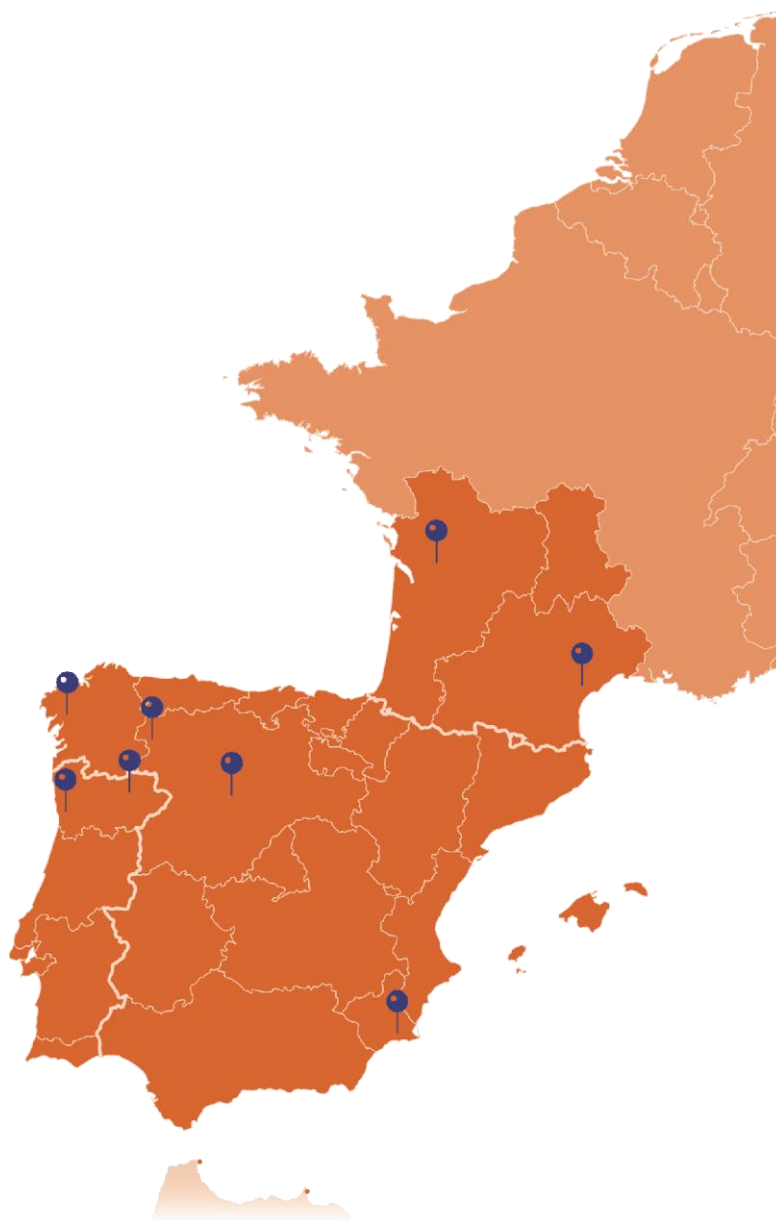




E 2.1.1

Memoria de co-creación
del piloto de
recuperación de sales de
P y de su posterior
aplicación



Cooperar está en tus manos



INFORMACIÓN DEL PROYECTO

<i>Título del proyecto</i>	Estrategia transnacional de recuperación de fósforo y su valorización como fertilizante
<i>Acrónimo</i>	ENDORSE
<i>Convocatoria</i>	Interreg Sudoe VI-B 2021-2027
<i>Fecha de inicio - fin</i>	01/06/2025 – 31/05/2028
<i>Beneficiario principal</i>	CETAQUA

INFORMACIÓN DEL INFORME

<i>Nº del Entregable</i>	E 2.1.1
<i>Nombre del Entregable</i>	Memoria de cocreación del piloto de recuperación de sales de P y de su posterior aplicación
<i>Beneficiario principal</i>	B3 CETENMA
<i>Beneficiarios participantes</i>	B4 IPB, B6 Fertil'Innov, B7 CMDS
<i>Grupo de trabajo</i>	GT2
<i>Actividad</i>	A 2.1 "Co-creación en el diseño de pilotos"
<i>Líder del GT</i>	B3 CETENMA
<i>Fecha de publicación</i>	30 June 2026
<i>Resumen</i>	El entregable E 2.1.1 recoge los resultados del proceso de co-creación desarrollado en la actividad A2.1 de ENDORSE, orientado a ajustar el diseño de los pilotos de recuperación de sales de fósforo en EDAR y su posterior aplicación agrícola. El proceso se estructuró en dos rondas de consulta en el espacio SUDOE, con participación de actores agronómicos, gestores de EDAR, productores de fertilizantes y otros agentes de la cadena de valor del P recuperado.

Las consultas permitieron identificar dos rutas principales de validación: una basada en productos líquidos, solubles o dispersables compatibles con fertirrigación, y otra basada en productos sólidos, granulados o peletizados para aplicación directa al suelo. Los stakeholders destacaron como aspectos críticos la biodisponibilidad del P, la compatibilidad con los sistemas de aplicación, la selección adecuada de suelos y cultivos, la seguridad del producto, el control de contaminantes, la viabilidad económica y la aceptación regulatoria.

El entregable concluye con recomendaciones para diseñar pilotos robustos, comparables y relevantes para la futura valorización agrícola de las sales de P recuperadas.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	4
1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO ENDORSE	4
1.2 OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD 2.1	5
2 METODOLOGÍA	5
2.1 EL PUNTO DE PARTIDA: LA METODOLOGÍA DELPHI	6
2.2 EL MÉTODO DE CO-CREACIÓN ENDORSE	6
2.3 LA CO-CREACIÓN DE PILOTOS	9
2.3.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS	9
2.3.2 CRONOLOGÍA	10
2.3.3 DOCUMENTOS MARCO DE CONSULTAS / PREGUNTAS	11
3 RESULTADOS	14
3.1 PRIMERA RONDA DE SESIONES DE CO-CREACIÓN: EXPECTATIVAS Y RECOMENDACIONES PARA LOS DoEs	14
3.1.1 CONSULTA DE ACTORES ESPAÑOLES	15
3.1.2 CONSULTA DE ACTORES FRANCESES	18
3.1.3 CONSULTA DE ACTORES PORTUGUESES	21
3.1.4 RESUMEN DE RESULTADOS: DOS ESCENARIOS	24
3.2 SEGUNDA RONDA DE SESIONES DE CO-CREACIÓN: VALIDACIÓN DE ESCENARIOS Y PROPUESTAS ADICIONALES	27
3.2.1 CONSULTA DE ACTORES ESPAÑOLES	27
3.2.2 CONSULTA DE ACTORES FRANCESES	30
3.2.3 CONSULTA DE ACTORES PORTUGUESES	32
3.2.4 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS ESCENARIOS REFINADOS	35
4 RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE EXPERIMENTO DE LAS A2.2, A2.3 Y A2.4	36
4.1 PILOTO TECNOLÓGICO DE RECUPERACIÓN DE SALES DE P (A2.2)	37
4.2 PILOTOS DE APLICACIÓN DE SALES DE P EN CAMPO Y EN INVERNADERO (A2.3 Y A2.4)	37
5 CONCLUSIONES	40
6 AGRADECIMIENTOS	42
7 BIBLIOGRAFÍA	43

1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO ENDORSE

El proyecto ENDORSE tiene como objetivos pilotar la **recuperación** de sales de fósforo (P) de aguas residuales industriales y urbanas y su **aplicación en agricultura** en el territorio SUDOE (Suroeste de Europa: España, Portugal, regiones francesas de Nueva Aquitania, Occitania, Auvernia). La recuperación y utilización de sales de P tiene el doble objetivo de:

1. Reducir la concentración de fosfatos en efluentes de estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR).
2. Limitar la dependencia de las importaciones de sales de P, un nutriente imprescindible para garantizar la seguridad alimentaria, pero no disponemos en Europa de suficientes reservas de roca fosfórica para responder a la creciente demanda.

Además, se creará una **estrategia transnacional**, validada con los pilotos demostrativos ya mencionados y procesos de co-creación, que favorecerá la modernización y atractivo del sector agrícola, convirtiendo al espacio SUDOE en un espacio inteligente, novedoso, competitivo y sostenible, desde el punto de vista agronómico y circular.

El esquema de trabajo del proyecto es resumido en la Ilustración 1.



Ilustración 1. Esquema de trabajo del proyecto Interreg SUDOE ENDORSE

Las distintas acciones pilotos se desarrollarán en Castilla y León y Galicia (ES), en la región del Norte de Portugal (PT), así como en Occitania y Nueva Aquitania (FR). Las consultas a actores locales en los procesos de co-creación también tocarán los territorios de la Región de Murcia y Galicia (ES) y Occitania (FR).

1.2 OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD 2.1

Para asegurar la relevancia y peso estratégico de los resultados del proyecto ENDORSE, tanto el diseño de los pilotos de recuperación como la metodología de aplicación de las sales de P recuperadas han sido co-creados abriendo un diálogo con distintos actores locales. El objetivo era la alineación con las demandas específicas de los gestores de residuos ricos en P y de las tierras de cultivo de cada región del espacio SUDOE.

En el marco de la actividad 2.1 “Co-creación en el diseño de pilotos” se han entonces recopilado las necesidades de los actores clave en la cadena del fósforo (P) *producción – uso/aplicación*. Esto se ha hecho a través de una serie de encuentros y entrevistas. La cronología, objetivos y lista de participantes a estas sesiones de co-creación se exponen en el párrafo “2.3. METODOLOGÍA DE CO-CREACIÓN DE PILOTOS”.

En este entregable se presentan las conclusiones de cada sesión de co-creación, con los pasos a seguir para que los pilotos sean **técnicamente sólidos, económicamente viables, socialmente aceptables, y adaptados al contexto real**.

2 METODOLOGÍA

En la primera fase de ejecución de ENDORSE (fase 1, véase Ilustración 1) se ha diseñado una metodología de co-creación a emplear en los diferentes procesos de participación previstos a lo largo de las fases 1, 2 y 3 de ejecución del proyecto.

Esa metodología, a la cual nos referiremos como el “**método de co-creación ENDORSE**”, es una adaptación de la metodología Delphi y se describe en los siguientes párrafos.

2.1 EL PUNTO DE PARTIDA: LA METODOLOGÍA DELPHI

La metodología de co-creación ENDORSE ha sido definida utilizando como punto de partida la metodología Delphi, que fue creada en la década de 1950 para alcanzar consenso o elaborar previsiones sobre temas específicos mediante la **interacción iterativa con un panel de expertos**. [1] El método Delphi fue creado originalmente para prever escenarios, pero en las últimas décadas se ha adaptado y aplicado con éxito en otros contextos, como la co-creación de planes de acción y políticas, [2] [3], [4] siendo una opción metodológica relevante para los objetivos del proyecto ENDORSE.

