

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL NEXO

Herramienta de software RICHWATER



Axarquía, **España**



This project is part of the PRIMA programme supported by the European Union.



PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL NEXO

Herramienta de Software RICHWATER

en la Axarquía, España

Copyright © Boosting Nexus
Framework Implementation in the
Mediterranean (BONEX), 2025

Colaboradores



Equipo de campo

BIOAZUL

Rafael Casielles, Álvaro García

Universidad de Almería

Gabriela de Abreu, Antonio Castro

Universidad de Córdoba

Antonio Hurtado, Julio Berbel

Equipo de desarrollo metodológico

Centro de Investigación Ambiental y Sostenible (CENSE), Escuela de Ciencia y Tecnología NOVA, Universidad NOVA de Lisboa (NOVA FCT)

Paula Antunes, Irene Pérez Ramirez, Jessica Loureiro, Rita Lopes, Rui Ferreira dos Santos, Nuno Videira

Universidad de Kassel

Nora Schütze, Andreas Thiel

Universidad de Almería

Antonio Castro, Enrica Garau, Gabriela de Abreu Pérez

Agua del futuro

Johannes Hunink, Tania Imran, Peter Droogers

Revisión

Nora Schütze (Universidad de Kassel)

Olfa Mahjoub (Instituto Nacional de Investigación en Ingeniería Rural, Agua y Silvicultura - INRGREF)

Universidad de Cartago – UCAR)

Jessica Loureiro (CENSE, NOVA FCT)

Coordinador del proyecto

BIOAZUL

Antonia Lorenzo, Rafael Casielles, Ângela Magno

Documento diseñado por POLPA

Alexandre Pereira

El proyecto BONEX está financiado por el programa PRIMA



BONEX
Boosting Nexus Framework
Implementation in the Mediterranean



This project is part of the
PRIMA programme supported
by the European Union.



Resumen ejecutivo del PIN

La región de la Axarquía, en el sur de España, se enfrenta a varios desafíos, originados principalmente por la escasez de agua, el aumento de la demanda y la variabilidad climática. En las últimas décadas, la expansión de cultivos subtropicales, en particular aguacates y mangos, ha intensificado la demanda de riego, contribuyendo a la sobreexplotación de los recursos hídricos. Esta situación se ve agravada por las sequías prolongadas, la competencia entre los usos urbanos y agrícolas, y la creciente demanda de energía para la distribución de agua.

El [proyecto BONEX¹](https://bonex-prima.eu), ha desarrollado un marco metodológico para la implementación del Nexo entre agua, energía, alimentos ecosistemas (WEFE por sus siglas en inglés), el WEFe Bridging Framework (WEFEF). El marco WEFEF se ha empleado para evaluar soluciones a los desafíos de la Axarquía y proponer estrategias para su implementación abordando las complejas interconexiones del Nexo WEFE e integrando múltiples métodos, que incluyen talleres participativos, entrevistas, análisis de literatura científica y elaboración de encuestas.

El presente Plan de Implementación del Nexo (PIN) es el principal resultado de este ejercicio. El PIN se centra en la evaluación de la herramienta de software RICHWATER, una innovación desarrollada por BIOAZUL, destinada a optimizar la gestión de nutrientes en el riego con agua regenerada. La herramienta RICHWATER tiene un gran potencial para abordar los retos de la Axarquía. Las discusiones con diferentes agentes territoriales identificaron estrategias de implementación para facilitar su adopción, que incluyen:

- **Dirigirse a los usuarios adecuados y facilitar el acceso:** involucrar a agricultores, cooperativas y técnicos agrónomos para garantizar una adopción efectiva.

- **Implementación de un modelo de negocio escalonado con referencias:** ofrecer estructuras de precios accesibles y referencias de casos reales para generar confianza.
- **Claridad y transparencia:** proporcionar datos claros sobre beneficios económicos, fundamentados en testimonios de usuarios y datos sobre ahorro y eficiencia.
- **Aprovechar el apoyo institucional y político:** alinearse con las políticas regionales de agricultura y gestión sostenible del agua.
- **Superar los problemas de conectividad y acceso digital:** garantizar la funcionalidad para áreas con acceso limitado a Internet y ofrecer soluciones digitales fáciles de usar.
- **Promover cambios de comportamiento y favorecer la agricultura digital:** realizar campañas

de formación y concienciación para facilitar la transición hacia prácticas de riego de precisión.

