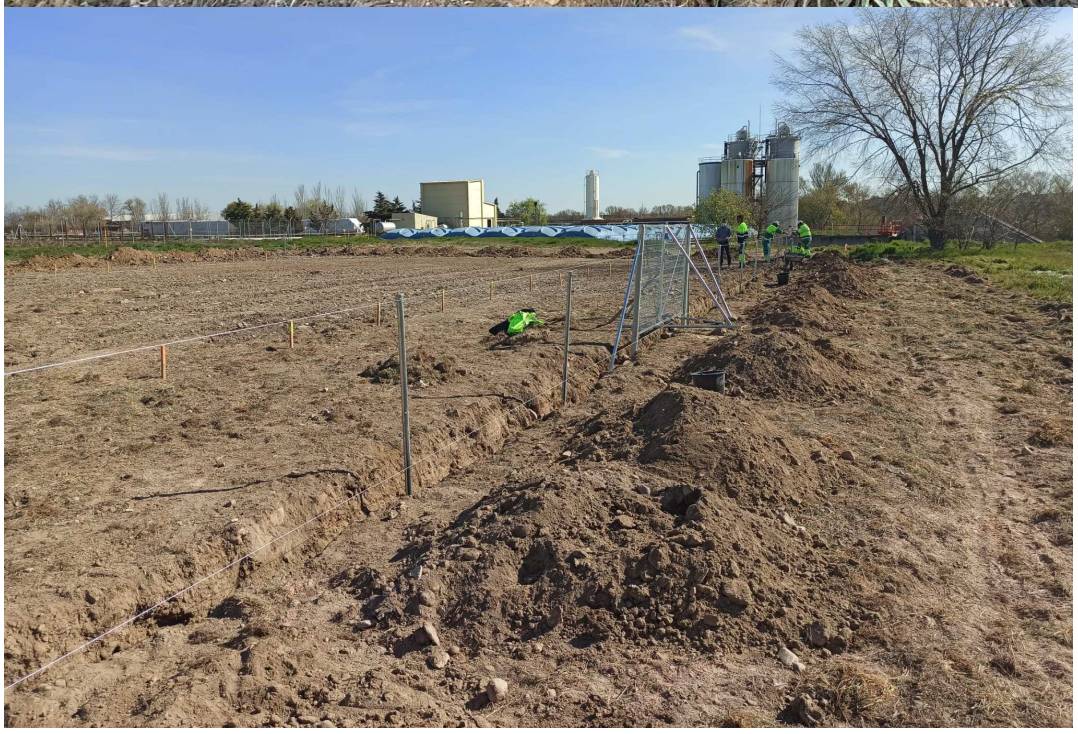
Sección 8 **Anexos**

Anexo 1: Evidencia que soporta los tres criterios obligatorios y los dos elegidos del Modelo de Excelencia en Proyectos (PEM) de IPMA



Sección 8 **Anexos**

Anexo 2: Evidencia que soporta la lección aprendida



Sección 9 **Declaración del solicitante**

Acepto, en nombre del equipo del proyecto y de nuestra organización, observar las reglas del proceso de solicitud del Premio AEIPRO a la Excelencia en Proyectos y reconocer como definitivas las decisiones del jurado del Premio.

Confirmo que esta solicitud cumple con los requisitos del Premio AEIPRO a la Excelencia en Proyectos y que toda la información proporcionada en la solicitud presentada y en la documentación aportada es verdadera y correcta. Acepto las cláusulas de privacidad y protección de datos establecidas por AEIPRO en cumplimiento de la Ley Orgánica de Protección de Datos.

Raúl J. Pradana Yuste

Madrid / 03/06/2022

EULEN, S.A.
Valle de Tobalina, 56
Tel. 634 00 00
28021 MADRID