Un proceso de consulta con metodología Delphi se estructura siguiendo los siguientes pasos:

1. Identificar un problema y definir el/los tema(s) de discusión, así como las preguntas que se abordarán.
2. Seleccionar un panel de expertos al que se someterán las consultas o el debate.
3. Iniciar las rondas de consulta, incluyendo la participación de un moderador experto, cuya función será filtrar las contribuciones irrelevantes y garantizar que todas las voces y opiniones sean escuchadas.
4. Plantear la consulta al panel de expertos.
5. Sintetizar los resultados, elaborar una nueva consulta y repetir el proceso hasta alcanzar la convergencia o hasta cumplir otro criterio de finalización previamente definido (por ejemplo, número de iteraciones, etc.).
6. Analizar y revisar los resultados del proceso, elaborar una síntesis y comprobar el grado de consenso alcanzado en las conclusiones.
7. Redactar el informe final.

2.2 EL MÉTODO DE CO-CREACIÓN ENDORSE

Para las actividades de co-creación previstas en el proyecto ENDORSE, los socios han adoptado una **versión simplificada del método Delphi**, en la que se han introducido modificaciones con los objetivos de:

- garantizar la mayor tasa posible de participación entre las partes interesadas,
- evitar la *stakeholder fatigue* (fatiga de los actores locales causada por la invitación a demasiados eventos), y
- adaptar la duración de los procesos de co-creación al calendario de trabajo del proyecto.

En el método de creación ENDORSE, con respecto al método Delphi, se mantienen i) la iteración de las consultas y ii) la inclusión de un experto como moderador de las sesiones de co-creación, pero se han aplicado una serie de adaptaciones, que se exponen en la Tabla 1.

Tabla 1. Modificaciones de la metodología Delphi para ENDORSE

Metodología Delphi	Adaptación ENDORSE
Panel de expertos	Participación de actores de distintos sectores, incluidos ciudadanos y consumidores
Iteraciones con el mismo panel de expertos	Los participantes pueden variar a lo largo de las distintas iteraciones del proceso
Número limitado de expertos	Grupo ampliado de actores gracias a la puesta en marcha del Innovation Hub en línea (Delphi web o enfoque hiper-Delphi)
Modalidad de encuentros variable	Las reuniones de co-creación se celebran de forma presencial o en línea, síncrona (talleres) o asíncrona (entrevistas), en función de la disponibilidad y la ubicación de las partes interesadas

El resultado es un proceso de co-creación que minimiza la *stakeholder fatigue*, gracias a la posibilidad de ejecución online o asíncrona, un número de iteraciones idealmente no mayor de 2. Cada iteración es articulada en 3 fases: preparación, ejecución y curación del contenido para su uso en futuras iteraciones. En la Tabla 2, se exponen todas las fases de la metodología de co-creación ENDORSE.

Tabla 2. Las distintas fases del proceso de co-creación ENDORSE

#	Descripción
Preparación de una reunión de co-creación	
1	El líder de la actividad y los demás beneficiarios implicados en la actividad realizan una investigación preliminar sobre el tema que se va a co-crear, asegurando la comprensión del estado del arte y del contexto de partida.
2	El líder de la actividad y los demás beneficiarios seleccionan una serie de temas que se someterán a co-creación con las partes interesadas. También acuerdan quiénes serán los moderadores de las sesiones, que deberán celebrarse en la lengua local. Los moderadores deberán ser expertos en los temas objeto de debate. Esto les permite conducir eficazmente el proceso de co-creación, evitar digresiones estériles,

#	Descripción
	resumir los puntos de vista relevantes y curar las conclusiones para las siguientes iteraciones del método tipo Delphi.
3	Las reuniones de co-creación se programan de forma tentativa en los tres países del área SUDOE.
4	Se identifican los grupos de partes interesadas que deben participar, incluidos los socios asociados relevantes. Se definen las fechas y lugares de las reuniones, se envían las invitaciones y, si es necesario, se realizan recordatorios de seguimiento mediante correos electrónicos personalizados a las personas invitadas, con el objetivo de maximizar la tasa de participación.
Ejecución de la reunión de co-creación	
5	El moderador presenta los temas objeto de co-creación.
6	Se comparte una primera serie de consultas con las partes interesadas, idealmente mediante herramientas en línea como Menti o Google Forms, vinculadas al Innovation Hub . Si no se trata de la primera reunión de co-creación de una actividad determinada, la serie de consultas deberá basarse en las conclusiones de la sesión anterior (véase el punto 10).
7	El moderador resume los resultados.
6'	Si el tiempo lo permite, o si resulta estratégicamente relevante para el proceso de co-creación, las afirmaciones pueden refinarse en una segunda ronda de co-creación basada en los resultados de la primera ronda, siguiendo el método Delphi.
7'	El moderador resume los resultados.
8	Encuesta/debate para evaluar la relevancia y replicabilidad de las conclusiones y principales aprendizajes.
Curación de la reunión de co-creación	
9	El moderador / beneficiario responsable de la actividad prepara un breve informe con las principales conclusiones, que posteriormente se sube al Innovation Hub .
10	Las conclusiones sirven como punto de partida para la siguiente reunión de co-creación sobre el mismo tema y se tienen en cuenta en el punto 2 durante la organización y ejecución de las reuniones posteriores.
11	Los beneficiarios clave evalúan periódicamente (aproximadamente cada 6 meses) la relevancia y replicabilidad de todas las fases de los procesos de co-creación.

En algunos procesos de co-creación llevados a cabo en el proyecto ENDORSE, la metodología pudo haberse simplificado adicionalmente. En esos casos, el lector encontrará las razones que justifican dicha desviación en el informe correspondiente.

Las actividades de co-creación de ENDORSE han sido desarrolladas por distintos beneficiarios del consorcio en sus respectivos idiomas locales:

- Sesiones en español: B3 CETENMA
- Sesiones en portugués: B4 Instituto politécnico de Bragança (IPB)
- Sesiones en francés: B6 Fertil'Innov y B7 Chambre interdépartementale d'agriculture de la Charente-Maritime et des Deux-Sèvres Mission Innovation (CMDS).

Para garantizar la coherencia y la solidez metodológica del conjunto, el beneficiario B3 CETENMA, responsable de la elaboración de la metodología ENDORSE (A1.1) y de la co-creación en el diseño de pilotos (A2.1), ha supervisado la ejecución de todas ellas.

2.3 LA CO-CREACIÓN DE PILOTOS

2.3.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS

En el marco de los procesos participativos de co-creación de los pilotos, se han organizado sesiones en formato virtual, con un total de **dos sesiones por región SUDOE**: España, sur de Francia y Portugal. En cada sesión se han abordado, por una parte, el diseño de determinados aspectos del proceso de recuperación de las sales de P y, por otra, los aspectos vinculados a la aplicación de dichas sales en los cultivos piloto.

La **primera ronda** de sesiones de co-creación ha tenido como objetivo comprender qué aspectos del diseño de experimentos (DoE) de los pilotos ENDORSE son esenciales para que los resultados sean comprensibles y relevantes para los actores de la cadena de valor del P recuperado en la región SUDOE, además de metodológicamente robustos.

En la **segunda ronda**, se han presentado las propuestas para la ejecución de los pilotos surgidas durante la primera ronda y se han validado con los participantes, dando espacio a sugerencias y consideraciones adicionales.

Los actores consultados en el desarrollo de la actividad A2.1, "Co-creación en el diseño de pilotos", han sido predominantemente expertos agrónomos, agricultores o sus representantes, y gestores de depuradoras urbanas, pertenecientes tanto al grupo de partners asociados de ENDORSE como actores externos captados a través de las redes locales de contactos de los beneficiarios.

Con el fin de garantizar que los resultados de los debates desarrollados en cada región fueran comparables entre sí y permitieran extraer conclusiones coherentes para i) el piloto tecnológico, ii) el piloto de aplicación de las sales de P en campo y iii) el piloto de aplicación en cultivos de invernadero, el responsable de la actividad A2.1, B3 CETENMA, elaboró dos documentos marco de preguntas y consultas para cada iteración (véase párrafo 2.3.3), que fue seguido por los beneficiarios encargados de ejecutar las sesiones (indicados en la Tabla 3).

2.3.2 CRONOLOGÍA

Previamente a la puesta en marcha de las sesiones de co-creación con actores locales, se ha realizado una reunión de puesta en común entre:

- los beneficiarios responsables de las acciones pilotos (B1 CETAQUA para A2.2 “Piloto de recuperación de sales de P a partir de corrientes residuales”, B4 IPB para la actividad A2.3 “Piloto de aplicación de sales de P en invernadero” y B7 CMDS para la A2.4 “Piloto de aplicación de sales de P en invernadero”),
- los beneficiarios responsables de la ejecución de las sesiones de co-creación (B3 CETENMA para España, B4 IPB para Portugal, B6 Fertil’Innov y B7 CMDS para Francia),

con el objetivo de asegurar que las consultas a los actores locales reflejaran aspectos relevantes para el diseño de experimento de los pilotos.

En la Tabla 3, se presenta la cronología de las sesiones ejecutadas, así como un perfil de los actores consultados y los beneficiarios que han moderado cada evento. Algunas de las consultas se han ejecutado en modalidad asíncrona (formularios online, llamadas telefónicas) por imposibilidad de los actores locales de acudir a las sesión grupales.

Tabla 3. Cronología y objetivos de los encuentros de co-creación de los pilotos de ENDORSE

ronda	Fecha (2026)	Tipo de actores consultados	Tipo de sesión	Responsables del evento
España				
1	27 / 04	Representantes de agricultores, gestores de aguas residuales, expertos en diseños de experimentos agrícolas	Online grupal + asíncrona	B3 CETENMA
2	27 / 05	Expertos en diseños de experimentos agrícolas, agrónomos y productores de fertilizantes	Online grupal + asíncrona	B3 CETENMA
Francia				
1	 / 05			B6 Fertil’Innov

ronda	Fecha (2026)	Tipo de actores consultados	Tipo de sesión	Responsables del evento
2	01 / 06	Experto nacional en fertilización fosfatada, miembro del COMIFER.	asíncrona	B7 CMDS
	12 / 06	Experto en agroambiente y fertilización	asíncrona	B7 CMDS
	18 / 06	Gerente de estación depuradora de aguas residuales	asíncrona	B7 CMDS
Portugal				
1	10 / 05	Agricultor, asociación de regantes, asociación dedicada a la promoción, investigación, preservación y valorización del uso de animales de trabajo en la agricultura	Online grupal	B4 IPB
2	20 / 06	Gestora pública del abastecimiento y saneamiento de aguas residuales urbanas	asíncrona	B4 IPB

2.3.3 DOCUMENTOS MARCO DE CONSULTAS / PREGUNTAS

Primera iteración

Preguntas para agricultores, agrónomos, asociaciones de agricultores y responsables con experiencia en ensayos de campo

1. Teniendo en cuenta sus operaciones agrícolas actuales, ¿qué forma física y composición química del fertilizante fosfatado (desde sales sólidas como estruvita o hidroxipatita hasta concentraciones líquidas específicas) se ajustan mejor a las necesidades de su suelo y a su infraestructura de aplicación?
2. ¿Qué cultivos serían más relevantes para ensayar en su región, ya sea en condiciones de campo abierto o de invernadero, y por qué serían una buena elección para el piloto?
3. ¿Cómo considera que deberían aplicarse en la práctica las sales de fósforo, y qué métodos de aplicación parecen más realistas o prometedores en sus condiciones?
4. ¿En qué condiciones agrícolas deberían ensayarse estos productos para que los resultados sean significativos para los actores locales, por ejemplo, sistemas de regadío o secano, tipos concretos de suelo o determinados tipos de explotaciones?