- **Ampliar las oportunidades de financiación e investigación:** asegurar la inversión pública y privada para mejorar la viabilidad a largo plazo y ampliar la investigación sobre el uso del agua regenerada.

Los resultados de este PIN deben servir de base para la futura toma de decisiones, orientando las inversiones, el diseño de políticas y la innovación hacia un sistema agrícola resiliente y eficiente en el uso de los recursos en la Axarquía.

EL PIN
se centra en la
evaluación de la
herramienta de
software
RICHWATER, una
innovación
desarrollada por
BIOAZUL, destinada
a optimizar la
gestión de
nutrientes en el
riego con agua
regenerada.

¹ <https://bonex-prima.eu>



Enfoque metodológico

El proyecto **BONEX** ha implementado la metodología del WEFEF Bridging Framework (WEFEF) para evaluar las interconexiones entre agua, energía alimentos y ecosistemas (WEFE) e identificar las intervenciones adecuadas. WEFEF integra múltiples métodos, incluyendo entrevistas, revisiones de literatura, cuestionarios y talleres participativos. Se basa en las contribuciones de los agentes territoriales para identificar los desafíos clave, priorizar las intervenciones y desarrollar

WEFEF puede servir de apoyo en los procesos de selección de tecnologías o intervenciones. Sin embargo, también puede servir como herramienta para los expertos que ya han seleccionado una tecnología en función de su experiencia, para evaluar su impacto en las cuatro dimensiones del Nexo y su potencial para abordar los desafíos existentes desde una perspectiva holística



soluciones de forma conjunta. Un componente central de este enfoque es el uso de Diagramas de Bucle Causal (CLD por sus siglas en inglés) para visualizar la dinámica del sistema a través de procesos participativos. La culminación de este esfuerzo es el desarrollo del actual Plan de Implementación del Nexo (PIN).

WEFEF puede servir de apoyo en los procesos de selección de tecnologías o intervenciones. Sin embargo, también puede servir como herramienta para los expertos que ya han seleccionado una



tecnología en función de su experiencia, para evaluar su impacto en las cuatro dimensiones del Nexo y su potencial para abordar los desafíos existentes desde una perspectiva holística. Este PIN ha seguido este último enfoque, evaluando la herramienta de software RICHWATER, que fue propuesta por la empresa innovadora BIOAZUL. RICHWATER es el resultado de proyectos de investigación previos, y desempeña un papel clave en la mejora de la rentabilidad y la sostenibilidad del uso del agua regenerada en la agricultura. Al promover la gestión eficiente de nutrientes, RICHWATER se alinea con las políticas nacionales y regionales, asegurando que los esfuerzos para expandir la reutilización del agua sean consistentes con las estrategias de gestión del agua y las regulaciones ambientales existentes.

Descripción del contexto

La comarca de la Axarquía está situada en la franja oriental de la provincia de Málaga, con una **superficie de 1.025 km² y formada por 31 municipios** (Figura 1). Se caracteriza por tener un terreno accidentado con llanuras limitadas y un clima mediterráneo, marcado por precipitaciones escasas y torrenciales, lo que complica la gestión del agua¹. El principal recurso hídrico de la región es el *Embalse de la Viñuela*, con una capacidad de 165,4 hm³, que sirve tanto para el riego agrícola como para el abastecimiento de agua potable. Perteneciente al subsistema II-1 de la Autoridad de la Cuenca Mediterránea, que se alinea con sus límites administrativos y aporta un **caudal medio anual de 129,6 hm³** procedentes de 10 masas de agua superficial. Sin embargo, la demanda de agua, en particular de la agricultura, está ejerciendo presión sobre estos recursos limitados². Las sequías persistentes y el aumento de la demanda han **reducido los niveles de los embalses a mínimos históricos**, mientras que las reservas de agua subterránea muestran signos de sobreexplotación con una disminución de los niveles piezométricos y un mayor riesgo de **intrusión salina** en los acuíferos costeros³. Se estima que el **déficit hídrico anual** se sitúa entre **17 y 32 hm³**.