5. Al comparar la sal de fósforo de ENDORSE con la práctica actual, ¿cuál cree que sería el tratamiento de referencia o control más justo y útil?
6. ¿Qué tendría que demostrar el piloto para que agricultores y otros actores locales consideren que este producto es técnicamente fiable, económicamente interesante y viable para su adopción a mayor escala?
7. ¿Qué parámetros del suelo, indicadores del cultivo y etapas del desarrollo vegetal considera más importantes monitorizar para evaluar tanto la disponibilidad a corto plazo como los efectos residuales del producto?
8. ¿Cuáles son las principales preocupaciones o riesgos que deberían abordarse en el piloto, como contaminantes, cuestiones regulatorias, aceptación por parte de los agricultores, incertidumbre sobre el rendimiento o pérdidas de nutrientes por escorrentía o lixiviación?

Preguntas para responsables de estaciones depuradoras de aguas residuales

9. ¿Cómo caracterizaría el flujo de producción y el control de calidad de su agua de rechazo, específicamente en relación con su consistencia temporal (24/7 frente a operación por lotes) y las tecnologías de sensores actualmente disponibles para monitorizar el contenido en sólidos?
10. Teniendo en cuenta la carga de mantenimiento actual causada por la precipitación incontrolada de fósforo, ¿hasta qué punto sería viable instalar una planta piloto de 20 m² cerca del edificio de centrifugación para abordar estos problemas?

Todas estas 10 preguntas también se pusieron a disposición en formato desagregado y de respuesta múltiple, para facilitar su adaptación a encuestas, por ejemplo, mediante Microsoft Forms u otras herramientas similares, teniendo en cuenta que algunos actores locales expresaron su preferencia por una consulta asíncrona.

Segunda iteración

Preguntas para agricultores, agrónomos, asociaciones de agricultores y responsables con experiencia en ensayos de campo

1. Forma física. No existe una preferencia única, sino que la elección depende del caso de uso. Si tuviéramos que elegir entre el escenario A (formulación líquida para fertirriego) y el escenario B (formulación sólida), ¿cuál sería el más relevante desde un punto de vista demostrativo?

2. Variables de adopción del producto. La comparación debe incluir no solo la respuesta agronómica, sino también el manejo, la solubilidad o dispersabilidad, el riesgo de obturación, la compatibilidad con equipos de fertirrigación, la facilidad de control de dosis y las necesidades de mano de obra. ¿Algo más?
3. Composición química. Hidroxiapatita, estruvita (PT), fosfatos cálcicos (ES), fosfato diamónico (FR) y opciones de formulación (petición de familiaridad). Esto indica que el producto ENDORSE debe posicionarse como una opción comercial real, con análisis nutritivo claro, equivalencia en P_2O_5 , perfil de liberación e instrucciones de aplicación, tamaño de partícula, proporción de polvo, integridad del pellet, fluidez, densidad aparente, tiempo de disolución, sedimentación en depósitos, compatibilidad con filtros de riego, riesgo de obturación de boquillas y posibilidad de mezcla con fertilizantes NPK convencionales sin segregación ni problemas de manejo. ¿Algo más?
4. Variables de adopción del producto. La comparación debe incluir no solo la respuesta agronómica, sino también el manejo, la solubilidad o dispersabilidad, el riesgo de obturación, la compatibilidad con equipos de fertirrigación, la facilidad de control de dosis y las necesidades de mano de obra. ¿Algo más?
5. Sistemas agrícolas de interés para los actores locales. *Campo abierto*: horticultura de regadío; sistemas forrajeros y vinculados a la producción láctea; cultivos herbáceos extensivos; cultivos leñosos permanentes; pimiento; melón en zonas próximas al Mar Menor; cucurbitáceas con alta demanda de fósforo; cultivos hortícolas intensivos; tomate; lechuga; hortalizas al aire libre; cultivos aromáticos; cultivos forrajeros; trigo duro; colza; girasol; maíz; y remolacha azucarera. *Invernadero*: horticultura de alto valor en invernadero y cultivos de crecimiento rápido. *Cultivos leñosos permanentes*: olivo, vid, almendro, pistacho y algarrobo. ¿Algo más?
6. Tipo de explotación: cooperativas y grandes compañías, ¿estás de acuerdo?
7. Tamaño de las parcelas experimentales. ¿Estás de acuerdo con la siguiente propuesta?
 - a. Cultivos permanentes o sistemas extensivos heterogéneos: 5.000 m² a 10.000 m²
 - b. minifundio y sistemas forrajeros: 300 m² a 1.000 m²
 - c. cultivos convencionales replicados: microparcels de 15 m² a 30 m²
8. Elegibilidad del suelo. La selección del suelo es central para la credibilidad del ensayo, especialmente en relación con la disponibilidad y el comportamiento del P. Por ello, se han barajado las siguientes opciones:
 - a. Seleccionar parcelas con bajo contenido en P biodisponible, teniendo en cuenta el historial de fertilización y los análisis previos de suelo.

- b. Ceñirse a los siguientes tipos de suelo: suelos franco-arcillosos con pH alto y baja materia orgánica en condiciones del sureste; suelos calcáreos y suelos con caliza activa o total; suelos con bajo fósforo biodisponible; suelos con bajo contenido en arcilla y menor capacidad de retención; y suelos heterogéneos de cultivos permanentes.
 - c. ¿Hay algún otro tipo de suelo o sustrato relevante?
9. Diseño mínimo de comparación. Se propone incluir: 1 control 0-P + 1 tratamiento con P recuperado ENDORSE a una dosis agrónomicamente justificada (dosis inferior (60-120 kg P₂O₅/ha) y dosis superior (240 kg P₂O₅/ha) + 1 control NPK convencional; los nutrientes deberán balancearse en todos los casos. ¿Estás de acuerdo o quieres sugerir otro tipo de control?
10. Marco de seguimiento del suelo: pH, materia orgánica, textura o granulometría, fósforo disponible, fósforo total, calcio, magnesio, potasio, nitrógeno mineral, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, caliza total, carbono y nitrógeno orgánicos y, potencialmente, metales pesados u otros contaminantes. ¿Algo más?
11. Aspectos finales para revisar. Finalmente se pide revisar: aceptación regulatoria y reputacional, viabilidad económica (precio vs prestación), ¿Algo más?

Pregunta para responsables de estaciones depuradoras de aguas residuales

12. Resultados sobre recuperación y viabilidad en EDAR. Operación por lotes o discontinua, incluyendo amortiguación, depósitos de alimentación, ventanas operativas flexibles y tiempos de muestreo claros. Monitorización de turbidez, sólidos en suspensión o parámetros equivalentes, sin depender exclusivamente de la infraestructura de la planta. ¿Algún parámetro más a tener en cuenta?

3 RESULTADOS

3.1 PRIMERA RONDA DE SESIONES DE CO-CREACIÓN: EXPECTATIVAS Y RECOMENDACIONES PARA LOS DoEs

Los resultados de las siguientes rondas deben interpretarse como información cualitativa para orientar el diseño del piloto.

3.1.1 CONSULTA DE ACTORES ESPAÑOLES

Nº participantes (excluyendo los moderadores): 11

Perfil de las aportaciones. La co-creación en España recoge aportaciones de actores agronómicos y de gestores de EDAR. En la parte agronómica participaron perfiles vinculados a agricultura, fertilización y ensayos de campo. En la parte EDAR participaron gestores de instalaciones con experiencia operativa en corrientes de rechazo y problemas asociados a la precipitación de fósforo.

Forma física y composición del producto. No se identifica una preferencia única por formato sólido o líquido. La elección depende del cultivo, del sistema de riego y de la infraestructura disponible.

Para horticultura de regadío e invernadero se considera más adecuado un producto líquido o una sal de fácil disolución, compatible con fertirrigación. Para cultivos extensivos, forrajeros o sistemas de aplicación convencional, se considera viable un formato sólido, peletizado o granulado.

Las composiciones mencionadas con mayor claridad son los fosfatos de calcio y la estruvita. Los fosfatos de calcio aparecen como opción familiar para el sector agrícola, aunque su comportamiento debe evaluarse especialmente en suelos calizos o de pH alto.

Cultivos y sistemas agrícolas prioritarios. Los cultivos más relevantes propuestos para España son:

- Horticultura de regadío: pimiento, melón, cucurbitáceas y cultivos hortícolas intensivos.
- Invernadero: pimiento y otros cultivos hortícolas bajo riego.
- Cultivos forrajeros: maíz forrajero, praderas y raigrás, especialmente por su interés en sistemas ganaderos.
- Cultivos extensivos: cereal de invierno, trigo y cebada.
- Cultivos leñosos: pistacho, olivar y vid.

En la Región de Murcia se destaca especialmente el interés de cultivos como pimiento en invernadero y melón en zonas próximas al Mar Menor.

Condiciones de ensayo y selección de parcelas. Se propone trabajar tanto en regadío como en secano, ajustando el tipo de producto al sistema agrícola. Para fertirrigación, los ensayos deberían centrarse en sistemas de regadío o invernadero. Para productos sólidos, tienen interés los cultivos extensivos, forrajeros y leñosos.

La selección del suelo se considera crítica. Se propone priorizar suelos con bajo fósforo biodisponible, historial de fertilización conocido y analíticas previas. También se consideran

relevantes los suelos franco-arcillosos, con pH alto y baja materia orgánica, representativos del sureste español.

Escala y tamaño de parcelas. Las respuestas no apuntan a un único tamaño de parcela. La escala debe adaptarse al cultivo y al objetivo del ensayo.

Para cultivos intensivos o forrajeros se proponen parcelas de 300 a 1.000 m² por tratamiento, con al menos tres repeticiones. En algunos casos se plantea una escala mayor, de 5.000 m² a 1 ha, especialmente para aproximarse a condiciones reales de manejo agrícola.

Si la disponibilidad de producto es limitada, se considera razonable un enfoque escalonado: primero maceta o microparcela, y después parcelas de campo de mayor escala.

Tratamientos y controles. El control más aceptado es un fertilizante fosfatado convencional. También se propone incluir:

- Control sin fósforo.
- Diferentes dosis del fertilizante ENDORSE.
- Mezclas con otros fertilizantes.
- Comparación con prácticas habituales de fertilización.

La comparación debe hacerse en términos equivalentes de P₂O₅ y manteniendo el balance de nutrientes para evitar atribuir al fósforo efectos derivados de otros elementos.