Las autoridades han respondido con medidas para incrementar la oferta hídrica, como la integración de aguas residuales regeneradas y la planificación de la infraestructura de desalación. En este contexto, la comarca de la Axarquía se ha visto afectada por varias intervenciones reguladas por los denominados Decretos de Sequía dictados por el gobierno regional de la Junta de Andalucía. Estos decretos incluyen medidas como la implantación de tratamientos terciarios en las plantas de tratamiento de aguas residuales con objeto de aumentar la disponibilidad de agua regenerada para el riego agrícola. Como resultado, la Axarquía **tendrá un volumen total de 19,14 hm³ de agua regenerada para riego**. La inversión pública de la Junta de Andalucía para dotar de agua regenerada a los agricultores de la Axarquía **supera los 42,14 millones de euros**⁴.

Tras la implantación de los tratamientos terciarios en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) de Torrox-IARA y Torrox-Arroyo Manzano, se ha concedido una autorización temporal por 1,14 hm³ anuales, beneficiando a 570 hectáreas pertenecientes a la Junta Central de Usuarios del Sur de Guaro, mientras se tramita la concesión definitiva⁵. Del mismo modo, la PTAR de Algarrobo recibió **el pasado 23 de junio la autorización temporal por 0,77 hm³**, beneficiando a más de 400 hectáreas dentro de la

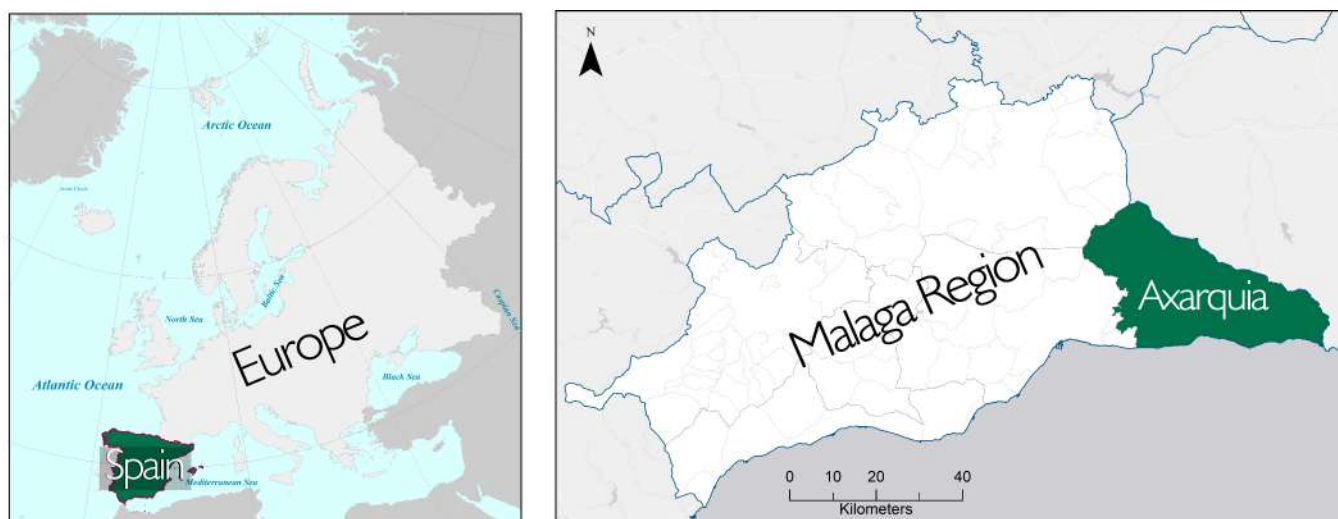


Figura 1 – Mapa de la comarca de la Axarquía (Málaga, España).



Comunidad de Regante de Algarrobo, a la espera de una concesión definitiva^{5,6,7}. Estas iniciativas contribuyen a la creciente dependencia de la región de las fuentes de agua no convencionales para las prácticas agrícolas sostenibles.

La Axarquía ha experimentado una importante transformación agrícola, con un cambio de los cultivos tradicionales al cultivo de frutas subtropicales, como el aguacate y el mango, **que ahora consumen el 76% del uso total de agua agrícola³**. El cambio hacia estos cultivos de alto valor e intensivos en agua ha aumentado significativamente la demanda de riego, superando las concesiones oficiales de agua asignadas por la autoridad de cuenca⁴. Los agricultores a menudo dependen de técnicas de riego deficitarias, la extracción de agua subterránea y el comercio entre los propietarios de derechos de agua para mantener la producción.

Las fuentes de agua no convencionales, como el agua regenerada, se han introducido como parte de

las soluciones a corto plazo, con esfuerzos continuos para integrarlas en las estrategias de gestión del agua agrícola a largo plazo. Sin embargo, la calidad del agua regenerada sigue siendo variable, con desafíos relacionados con la salinidad, el contenido de nutrientes y la eliminación de contaminantes, lo que requiere inversiones sustanciales en tecnologías de monitoreo y mejoras en la infraestructura de riego⁸.

El crecimiento de la población, impulsado por la migración y el turismo, ha aumentado significativamente la demanda de agua. La población aumentó **de 143.000 en 1998 a más de 228.000 en 2023⁹**, y el turismo impulsó el **consumo estacional de agua un 60% más que la media nacional¹⁰**. Las elevadas pérdidas de agua en las infraestructuras urbanas agravan el problema, **con pérdidas en la red de distribución que superan el 24%¹¹**.

El nexa Agua, Alimentos, Energía y Ecosistemas en la Axarquía

Los desafíos del Nexa Agua-Energía-Alimentos-Ecosistemas (WEFE) en la región de la Axarquía están originados principalmente por la escasez estructural de agua, la intensificación agrícola y la variabilidad climática. La expansión del cultivo de frutas subtropicales (aguacates y mangos) ha llevado a un aumento de la demanda de riego.

Esta dependencia excesiva del riego ha dado lugar a una sobreexplotación de los recursos de aguas superficiales y subterráneas, exacerbada por sequías prolongadas y un régimen de lluvias muy estacional. Las consecuencias de estas presiones se extienden a través del nexa WEFE, creando importantes impactos ambientales, económicos y sociales.

¹ IFAPA - Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2025. Listado de estaciones meteorológicas en la provincia de Málaga. [URL](#)

² Junta de Andalucía, 2025. Visor de los embalses andaluces. [URL](#)

³ Hurtado, A. R., Díaz-Cano, E., & Berbel, J. (2024). La paradoja del éxito: el cierre de los recursos hídricos en la Axarquía (sur de España). *La Ciencia del Medio Ambiente Total*, 946, 174318. [URL](#)

⁴ Axarquía Plus. (2023, 17 agosto). La Junta autoriza el uso de nuevas aguas regeneradas a regantes de la Axarquía para aliviar el impacto de la sequía. *AxarquíaPlus..* [URL](#)

⁵ Zea, Á. (2023, 17 agosto). La Junta autoriza el uso de nuevas aguas regeneradas a regantes de la Axarquía para aliviar el impacto de la sequía. *Europapress.es*. [URL](#)

⁶ Málaga Hoy. (2023, 17 agosto). La Junta autoriza el uso de nuevas aguas regeneradas a regantes de la Axarquía. *Málaga Hoy*. [URL](#)

⁷ El Español. (2023, 17 agosto). La Junta de Andalucía saca pecho de su política del agua en La Axarquía frente a la «dejadez» del Gobierno. *El Español*. [URL](#)

⁸ Junta de Andalucía, 2024. Encuesta Anual de Precios del Suelo 2023. [URL](#)

⁹ INE - Instituto Nacional de Estadística. (2025). Málaga: Población por municipios y sexo. INE. [URL](#)

¹⁰ Cabezas, E. (2023, 6 julio). Los municipios de la Axarquía son incapaces de llegar a un consenso sobre medidas para ahorrar agua. *Diario Sur*. [URL](#)

¹¹ Cabezas, E. (2023a, june 30). Vélez-Málaga y al menos otros cinco pueblos de la Axarquía cortan el agua por la noche *Diario Sur*. [URL](#)