Métodos de aplicación. Los métodos de aplicación más relevantes son:

- Fertirrigación, especialmente en horticultura de regadío e invernadero.
- Incorporación antes de la siembra, especialmente para productos sólidos.
- Aplicación localizada en banda, cuando sea necesario concentrar el fósforo cerca de la raíz.
- Aplicación con maquinaria convencional, si el producto se orienta a cultivos extensivos o forrajeros.

En fertirrigación será clave evaluar solubilidad, sedimentación, compatibilidad con filtros y riesgo de obturación.

Indicadores de seguimiento agronómico. El seguimiento debe incluir análisis antes y después del ensayo. Las fases de mayor interés son el enraizamiento y la floración/producción de frutos. Parámetros de suelo recomendados:

- pH.
- Materia orgánica.
- Textura.
- Fósforo disponible, especialmente fósforo Olsen.
- Fósforo total.
- Conductividad eléctrica.

- Calcio, magnesio, potasio y nitrógeno mineral.
- Capacidad de intercambio catiónico.
- Metales pesados y otros posibles contaminantes.

Indicadores del cultivo:

- Emergencia.
- Desarrollo radicular o masa radicular.
- Vigor.
- Biomasa.
- Análisis foliar.
- Producción.
- Calibre, peso y rendimiento comercial.

Riesgos y condiciones de aceptación. Para que el producto sea aceptado, el piloto debe demostrar rendimiento similar o superior al fertilizante convencional, seguridad, compatibilidad con los sistemas de aplicación existentes y viabilidad económica. Las principales preocupaciones identificadas son:

- Presencia de contaminantes o impurezas.
- Incertidumbre sobre el rendimiento agronómico.
- Coste frente al fertilizante convencional.
- Disponibilidad del producto.
- Aspectos regulatorios y de certificación.
- Uso en zonas vulnerables a nitratos.
- Percepción negativa por el origen recuperado del producto.
- Riesgo de acumulación de fósforo en suelo.
- Pérdidas por escorrentía o lixiviación.

Resultados específicos sobre EDAR. Las respuestas de EDAR muestran que las corrientes ricas en fósforo no siempre están disponibles de forma continua. Tres respuestas indican operación discontinua y una indica operación continua. Por tanto, el piloto debe prever operación flexible, depósitos de alimentación y ventanas de muestreo claras.

Ninguna de las instalaciones indicó disponer de sistemas específicos para monitorizar el contenido en sólidos del agua de rechazo. Por ello, el piloto debería incorporar su propia monitorización de turbidez, sólidos en suspensión o parámetros equivalentes.

En cuanto al espacio disponible, tres instalaciones indicaron disponer de al menos 20 m² junto al edificio de centrífuga, mientras que una indicó entre 10 y 20 m². Esto apunta a la necesidad de un diseño compacto y modular.

Las paradas de mantenimiento por precipitación no controlada de fósforo parecen poco frecuentes. Tres respuestas indican menos de una parada al año y una respuesta indica entre

una y tres paradas anuales. Por tanto, la justificación del piloto no debería centrarse únicamente en reducir paradas de mantenimiento, sino en recuperación de recursos, valorización fertilizante, circularidad, gestión de nutrientes y aprendizaje operativo.

3.1.2 CONSULTA DE ACTORES FRANCESES

Nº participantes (excluyendo los moderadores): 7

Perfil de las aportaciones. La información procede de respuestas recogidas por Fertil'Innov en dos sesiones de consulta.

Forma física y composición del producto. Las respuestas muestran dos orientaciones principales:

- Producto líquido, asociado a prácticas ya conocidas como Osiryl Frayssinet, con una concentración de uso indicada de 2/1000.
- Producto sólido, en polvo o granulado, considerado adecuado para aplicación directa en campo.

En cuanto a composición, se mencionan principalmente:

- Producto tipo bioestimulante.
- Fosfato diamónico.
- Sales fosfatadas sólidas.

La referencia al fosfato diamónico indica que los actores comparan el producto ENDORSE con fertilizantes fosfatados conocidos y comercialmente consolidados.

Cultivos y sistemas agrícolas prioritarios

En invernadero, las respuestas son limitadas. Dos aportaciones indican que no ven interés en ensayos de invernadero. Una respuesta propone un cultivo de crecimiento rápido en invernadero mediterráneo.

En campo abierto, los cultivos más relevantes son:

- Colza (cultivo especialmente interesante por su sensibilidad al fósforo en las primeras fases de desarrollo y por la posibilidad de evaluar el rendimiento al final del ciclo).
- Trigo duro.
- Cereales.
- Girasol.
- Maíz.
- Patata.
- Remolacha azucarera.
- Algarrobo.
- Olivo.

Condiciones de ensayo y selección de parcelas. Se consideran relevantes tanto parcelas de regadío como de secano. También se mencionan suelos calizos y suelos pobres en fósforo. Los criterios de selección más importantes son:

- Contenido inicial de fósforo biodisponible.
- pH.
- Materia orgánica.
- Presencia de caliza.
- Historial de fertilización.
- Rotación de cultivos.
- Calidad de la cubierta vegetal.
- Condiciones de lluvia o sequía.

Se recomienda evitar parcelas con exceso histórico de aportes orgánicos, ya que podrían enmascarar la respuesta al fertilizante fosfatado recuperado.

Escala y tamaño de parcelas. Las respuestas proponen diferentes escalas según el tipo de cultivo.

Para cultivos extensivos se mencionan microparcels de 15 a 30 m², con una superficie mínima cosechada de 12 m² y varias repeticiones por tratamiento.

Para cultivos leñosos se propone trabajar con 10-20 árboles por tratamiento.

No existe una única escala válida; el tamaño debe adaptarse al cultivo, al producto disponible y al objetivo del ensayo.

Tratamientos y controles. Los tratamientos mínimos propuestos son:

- Control sin fósforo.
- Tratamiento con el producto ENDORSE.
- Fertilizante fosfatado convencional.
- Diferentes dosis del producto.
- Comparación entre tipos de fósforo.
- Seguimiento específico de cadmio, cuando proceda.

Una recomendación técnica concreta propone una dosis de referencia de 120 kg P₂O₅/ha para suelos deficientes y cultivos exigentes. Si se prueban varias dosis, se sugieren niveles de 60, 120 y 240 kg P₂O₅/ha.

Métodos de aplicación. Los métodos de aplicación mencionados son:

- Aplicación manual.
- Aplicación con maquinaria agrícola.
- Aplicación localizada en banda.
- Aplicación directa al suelo antes de la siembra.
- Fertilización sobre cubierta vegetal.

- Uso de tanque móvil de 1 m³ arrastrado por tractor para productos líquidos.

Para colza, se recomienda aplicar el fertilizante en el momento de la siembra, para favorecer la disponibilidad temprana de fósforo.

Indicadores de seguimiento agronómico. Los indicadores propuestos son:

- Rendimiento.
- Peso bruto cosechado.
- Superficie cosechada.
- Humedad de semilla.
- Porcentaje de impurezas.
- Componentes del rendimiento.
- Calidad de la cosecha.
- Biomasa.
- Producción de árboles.
- Calidad y cantidad de la cubierta vegetal.

En colza, se recomienda seguimiento durante todo el ciclo, ya que el rendimiento final es el principal indicador de interés.

Seguimiento del suelo y del ambiente. Sobre pérdidas ambientales, las respuestas no son homogéneas. Algunas consideran necesario monitorizar escorrentía, lixiviación y pérdidas de nutrientes; otras no lo consideran prioritario o no responden.

Los parámetros de suelo más relevantes son:

- P₂O₅
- Fósforo Olsen.
- pH.
- Materia orgánica.
- Caliza.
- Análisis fisicoquímico completo del suelo.
- Calidad y abundancia de la cubierta vegetal.

Los riesgos climáticos mencionados son:

- Lluvias intensas.
- Lixiviación.
- Alternancia entre periodos muy secos y muy lluviosos.

Riesgos y condiciones de aceptación. Las principales condiciones para la aceptación del producto son:

- Que permita alcanzar el potencial de rendimiento del cultivo.
- Que mantenga o mejore la estabilidad de la producción.
- Que aumente la calidad o la cantidad de la cosecha.

- Que pueda aplicarse con métodos agrícolas habituales.
- Que no genere problemas de manejo.

En una respuesta se indica que no existen preocupaciones relevantes por parte de los agricultores. En otras respuestas, las preocupaciones quedan poco desarrolladas.

Resultados sobre recuperación y viabilidad operativa en EDAR. Las respuestas sobre instalaciones indican que no existen sistemas específicos para monitorizar el contenido en sólidos del agua de rechazo. Por tanto, el piloto debería incorporar su propia medición de turbidez, sólidos en suspensión o parámetro equivalente.

Respecto al espacio disponible, la mayoría de respuestas iniciales indican que no se dispone de 20 m² junto al edificio de centrifugación. En la segunda ronda aparece una respuesta que sí indica disponibilidad de al menos 20 m².

Las paradas de mantenimiento por precipitación no controlada de fósforo se indican como nulas en algunos casos, o desconocidas en otro. Por tanto, la justificación del piloto no debería apoyarse únicamente en la reducción de paradas de mantenimiento.

3.1.3 CONSULTA DE ACTORES PORTUGUESES

Nº participantes (excluyendo los moderadores): 3

Perfil de las aportaciones. Las respuestas proceden de actores vinculados al sector agrícola del Norte de Portugal. Las aportaciones se centran en la aplicación de sales de fósforo recuperadas en campo y, en menor medida, en invernadero.

Forma física del producto. Predomina el interés por productos sólidos, en polvo o granulados. Este formato se considera especialmente adecuado para agricultores de pequeña escala, horticultores y viticultores que trabajan con herramientas manuales o con tracción animal moderna.

También se contempla el uso de formulaciones líquidas, pero principalmente cuando exista fertirrigación o sistemas de regadío que permitan una aplicación localizada.

Composición del producto. La composición más señalada es la hidroxiapatita, valorada como fertilizante fosfatado de liberación lenta, ecológico y con potencial efecto acondicionador del suelo.

La estruvita también aparece como opción relevante, especialmente por su origen recuperado, su liberación lenta y su aporte conjunto de fósforo, nitrógeno y magnesio.

Los fosfatos cálcicos se mencionan como referencia convencional, pero no son la opción más destacada en las respuestas portuguesas.

Cultivos y sistemas agrícolas prioritarios. Los sistemas más relevantes para el piloto son:

- Cultivos anuales de regadío, como maíz y patata.
- Cultivos permanentes de secano y regadío, especialmente olivar y viña.
- Almendro en regadío.
- Pastos y forrajes, como alfalfa y mezclas forrajeras.
- Hortícolas y aromáticas al aire libre.
- Hortícolas y aromáticas en invernadero, en menor medida.

En el contexto de pequeña agricultura y tracción animal, se priorizan los cultivos anuales de regadío y las hortícolas/aromáticas al aire libre.

En el contexto transmuntano, se destaca especialmente el olivar, tanto de regadío como de secano.