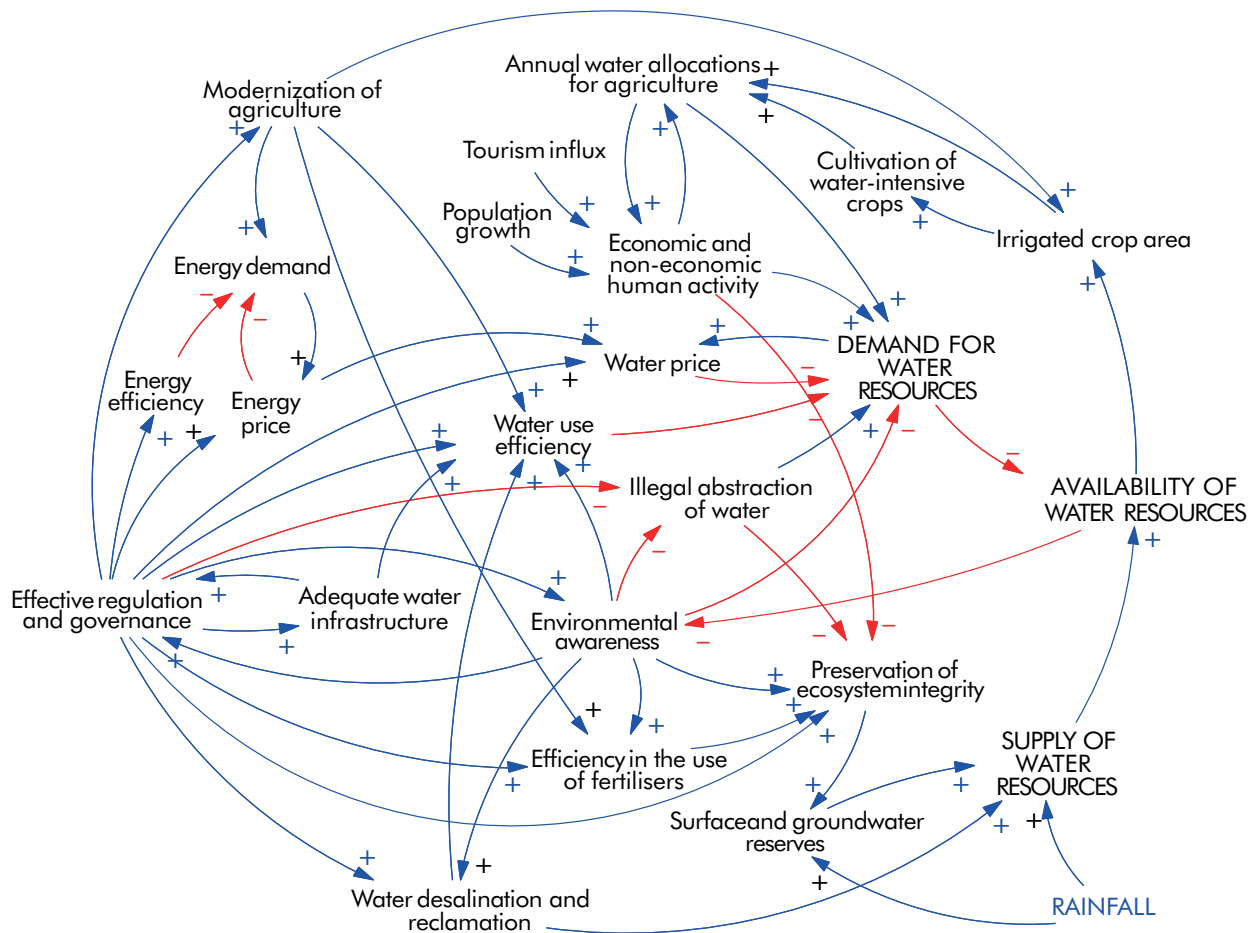


Figura 2: Diagrama de bucle causal de la Axarquía. Una versión de esta figura ha sido publicada en acceso abierto en: (Hurtado et al., 2024)³.

El desequilibrio entre la oferta y la demanda de agua ha sido un tema central identificado en el primer taller participativo de BONEX. Esto se refleja claramente en los Diagramas de Bucle Causal (CLD) (Figura 2).

El uso de aguas regeneradas es una de las soluciones de mayor interés para los agentes territoriales, y las autoridades regionales han realizado importantes esfuerzos para facilitar su uso. Sin embargo, los agentes territoriales, especialmente los agricultores, expresaron su preocupación por los **elevados niveles de salinidad**, perjudicial para los cultivos subtropicales que son especialmente sensibles a un alto contenido en sales. El problema de la salinidad se deriva de la **intrusión de agua de mar en la red de saneamiento**, y las plantas de tratamiento actuales no son capaces de eliminarlo. Además, existe una **brecha de conocimiento**

entre los agricultores sobre la gestión eficaz del riego con agua regenerada, especialmente en el aprovechamiento de su contenido de nutrientes para reducir el uso de fertilizantes. Si bien el agua regenerada puede proporcionar nutrientes esenciales, una gestión inadecuada puede provocar un exceso de nutrientes, lo que aumenta el riesgo de degradación del suelo y de contaminación difusa. El taller puso de manifiesto la necesidad de mejorar **la planificación y la infraestructura** para garantizar la calidad del agua y el desarrollo de herramientas de **gestión adaptadas** para optimizar el uso del agua regenerada en la agricultura. Grupos ambientalistas y ONGs fueron entrevistados para compartir sus perspectivas. Estos actores generalmente destacan que el cambio a la agricultura de monocultivo ha contribuido a la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo y una mayor dependencia de los insumos químicos, lo



que afecta la calidad del agua y la salud de los ecosistemas. Además, las demandas energéticas del riego intensivo y el bombeo de agua han elevado la huella de carbono de la agricultura, aumentando su vulnerabilidad al aumento de los costes de la energía y las regulaciones de emisiones. La intrusión de agua salada en los acuíferos costeros amenaza aún más la calidad del agua, lo que añade complejidad a la futura gestión de los recursos.

Valores no monetarios

En la Axarquía se llevó a cabo una evaluación del valor no monetario para comprender cómo los grupos de interés perciben los componentes del Nexo WEFE. A través de 14 encuestas con representantes de la agricultura, la gestión del agua y el desarrollo local, el estudio reveló un fuerte énfasis en el valor práctico de los recursos naturales, en particular el agua y la energía, que se consideran esenciales para la economía de la región, especialmente para la producción de frutas subtropicales.

Si bien predominaron las preocupaciones económicas, muchos encuestados también reconocieron la importancia cultural, emocional y ecológica de la tierra. Estos incluyeron

profundos lazos con los ecosistemas locales, el patrimonio cultural y una creencia compartida en la importancia fundamental de la naturaleza, lo que supone un compromiso con la sostenibilidad (Figura 3).

Los hallazgos muestran una conexión predominantemente positiva con el medio ambiente, aunque persisten las preocupaciones sobre el cambio climático y la escasez de recursos. Los encuestados demostraron una buena comprensión de los ecosistemas locales, pero señalaron margen de mejora en la conciencia y participación.

Los resultados de las encuestas revelaron un contraste con las aportaciones de los agentes territoriales durante los talleres. Las discusiones del taller se centraron más en soluciones inmediatas y específicas del sector, como la expansión del uso de agua regenerada y desalada, mientras que las encuestas reflejaron valores más amplios, incluidas consideraciones ecológicas y culturales a largo plazo. Esto pone de relieve cómo los formatos de participación influyen en la expresión de los agentes territoriales, subrayando la importancia de combinar métodos para una comprensión más completa de las prioridades dentro del Nexo WEFE.



Figura 3 – Nube de palabras de las entrevistas realizadas.

Solución WEFé: RICHWATER – una aplicación para gestionar el riego con agua

La **intervención** en la Axarquía se basa en la herramienta de software RICHWATER, desarrollada en el marco del proyecto BONEX por Bioazul y SmartLogger. La herramienta RICHWATER está diseñada para mejorar la gestión de nutrientes en el uso de agua regenerada para riego agrícola y pretende respaldar prácticas de fertirriego eficientes y sostenibles. Esta iniciativa responde a un reto medioambiental crítico: el riesgo de exceso de nutrientes y contaminación difusa por el uso inadecuado del agua regenerada. Los agentes territoriales han expresado su preocupación por el impacto de estos desequilibrios en la calidad del agua y la salud de los ecosistemas. Al mismo tiempo, abogan por soluciones del lado de la oferta, como el agua regenerada, para hacer frente a la grave escasez de agua en la región. La intervención tiene como objetivo garantizar que el agua regenerada contribuya no solo a la resiliencia agrícola, sino también a la preservación de los ecosistemas, un elemento clave pero a menudo olvidado del nexo WEFé. La herramienta RICHWATER realiza un cálculo preciso de los nutrientes aportados por el agua regenerada y determina la mezcla óptima de fertilizantes necesaria para completar la nutrición