Tipo de parcela y escala del ensayo. El regadío aparece como el tipo de parcela más relevante. Se justifica por su representatividad en el modelo agrícola del Alto Minho y por su compatibilidad con fertirrigación. El tamaño de parcela recomendado varía según el sistema:

- En minifundio y agricultura familiar: cientos de metros cuadrados.
- En olivar y cultivos permanentes extensivos: entre 5.000 y 10.000 m².
- En sistemas más amplios: parcelas de tamaño hectárea.

La heterogeneidad del suelo se señala como un motivo para trabajar con parcelas suficientemente grandes, especialmente en cultivos permanentes.

Criterios de selección de parcelas. Los criterios más relevantes son:

- Tipo de suelo.
- Tipo de explotación agrícola.
- Agricultura familiar o de pequeña escala.
- Participación de todo tipo de actores interesados.
- Representatividad de las condiciones reales de manejo.

En olivar y cultivos permanentes, el tipo de suelo se considera especialmente importante por la variabilidad de los suelos transmuntanos.

Tratamientos y controles. Las opciones de comparación propuestas incluyen:

- Fertilizante fosfatado convencional.
- Sales de fósforo recuperadas.
- Dosis base del producto ENDORSE.
- Mezclas de fertilizantes o fertilizantes binarios/ternarios.
- Control sin fósforo.

En agricultura de pequeña escala se destaca el interés por un control sin fósforo, para evidenciar mejor la respuesta del cultivo.

En cultivos permanentes se propone evaluar también mezclas o formulaciones más próximas a fertilizantes comerciales.

Métodos de aplicación. Los métodos de aplicación más relevantes son:

- Fertirrigación.
- Aplicación de fondo antes de la siembra.
- Aplicación localizada en todo el terreno antes de la siembra.
- Fertilización anual en cultivos permanentes como olivar y almendro.
- Aplicación manual o con herramientas sencillas en sistemas de pequeña escala.

La fertirrigación se valora porque permite una aplicación localizada, mejora la eficiencia de la nutrición y puede contribuir a una mayor productividad con menor coste operativo a medio plazo.

Indicadores agronómicos. Los indicadores de seguimiento propuestos son:

- Productividad.
- Eficiencia del producto.
- Crecimiento vegetal.
- Desarrollo radicular.
- Estructura de la planta.
- Resistencia o vigor de la planta.
- Producción.
- Evaluación visual del estado del cultivo.
- Sanidad vegetal.
- Fósforo en hojas.
- Fósforo en suelo.

En cultivos permanentes, el seguimiento foliar y del suelo se considera especialmente relevante para evaluar el efecto del producto.

Fases de desarrollo de interés. Las fases de mayor interés son:

- Germinación.
- Emergencia.
- Enraizamiento.
- Floración.
- Fructificación.
- Cosecha.

Algunas respuestas proponen evaluar todas las fases del ciclo. En agricultura de pequeña escala se destaca especialmente la fase inicial. En olivar y cultivos permanentes se señala la floración/fructificación.

Seguimiento ambiental. Existe consenso en que el piloto debe incluir seguimiento de pérdidas de nutrientes, escorrentía y lixiviación.

Las principales razones son:

- Riesgo de lixiviación en suelos con bajo contenido de arcilla y baja capacidad de retención.
- Posible movimiento del fósforo hacia aguas subterráneas.
- Riesgo de eutrofización.
- Necesidad de evaluar el efecto del riego sobre la movilidad del producto.
- Riesgo de pérdidas por escorrentía en parcelas con laboreo excesivo o mal diseñado.
- Posible afección a cursos de agua próximos.

Se recomienda relacionar el comportamiento del producto con el tipo de suelo para favorecer la fijación del fósforo en la zona de aplicación.

Riesgos y preocupaciones. Las principales preocupaciones identificadas son:

- Posibles contaminantes o impurezas.
- Cuestiones regulatorias o de certificación.
- Incertidumbre sobre el rendimiento agronómico.
- Posible contaminación de acuíferos.
- Riesgos de escorrentía y lixiviación.
- Necesidad de demostrar bajo impacto ambiental.

Las percepciones negativas ligadas al origen recuperado del producto aparecen con menor peso que los riesgos técnicos, ambientales y regulatorios.

Condiciones de aceptación. Para que el producto sea considerado viable, el piloto debe demostrar:

- Incremento o mantenimiento de la productividad.
- Bajo impacto ambiental.
- Facilidad de aplicación.
- Compatibilidad con prácticas agrícolas reales.
- Coste competitivo frente a fertilizantes convencionales.
- Mejora del crecimiento y de la productividad de las plantas.
- Evidencias visibles en campo para generar confianza entre los actores locales.

Se considera importante llevar a los agricultores al terreno para que puedan observar directamente los efectos del producto.

3.1.4 RESUMEN DE RESULTADOS: DOS ESCENARIOS

Los resultados de las sesiones de co-creación en España, Francia y Portugal muestran que no existe una clara vía de aplicación favorita para las sales de fósforo recuperadas. **La elección depende del cultivo, del sistema de riego, del tipo de explotación, de la infraestructura disponible y del formato final del producto.**

Como punto de partida para la segunda ronda de co-creación, se propone organizar las conclusiones en dos escenarios principales de validación, que no deben entenderse como opciones excluyentes, sino como dos rutas de adopción distintas. La conclusión preliminar de la primera ronda es que ENDORSE no debería validar una única forma de producto, sino dos rutas de uso: una orientada a fertirrigación en regadío intensivo y otra orientada a aplicación sólida al suelo en sistemas extensivos, forrajeros, permanentes o de pequeña escala.

Escenario A. Producto compatible con fertirrigación en sistemas de regadío intensivo.

Este escenario plantea la validación de una sal de fósforo recuperada en **formato líquido, soluble o fácilmente dispersable, compatible con sistemas de fertirrigación**. Responde especialmente a las necesidades identificadas en sistemas de horticultura de regadío, invernadero y cultivos de alto valor, donde la aplicación localizada de nutrientes a través del riego forma parte de la práctica habitual.

Cultivos y sistemas de interés. Horticultura de regadío, cultivos en invernadero, cultivos hortícolas intensivos, cultivos de crecimiento rápido, sistemas con riego localizado (pimiento, melón, tomate, lechuga, cucurbitáceas, hortícolas intensivos y aromáticas y permanentes en regadío - olivar, viña, almendro o pistacho).

Aspectos que debe demostrar el piloto. Solubilidad o dispersabilidad del producto, estabilidad en depósito, ausencia de sedimentación problemática, compatibilidad con filtros, tuberías y emisores de riego, bajo riesgo de obturación, facilidad de dosificación, compatibilidad con prácticas habituales de fertirrigación, respuesta agronómica en fases tempranas, enraizamiento, floración/fructificación y producción, viabilidad económica frente a fertilizantes solubles convencionales.

Parámetros prioritarios de seguimiento. Análisis inicial y final de suelo, fósforo disponible, especialmente fósforo Olsen, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y caliza, desarrollo radicular, vigor del cultivo, análisis foliar, producción, calibre y calidad comercial, posibles pérdidas por lixiviación o escorrentía, cuando proceda, compatibilidad operativa con el sistema de riego.

Escenario B. Producto sólido granulado o peletizado para aplicación al suelo. Este escenario plantea la validación de una sal de fósforo recuperada en **formato sólido, granulado o peletizado, aplicable directamente al suelo**. Responde a sistemas donde la fertirrigación no es la vía principal de aplicación y donde resultan más realistas la aplicación manual, la aplicación con abonadora, la incorporación antes de la siembra o la fertilización anual en cultivos permanentes.

Cultivos y sistemas de interés. Cultivos extensivos, cultivos forrajeros, cultivos permanentes, agricultura de pequeña escala, sistemas de secano o regadío no necesariamente fertirrigados, hortalizas al aire libre cuando la aplicación sólida sea viable. Los cultivos más representativos serían trigo, cebada, trigo duro, colza, girasol, maíz, maíz forrajero, raigrás, praderas, patata, remolacha, olivar, viña, almendro, pistacho, algarrobo y hortalizas/aromáticas al aire libre. En Francia, este escenario es especialmente relevante por el interés en cultivos extensivos, oleaginosas y sistemas de campo abierto.

Aspectos que debe demostrar el piloto. Facilidad de manejo del producto, granulometría adecuada, baja generación de polvo, integridad del pellet o gránulo, fluidez y facilidad de aplicación, compatibilidad con abonadoras, maquinaria agrícola o aplicación manual, uniformidad de distribución, disponibilidad progresiva del fósforo, efecto residual en suelo, respuesta productiva frente a fertilizante fosfatado convencional, viabilidad económica por unidad de P_2O_5 útil, ausencia de riesgos relevantes por contaminantes o acumulación de fósforo.

Parámetros prioritarios de seguimiento. Caracterización del producto: composición, P_2O_5 equivalente, granulometría, humedad, solubilidad y contaminantes; análisis inicial y final de suelo; Fósforo Olsen, fósforo total, pH, materia orgánica, textura y caliza; e *emergencia*, enraizamiento, biomasa y vigor; a *nálisis foliar*; r *endimiento* y calidad de cosecha; e *fecto residual* postcosecha; e *scorrentía*, lixiviación o riesgo de afección a masas de agua, cuando sea relevante.

Diseño mínimo de comparación. Se propone como diseño base: control sin fósforo, fertilizante fosfatado convencional, producto ENDORSE a dosis agronómicamente justificada, opcionalmente, dosis baja y dosis alta del producto ENDORSE, opcionalmente, mezcla o formulación con fertilizantes NPK convencionales; todas las comparaciones deberían expresarse en equivalencia de P_2O_5 y con balance adecuado de nutrientes. También se propuso un diseño experimental más clásico, con microparcels, controles y dosis expresadas en P_2O_5 .

La **conclusión preliminar de la primera ronda** es que ENDORSE no debería validar una única forma de producto, sino dos rutas de uso: una orientada a fertirrigación en regadío intensivo y otra orientada a aplicación sólida al suelo en sistemas extensivos, forrajeros, permanentes o de pequeña escala.

3.2 SEGUNDA RONDA DE SESIONES DE CO-CREACIÓN: VALIDACIÓN DE ESCENARIOS Y PROPUESTAS ADICIONALES

La segunda ronda de sesiones de co-creación tiene el doble objetivo de i) presentar a los actores locales los resultados de la primera ronda, ofreciendo una visión armónica de las perspectivas recogidas en el espacio SUDOE en su conjunto, y ii) validar estos resultados incorporando sugerencias y ulteriores puntos de vista.

3.2.1 CONSULTA DE ACTORES ESPAÑOLES

Nº participantes (excluyendo los moderadores): 2

Perfil de las aportaciones. Aportaciones de actores agronómicos con experiencia en el desarrollo de DoEs, más específicamente de un técnico de I+D experto en ensayos de campo de fertilizantes en fase de desarrollo y una técnica I+D de un instituto de investigación del sector agro.

Escenario A. Producto compatible con fertirrigación en sistemas de regadío intensivo.

Desde el punto de vista demostrativo, los actores españoles consideran que el escenario de formulación líquida o soluble para fertirrigación es el más interesante. Esta preferencia se justifica por la elevada implantación de sistemas de riego localizado y fertirrigación en horticultura intensiva, invernadero y otros sistemas de regadío de alto valor. No obstante, se matiza que el producto ENDORSE no tendría por qué ser necesariamente líquido desde su origen, siempre que pueda formularse como una sal sólida suficientemente soluble o fácilmente dispersable en agua.

Ajustes relevantes propuestos al Escenario A.

- **Tipo de producto y composición.** Para los actores consultados, la composición química concreta del producto es menos relevante que su capacidad de aportar P soluble de forma inmediata. Cualquier composición que permita una buena solubilidad de P en agua podría ser válida para este escenario. Sugerencia: se plantea, además, la posibilidad de incorporar ácido cítrico u otros ácidos débiles a la formulación, con el objetivo de mejorar la solubilización del fósforo y facilitar su uso en fertirrigación.
- **Variables de adopción.** La comparación experimental no debería limitarse a la respuesta agronómica. Sugerencia: incluir también variables de manejo y adopción, como solubilidad o dispersabilidad, estabilidad en depósito, riesgo de sedimentación,

riesgo de obturación, compatibilidad con filtros y emisores, facilidad de control de dosis, necesidades de mano de obra y compatibilidad con otras fuentes de nutrientes.

- **Sistemas agrícolas prioritarios.** Este escenario se considera especialmente adecuado para horticultura de regadío, cultivos hortícolas intensivos, cultivos en invernadero, cultivos de crecimiento rápido y sistemas con riego localizado. Sugerencia: centrarse en cultivos de interés económico como pimiento, melón, tomate, lechuga, cucurbitáceas, hortícolas intensivos y aromáticas. También podría ser relevante en cultivos permanentes en regadío, como olivar, viña, almendro o pistacho, siempre que exista infraestructura de fertirrigación.
- **Refuerzo metodológico del DoE.** En invernadero o sistemas hidropónicos, las microparcels o ensayos en condiciones controladas pueden tener interés para evaluar disponibilidad de P, solubilidad, respuesta temprana y compatibilidad con la solución nutritiva. Sugerencia: para una validación demostrativa orientada a adopción por agricultores, se considera necesario avanzar hacia superficies mayores y condiciones de manejo representativas (mínimo 1 hectárea).

Escenario B. Producto sólido granulado o peletizado para aplicación al suelo.

El escenario de formulación sólida no se descarta, pero se considera menos prioritario que la vía líquida o soluble desde el punto de vista demostrativo español. Su interés se mantiene para cultivos extensivos, cultivos forrajeros, sistemas de campo abierto, cultivos permanentes y situaciones en las que la fertirrigación no sea la vía habitual de aplicación.

En este caso, el producto debería demostrar facilidad de manejo, granulometría adecuada, baja proporción de polvo, buena fluidez, densidad aparente compatible con equipos de aplicación, ausencia de segregación en mezclas y posibilidad de uso con maquinaria agrícola convencional. La validación debería orientarse a comprobar que el producto puede utilizarse como una opción comercial real y no solo como una sal recuperada experimental.

Ajustes relevantes propuestos al Escenario B.

- **Cultivos y sistemas prioritarios.** Se confirma el interés de los sistemas agrícolas ya identificados en la primera ronda: horticultura de regadío al aire libre, cultivos herbáceos extensivos, cultivos leñosos permanentes, cultivos forrajeros, trigo duro, colza, girasol, maíz y remolacha azucarera. Sugerencia: se refuerza el interés de los sistemas forrajeros vinculados a la producción animal, tanto láctea como cárnica, por su relevancia territorial y por su conexión con modelos de producción agrícola-ganadera.

Ajustes relevantes propuestos para ambos escenarios (A y B).

- **Tipo de explotación.** Se valida el interés de trabajar con cooperativas y grandes compañías agrícolas, ya que estos actores pueden facilitar la disponibilidad de superficie, la logística de aplicación, el seguimiento técnico y la transferencia posterior de resultados. No obstante, la selección final deberá depender del cultivo, de la disponibilidad de parcelas adecuadas y de la capacidad de garantizar un diseño experimental interpretable.
- **Escala y tamaño de parcela.** Se subraya que, para un ensayo demostrativo, la superficie debería ser de al menos 1 ha, siendo preferible una escala próxima a 1,5 ha cuando el objetivo sea mostrar viabilidad real de manejo. Las microparcels no se consideran adecuadas para ensayos demostrativos en campo, aunque pueden tener cabida en invernadero o en fases previas orientadas exclusivamente a evaluar disponibilidad de P.
- **Condiciones de suelo.** La selección del suelo se considera un aspecto central para la credibilidad del ensayo. Sugerencia: seleccionar parcelas con bajo contenido en P biodisponible, historial de fertilización conocido y análisis previos de suelo y se recomienda evitar suelos excesivamente heterogéneos (aunque puedan ser representativos de determinadas condiciones reales, no serían los más adecuados si el objetivo principal es obtener conclusiones agronómicas claras).
- **Diseño mínimo de comparación.** Se valida la propuesta de incluir un control sin fósforo, un tratamiento con P recuperado ENDORSE a dosis agronómicamente justificada, al menos dos niveles de dosis del producto ENDORSE (una dosis inferior, entre 60 y 120 kg P₂O₅/ha, y una dosis superior, en torno a 240 kg P₂O₅/ha) y un control NPK convencional. Se considera imprescindible balancear los nutrientes en todos los tratamientos para que las diferencias observadas puedan atribuirse de forma razonable al aporte de fósforo y no a otros elementos fertilizantes.
- **Marco de seguimiento del suelo.** Se valida el marco propuesto de seguimiento edáfico, incluyendo pH, materia orgánica, textura o granulometría, fósforo disponible, fósforo total, calcio, magnesio, potasio, nitrógeno mineral, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, caliza total, carbono y nitrógeno orgánicos, metales pesados y otros posibles contaminantes. Como aportación adicional, se recomienda incluir sodio (Na⁺) y reforzar el seguimiento de contaminantes, especialmente por tratarse de un fertilizante recuperado.

- **Marco de seguimiento de la planta.** Se valida el seguimiento de emergencia, densidad de planta, masa o desarrollo radicular, estructura de planta, vigor, biomasa, fósforo foliar, análisis foliar ampliado, absorción de fósforo, sanidad vegetal, floración, peso de cosecha, calibre comercial, calidad, eficiencia productiva, peso bruto de semilla, humedad de semilla y porcentaje de impurezas. Como indicador adicional, se propone incluir el nivel de fotosíntesis en cultivos de hoja verde, por su posible utilidad para detectar respuestas fisiológicas tempranas al tratamiento.
- **Balance de P y riesgos ambientales.** Aunque el informe español se centra más en la aplicabilidad agronómica y operativa que en la modelización de pérdidas, se mantiene la conveniencia de considerar riesgos de lixiviación, escorrentía, acumulación de P en suelo y presencia de contaminantes. Estos aspectos resultan relevantes tanto para la interpretación ambiental del piloto como para la aceptación regulatoria y reputacional del producto.
- **Condiciones finales de aceptación.** Los actores españoles no añaden nuevas variables más allá de las ya identificadas en el documento marco. Se confirma que la aceptación regulatoria y reputacional, junto con la viabilidad económica del producto en términos de precio frente a prestación, deben mantenerse como criterios finales de evaluación.

3.2.2 CONSULTA DE ACTORES FRANCESES

Nº participantes (excluyendo los moderadores): 3

Perfil de las aportaciones. Aportaciones de actores agronómicos y de gestores de EDAR.

Escenario A. Producto compatible con fertirrigación en sistemas de regadío intensivo.

Se considera menos representativo para los ensayos de campo en Francia, según los actores consultados, y además se indica el riesgo de que los productos de baja solubilidad pueden no mostrar efectos claros en sistemas de respuesta rápida (efecto “starter”). Este aspecto puede ser muy relevante (también para el escenario B) si el cultivo necesita bio-disponibilidad alta de P. Puede no ser tan relevante para frutales (manzanos, algarrobos, etc).

Escenario B. Producto sólido granulado o peletizado para aplicación al suelo.

Es el escenario claramente dominante, coherente con cultivos extensivos, aplicación tradicional de fertilizantes fosfatados y ensayos en campo abierto.

Ajustes relevantes propuestos al Escenario B.

- **Tipo de producto.** Preferencia por fertilizantes de referencia: superfosfato triple como control principal, fosfato monoamónico y diamónico como referencias secundarias. Tener en cuenta la alta sensibilidad a la bio-disponibilidad real del P, por ejemplo se sugiere que la hidroxiapatita tiene una baja respuesta observada en campo y la estruvita es de conocida liberación lenta, con lo cual puede haber desfase entre disponibilidad y demanda de P con cultivos de ciclo corto. Sugerencia: el piloto debe asegurar que el producto ENDORSE no quede “penalizado” por baja disponibilidad inicial; También se destaca la necesidad de proporcionar sales en formato peletizado, no en polvo (para evitar pérdida de producto por viento y limitar las complicaciones en la fase de aplicación)
- **Cultivos prioritarios.** Se proponen como cultivos clave: colza (muy relevante, aunque su calendario de siembra no es compatible con los tiempos del proyecto ENDORSE), cereales (trigo, cebada), girasol, maíz (incl. silage maize), patata, remolacha azucarera, praderas / pastos (muy importante), leguminosas (ej. guisante de primavera), frutales de manzanos. Sugerencia: maíz, leguminosas, por su mejor movilización del P en la rizosfera, y pastos, que permiten medir la dinámica temporal del P.
- **Condiciones de suelo.** Se propone tener muy en cuenta la condición del suelo de las parcelas de ensayo, disponiendo de caracterización previa, así como seleccionar parcelas sobre la base de análisis previo y disponibilidad de suelo representativo. Sugerencia: i) evitar suelos calcáreos ricos en caliza y preferencia por suelos ácidos o ligeramente ácidos, suelos pobres en P, suelos con baja interferencia química; ii) uso de tablas COMIFER (*Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée*) como referencia normativa para la selección de los suelos franceses.
- **Refuerzo metodológico del DoE.** Francia propone un nivel de exigencia más alto en metodología, así como uso de microparcels (20–50 m²). Sugerencia: replicación obligatoria y uso de indicadores de bio-disponibilidad en condiciones controladas (extracto en agua y ácido cítrico de la sal -para averiguar la bio-disponibilidad-, succión por lisímetros, trampas de fosfato en solución del suelo, método Olsen o, a falta, método Joret-Hebert (extracción de oxalato) y método isotópico P₃₂ (como única forma fiable de balance total de P en suelo).
- **Balance de P: tener en cuenta las pérdidas de fósforo.** Las pérdidas por lixiviación se consideran bajas, mientras el principal mecanismo de pérdida tenido en consideración es la erosión del suelo. Sugerencia: el piloto debe evitar diseñarse solo para “balance de P en suelo” y requiere enfoque indirecto (entradas/salidas + uptake vegetal).

- **Restricciones operativas importantes.** El efecto “starter” es crítico en Francia porque los cultivos de primavera requieren alta disponibilidad inicial de P. Sugerencia: si el fertilizante ENDORSE es liberación lenta, es mejor evitarlo para este tipo de cultivos porque puede que no se muestre un efecto inmediato y por lo tanto llegar a una subestimación del producto ENDORSE.
- **Gestión de fertilización (condición de control).** Es importante calcular el aporte nutricional para poder hacer una correlación directa de los resultados con la aportación de P. Sugerencia: todos los nutrientes deben ser no limitantes excepto el P, tiene que haber la misma aportación de N en todos los tratamientos y hay que tener en cuenta eventuales fuentes externas de P (compost, cenizas, biochar).

3.2.3 CONSULTA DE ACTORES PORTUGUESES

Nº participantes (excluyendo los moderadores): 2

Perfil de las aportaciones. Participación de actores del sector agroalimentario con perfiles complementarios. El primero corresponde a una empresa especializada en la transferencia de tecnología entre el sector de la investigación, el sector empresarial y los programas de financiación pública, con experiencia en el desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas dirigidas al sector agrícola. El segundo participante es un representante de una Cooperativa Agrícola, con amplia experiencia en la producción y comercialización de productos tradicionales de la región de Trás-os-Montes, especialmente aceite de oliva, vino y otros productos agroalimentarios de calidad.

Escenario A. Producto compatible con fertirrigación en sistemas de regadío intensivo.

Este escenario fue considerado viable únicamente bajo determinadas condiciones. Los participantes indicaron que su aceptación dependería de la disponibilidad de un manual de aplicación muy detallado y explicativo, que proporcionara instrucciones claras sobre la preparación, dosificación, compatibilidad y manejo del producto. En ausencia de esta información, consideraron que la adopción por parte de los agricultores sería más limitada debido a la mayor complejidad de aplicación respecto a los fertilizantes sólidos convencionales.

Ajustes relevantes propuestos al Escenario A.

- **Información al usuario y aceptación del producto.** Los actores consultados destacaron que la aceptación de este escenario dependería en gran medida de la

disponibilidad de información clara y detallada para el usuario final. Consideran necesario proporcionar instrucciones completas sobre el modo de utilización del producto, con el fin de generar confianza y facilitar su adopción por parte de los agricultores.

- **Aspectos de comercialización y sostenibilidad.** En el caso de una formulación sólida, se propuso incorporar un sello o certificación que acreditara el origen sostenible o renovable del fósforo recuperado. Según los participantes, este elemento aportaría un valor añadido al producto, facilitaría su comercialización y mejoraría su posicionamiento tanto en el mercado como en iniciativas de financiación e innovación promovidas por entidades de transferencia tecnológica.

Escenario B. Producto sólido granulado o peletizado para aplicación al suelo.

Fue el escenario preferido por los participantes, principalmente por tratarse de un formato ya conocido por los agricultores y compatible con las prácticas habituales de fertilización. Se consideró que esta opción facilitaría la adopción del producto, ya que los usuarios finales conocen su modo de aplicación y no requerirían cambios significativos en sus rutinas. Además, desde la perspectiva de la empresa especializada en transferencia de tecnología, un producto sólido resultaría más sencillo de comunicar y promover durante su proceso de introducción en el mercado.

Ajustes relevantes propuestos para ambos escenarios (A y B).

- **Seguridad, manipulación e información al usuario.** Los participantes destacaron la importancia de proporcionar instrucciones claras sobre la manipulación, el almacenamiento y las medidas de seguridad del producto. En caso de existir riesgos asociados a su utilización (por ejemplo, quemaduras o lesiones), estos deberán indicarse mediante el etiquetado y la simbología de seguridad correspondiente.
- **Cultivos y condiciones de aplicación.** Se consideró recomendable validar el producto en cultivos representativos de la región, como castaño, olivar, viñedo y alcornocal, así como en cultivos hortícolas (por ejemplo, calabacín y calabaza). También se destacó el interés de incluir explotaciones de menor tamaño y productores de agricultura ecológica, donde existe una mayor preocupación por los insumos aplicados.
- **Condiciones de suelo.** Los actores señalaron el interés de evaluar el producto en diferentes tipos de suelo o sustrato, considerando distintos niveles de estructura, porosidad, saturación, uso previo de fertilizantes y pendiente del terreno. Destacaron que, en regiones montañosas, como Trás-os-Montes, muchos cultivos se desarrollan en

suelos rocosos e inclinados, condiciones que pueden influir en el comportamiento del fertilizante, la escorrentía y la lixiviación de nutrientes. Por ello, recomendaron que los ensayos contemplen esta variabilidad para obtener resultados representativos de las condiciones reales de cultivo.

- **Diseño experimental.** Se recomendó ampliar el rango de dosis evaluadas en el ensayo, incluyendo una dosis intermedia además de las dosis mínima y máxima previstas (por ejemplo, 60, 100, 120, 180 y 240 kg·ha⁻¹), con el objetivo de identificar el intervalo óptimo de aplicación.
- **Monitorización del suelo.** Los participantes consideraron que la monitorización propuesta es adecuada y señalaron que la evaluación de la ecotoxicidad, aunque no resulta determinante para la adopción del producto, constituiría un valor añadido desde el punto de vista de la calidad y sostenibilidad del suelo.
- **Monitorización del cultivo.** Se valoró positivamente el conjunto de indicadores propuestos y se sugirió incorporar evaluaciones sensoriales relacionadas con la calidad del producto agrícola, incluyendo aspectos visuales de la planta y de los frutos, así como características organolépticas como sabor y aroma.
- **Viabilidad y aceptación comercial.** Además de la eficiencia agronómica y facilidad de aplicación, los participantes destacaron la importancia de evaluar la aceptación del producto a lo largo de toda la cadena de comercialización, considerando tanto a los distribuidores e intermediarios como a los agricultores y consumidores finales, con el fin de facilitar su introducción y consolidación en el mercado.

3.2.4 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS ESCENARIOS REFINADOS

ESCENARIO A

Sal de P recuperada compatible con fertirrigación

Refinado tras la 2ª ronda de co-creación



Ilustración 2. Escenario A, refinado tras la 2ª ronda de co-creación (generada por IA)

ESCENARIO B

Sal de P recuperada sólida para aplicación al suelo

Refinado tras la 2ª ronda de co-creación



Ilustración 3. Escenario B, refinado tras la 2ª ronda de co-creación (generada por IA)

4 RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE EXPERIMENTO DE LAS A2.2, A2.3 Y A2.4

En este capítulo, se agrupan las recomendaciones para los beneficiarios responsables de diseñar los experimentos de producción (B1 CETAQUA), aplicación en invernadero (B4 Instituto Politécnico de Bragança) y en campo (B7 Chambre interdépartementale d'agriculture de la Charente-Maritime et des Deux-Sèvres). El objetivo final de esta compilación de recomendaciones es alinear los diseños de experimentos (DoEs) de los pilotos a las expectativas de los actores de la cadena de valor del P recuperado, asegurando así su relevancia demostrativa y su potencial de replicabilidad.

4.1 PILOTO TECNOLÓGICO DE RECUPERACIÓN DE SALES DE P (A2.2)

- Diseñar el piloto para operar con corrientes discontinuas o variables, no asumir funcionamiento 24/7.
- Incorporar depósito de alimentación/amortiguación para desacoplar la producción de agua de rechazo de la operación del piloto.
- Definir ventanas claras de operación y muestreo según el régimen real de la EDAR.
- No depender de la instrumentación existente de la planta: incluir monitorización propia de turbidez, sólidos en suspensión o parámetro equivalente.
- Caracterizar la corriente de entrada: caudal, P, N, Mg, Ca, pH, conductividad, sólidos, materia orgánica y variabilidad temporal.
- Diseñar una instalación compacta y modular, compatible con superficies limitadas, idealmente 10-20 m² y escalable si hay más espacio.
- Evaluar la cantidad de sal de P recuperada, su composición, humedad, pureza, contaminantes y estabilidad.
- Incluir criterios sanitarios y de seguridad antes de plantear uso agrícola del producto recuperado.
- No justificar la recuperación de sales de P solo por reducción de paradas de mantenimiento, ya que las paradas por precipitación incontrolada de P parecen poco frecuentes.
- Enfocar la justificación en recuperación de recursos, circularidad, valorización fertilizante y generación de un producto agrícola utilizable.
- Analizar también el residuo secundario generado por el proceso de recuperación y su compatibilidad con la gestión habitual de la EDAR.

4.2 PILOTOS DE APLICACIÓN DE SALES DE P EN CAMPO Y EN INVERNADERO (A2.3 Y A2.4)

- Plantear los pilotos como validación agronómica y operativa del producto, no solo como comparación de rendimiento.

- Definir primero la forma de aplicación realista: fertirrigación si el producto es soluble/dispersable; aplicación sólida si el producto es granulado, peletizado o en polvo (aunque este último formato puede acarrear complicaciones en fase de aplicación).
- Caracterizar el producto antes del ensayo: composición, P_2O_5 equivalente, solubilidad, biodisponibilidad, granulometría, humedad, polvo, fluidez, densidad aparente, estabilidad, contaminantes y metales pesados.
- Si se aplica por fertirrigación, comprobar previamente: tiempo de disolución, estabilidad en depósito, sedimentación, compatibilidad con solución nutritiva, filtros, tuberías, emisores y riesgo de obturación.
- Evaluar la compatibilidad con fertilizantes NPK u otras fuentes de nutrientes para evitar precipitaciones o problemas de mezcla.
- Considerar el uso de ácido cítrico u otros ácidos débiles solo si mejora la solubilidad del P y no genera incompatibilidades operativas.
- Seleccionar suelos o sustratos con bajo o moderado P biodisponible, historial de fertilización conocido y análisis previo.
- Evitar suelos excesivamente heterogéneos si el objetivo es obtener resultados agronómicos interpretables.
- Evitar parcelas con aportes orgánicos recientes o históricos elevados que puedan enmascarar la respuesta al P.
- Ajustar el cultivo al tipo de producto: cultivos de alta demanda inicial para productos solubles; cultivos de ciclo más largo o sistemas permanentes si el producto es de liberación lenta.
- Priorizar cultivos con probabilidad razonable de respuesta al fósforo: hortícolas intensivos, pimiento, tomate, lechuga, cucurbitáceas, melón, colza, cereales, maíz, maíz forrajero, patata, remolacha, pastos, praderas, leguminosas y cultivos permanentes.
- No basar el ensayo únicamente en el efecto “starter” si el producto ENDORSE es de liberación lenta.
- En cultivos permanentes, asumir que la respuesta puede requerir más de una campaña.
- Incluir como mínimo: control 0-P, fertilizante fosfatado convencional y ENDORSE a dosis agronómica.
- Añadir, si el producto disponible lo permite, dosis baja y dosis alta de ENDORSE.

- Usar superfosfato triple como referencia convencional principal; fosfato monoamónico y diamónico solo como referencias secundarias si se balancea el nitrógeno.
- Expresar todas las dosis en equivalencia de P_2O_5 .
- Probar dosis orientativas de 60, 120 y 240 kg P_2O_5 /ha cuando el diseño y la disponibilidad de producto lo permitan.
- Balancear todos los nutrientes excepto el P: mismo aporte de N, K, Mg y otros elementos limitantes en todos los tratamientos.
- Considerar el P aportado por compost, cenizas, biochar u otras enmiendas para no falsear el control 0-P.
- Usar diseño con replicación obligatoria; preferentemente bloques aleatorizados.
- Adaptar la escala al objetivo: macetas, mesas, bandejas o microparcels para disponibilidad de P y respuesta temprana; parcelas mayores para demostración en condiciones reales.
- En campo demostrativo, tender a superficies cercanas a 1 ha o más cuando sea posible.
- En invernadero, usar unidades experimentales suficientes para evaluar respuesta agronómica, compatibilidad con fertirrigación y manejo real.
- Medir en suelo o sustrato: pH, materia orgánica, textura o granulometría, P Olsen, P total, caliza, CE, CIC, Ca, Mg, K, N mineral, Na y contaminantes.
- Medir en planta: emergencia, enraizamiento, vigor, biomasa, P foliar / P contenido en la biomasa, análisis foliar completo, sanidad, floración/fructificación, rendimiento, calibre y calidad comercial.
- En cultivos de hoja verde, incluir nivel de fotosíntesis como indicador fisiológico complementario.
- Si hay fertirrigación, monitorizar además pH, conductividad, turbidez/sedimentación, presión, filtros, emisores y riesgo de obturación.
- Considerar pérdidas de P por erosión, escorrentía o lixiviación cuando el suelo, la pendiente, el riego o el contexto ambiental lo justifiquen.
- Incluir indicadores de adopción: facilidad de aplicación, compatibilidad con maquinaria o fertirrigación, mano de obra, generación de polvo, limpieza, coste por ha y coste por unidad de P útil.

- Evaluar la aceptación final en términos de rendimiento, seguridad, facilidad de uso, compatibilidad con prácticas existentes, viabilidad económica y aceptación regulatoria/reputacional.

5 CONCLUSIONES

El proceso de co-creación desarrollado en la actividad A2.1 ha permitido contrastar el diseño preliminar de los pilotos ENDORSE con actores clave de la cadena de valor del fósforo recuperado, incluyendo perfiles agronómicos, expertos en ensayos de fertilización, representantes del sector agrícola, productores de fertilizantes y gestores de EDAR.

En total, se han contemplado **seis (6) sesiones de co-creación**, organizadas en **dos (2) rondas de consulta** en las tres áreas geográficas del espacio SUDOE implicadas en la actividad: España, sur de Francia y Portugal. Las consultas han permitido recoger aportaciones de 28 actores claves de la cadena de valor de P recuperado, vinculadas a diferentes contextos productivos y territoriales, incluyendo sistemas agrícolas de regadío e invernadero, cultivos extensivos, cultivos forrajeros, cultivos permanentes y condiciones operativas reales de EDAR. La primera ronda de co-creación permitió identificar que no existe una única vía preferente para la aplicación de sales de P recuperadas. La elección depende del formato final del producto, del cultivo, del tipo de suelo, del sistema de riego y de la infraestructura disponible. Como resultado, tras la primera ronda se propusieron dos escenarios principales de validación:

- **Escenario A: producto compatible con fertirrigación**, orientado a sistemas de regadío intensivo, invernadero, horticultura de alto valor y cultivos con aplicación localizada de nutrientes (véase Ilustración 2).
- **Escenario B: producto sólido granulado o peletizado para aplicación al suelo**, orientado a cultivos extensivos, forrajeros, permanentes, agricultura de pequeña escala y sistemas donde la fertirrigación no sea la vía principal de aplicación. (véase Ilustración 3).

La segunda ronda permitió validar y matizar estos escenarios. Los actores consultados confirmaron que ambos son relevantes, pero que deben entenderse como rutas de uso distintas y no como alternativas excluyentes. Destacó especialmente la preferencia del Escenario B en contextos de agricultura familiar y pequeña escala, así como la importancia de desarrollar materiales informativos claros y manuales de aplicación para facilitar la adopción del producto. La recomendación general es que ENDORSE no valide únicamente una sal de P

recuperada desde el punto de vista técnico, sino que demuestre su viabilidad como producto agrícola real, adaptado a condiciones de manejo concretas.

Las mayores preocupaciones de los stakeholders respecto a la relevancia de los pilotos ENDORSE se concentran en los siguientes aspectos:

- **Adecuación del producto al sistema de aplicación:** solubilidad, dispersabilidad, estabilidad en depósito, riesgo de sedimentación, riesgo de obturación, compatibilidad con fertirrigación, compatibilidad con maquinaria agrícola y facilidad de dosificación.
- **Biodisponibilidad real del fósforo:** necesidad de evitar diseños en los que el producto quede penalizado por baja disponibilidad inicial, especialmente en cultivos con demanda temprana de P o efecto “starter”.
- **Selección correcta de suelos y cultivos:** prioridad a suelos con bajo o moderado P biodisponible, historial de fertilización conocido y baja interferencia de aportes orgánicos previos; selección de cultivos con probabilidad razonable de respuesta al P. Especial consideración de la variabilidad de suelos en contextos montañosos y de pequeña escala.
- **Robustez del diseño experimental:** inclusión de control 0-P, fertilizante fosfatado convencional, dosis agronómica de ENDORSE y, si es posible, dosis baja y alta; balance de nutrientes para aislar el efecto del P.
- **Seguridad y aceptación regulatoria:** control de contaminantes, metales pesados, impurezas, requisitos sanitarios y posible aceptación del producto dentro del marco normativo aplicable.
- **Viabilidad económica y operativa:** comparación frente a fertilizantes convencionales en términos de coste, rendimiento, facilidad de manejo, disponibilidad del producto y escalabilidad. Inclusión de evaluación de aceptación en toda la cadena de comercialización (distribuidores, intermediarios, consumidores finales).
- **Riesgos ambientales:** acumulación de P en suelo, pérdidas por erosión, escorrentía o lixiviación, afección potencial a aguas superficiales o subterráneas y compatibilidad con zonas ambientalmente sensibles.
- **Condiciones reales de EDAR:** variabilidad o discontinuidad de las corrientes ricas en P, falta de instrumentación específica para sólidos, limitaciones de espacio, necesidad de diseño compacto y modular, y gestión de residuos secundarios generados durante la recuperación.

En conjunto, la co-creación confirma que la relevancia de los pilotos ENDORSE dependerá de su capacidad para conectar la recuperación de fósforo en EDAR con una aplicación agrícola creíble, segura y operativamente viable. Los pilotos deberán demostrar no solo que es posible recuperar sales de P, sino que dichas sales pueden convertirse en fertilizantes utilizables, comparables con referencias comerciales, compatibles con prácticas agrícolas existentes y aceptables para agricultores, gestores de EDAR y otros actores de la cadena de valor. Asimismo, deberán comunicar claramente los beneficios de sostenibilidad del producto recuperado y facilitar su adopción mediante información accesible y certificación de origen. Por tanto, las recomendaciones derivadas de la actividad A2.1 apuntan a diseños experimentales simples, robustos y comparables, con controles claros, caracterización completa del producto, selección cuidadosa de suelos y cultivos, seguimiento agronómico y ambiental suficiente, y evaluación explícita de las condiciones de adopción. Se recomienda además incluir productores de agricultura ecológica en la validación de pilotos y desarrollar materiales informativos y etiquetado de seguridad adaptados a cada contexto regional. Esta aproximación permitirá que los resultados de las actividades A2.2, A2.3 y A2.4 sean técnicamente sólidos, comprensibles para los actores locales y útiles para apoyar la futura estrategia transnacional de recuperación y valorización del fósforo en el espacio SUDOE.

6 AGRADECIMIENTOS

El consorcio Interreg SUDOE ENDORSE agradece a las siguientes personas por sus aportaciones en las sesiones de co-creación descritas en este informe, **así como a todos los participantes que han elegido el anonimato.**

Por orden alfabético:

- Benbrahim, Mohammed - [RITMO](#) (perfil de [LinkedIn](#))
- Carpintero Salvo, José Manuel - [Fertiberia S.A.](#) (perfil de [LinkedIn](#))
- Chaigne, Gaetan - [Chambre d'agriculture Charente-Maritime Deux-sèvres](#)
- Castro Fernández, Ander - [Grupo ARESA Agrícola](#)
- De Juana Sebastián, Consuelo - [Veolia España](#)
- Jordan-Meille, Lionel - [BSA](#) (perfil en la [web de BSA](#))
- León Sánchez, Lupe - [Veolia España](#) (perfil de [LinkedIn](#))
- Mínguez Alcaraz, Pedro - [CDTA EL MIRADOR, S.C.L.](#)
- Pelaz Pérez, Lara - [Fundación Patrimonio Natural Castilla y León](#) (perfil de [LinkedIn](#))
- Pérez-Marcos, María - [IMIDA](#)

- Peloquin, Thierry - [Chambre d'agriculture Charente-Maritime Deux-sèvres](#)
- Ros Ibañez, Caridad- [IMIDA](#) (perfil de [Linekdln](#))
- Sánchez García, Micaela - [Veolia España](#)
- Vale Fernandes, Paula - [Águas do Norte](#)
- Rodrigues, João - [APTRAN](#)
- Cardoso, Manuel - Agricultor
- Serra, Nelson - [ABMC](#)
- Marques, Cláudia [JBNC](#)
- Freitas, Fernando - [Cooperativa Agrícola de Macedo de Cavaleiros](#)

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] V. Mahajan, H. A. Linstone, and M. Turoff, "The Delphi Method: Techniques and Applications," *Journal of Marketing Research*, vol. 13, no. 3, p. 317, Aug. 1976, doi: 10.2307/3150755.
- [2] M. R. Geist, "Using the Delphi method to engage stakeholders: A comparison of two studies," *Eval. Program Plann.*, vol. 33, no. 2, pp. 147–154, May 2010, doi: 10.1016/j.evalprogplan.2009.06.006.
- [3] S. L. Gomes, L. M. Hermans, C. Butsch, P. S. Banerjee, S. Luft, and S. Chakraborty, "A Delphi-based methodology for participatory adaptation pathways building with local stakeholders: Methodological considerations and an illustrative application in peri-urban India," *Environ. Dev.*, vol. 46, p. 100822, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.envdev.2023.100822.
- [4] S. Coleman, S. Hurley, C. Koliba, and A. Zia, "Crowdsourced Delphis: Designing solutions to complex environmental problems with broad stakeholder participation," *Global Environmental Change*, vol. 45, pp. 111–123, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.05.005.



**Interreg
Sudoe**



Co-funded by
the European Union

ENDORSE

www.interreg-sudoe.eu/proyecto-interreg/endorse