de los cultivos. La herramienta dispone de una base de datos regional de fertilizantes comerciales, lo que permite recomendaciones personalizadas que son tanto agrónomicamente efectivas como seguras para el medio ambiente. **La herramienta RICHWATER (Figura 4)** ayuda a prevenir la **contaminación por nitratos de las aguas subterráneas** al evitar la fertilización excesiva, reduce **los costes de los fertilizantes** al tener en cuenta los nutrientes ya presentes en el agua regenerada y reduce **la huella de carbono** de la agricultura al disminuir la dependencia de los fertilizantes sintéticos.

Barreras y factores facilitadores

Las barreras y oportunidades para implementar la herramienta de software RICHWATER se identificaron de manera colaborativa con los agentes territoriales durante el 2º taller participativo de BONEX (Figura 5). Este evento permitió a los participantes destacar los factores clave que podrían facilitar o dificultar la implementación de la solución. Al interactuar

 directamente con los agentes territoriales, el taller proporcionó información valiosa sobre los desafíos prácticos, las limitaciones regionales y las oportunidades y factores clave para su adopción. Las barreras y oportunidades identificadas en el taller sirven como base para



Figura 4 – Captura de pantalla de la aplicación RICHWATER.



desarrollar una estrategia de implementación adaptada al contexto local, asegurando que la herramienta se alinea con las necesidades, expectativas y realidades de los usuarios.

Barreras:

- **Costes:** La herramienta software RICHWATER operará a través de un modelo de suscripción. Es posible que algunos agricultores no perciban suficiente valor en la herramienta para justificar el coste de la suscripción.
- **Abundancia de herramientas:** La alta competencia en el mercado y la abundancia de herramientas y softwares de riego inteligentes dificulta que RICHWATER se posicione como la opción preferida en un mercado tan saturado y competitivo.
- **Necesidad de formación:** Algunos agricultores pueden requerir formación adicional para utilizarla de forma efectiva, incluyendo la comprensión de los datos de entrada, la interpretación de las recomendaciones y la resolución de problemas técnicos.
- **Problemas de conectividad:** En zonas remotas, la falta de conectividad a Internet o de acceso fiable a la electricidad puede dificultar el uso de herramientas digitales.
- **Resistencia al cambio:** Algunos agricultores pueden ser reacios a adoptar nuevas tecnologías o modificar las prácticas tradicionales,

especialmente si perciben que los beneficios solo se materializarán a largo plazo o son inciertos.

Oportunidades:

- **Continuidad de la financiación:** La trayectoria de los proyectos de innovación en la parcela experimental, reconocida como "Living Lab" por la Plataforma Europea del Agua, representa una oportunidad para la consecución de proyectos futuros que den continuidad al proyecto BONEX.
- **Beneficios medioambientales y económicos:** La herramienta optimiza la gestión de nutrientes, reduciendo la necesidad de fertilizantes y minimizando la contaminación difusa.
- **Recomendaciones personalizadas:** La herramienta ofrece recomendaciones personalizadas para los cultivos subtropicales más relevantes de la *Axarquía* (aguacate, mango y pitaya) y las condiciones locales.
- **Alineación con marco legislativo:** La desarrollada en BONEX ayuda a los agricultores a cumplir con las regulaciones e iniciativas ambientales. Por ejemplo, apoya el cumplimiento de la Directiva de Nitratos de la UE mediante el seguimiento y la gestión de los nutrientes aplicados.
- **Actividades formativas:** Los talleres y encuentros formativos organizados por el proyecto BONEX y otros proyectos relacionados en la región, como AXARQUÍA SOSTENIBLE o P2GREEN, facilitan el intercambio de conocimientos, casos de éxito y buenas prácticas.



Figure 5 – Segundo taller participativo de BONEX.

Estrategias de implementación

Reconociendo la complejidad de la adopción de soluciones digitales en la agricultura, el proyecto BONEX organizó un tercer taller participativo para identificar medidas prácticas que impulsen la adopción y garantizar el impacto a largo plazo. Los resultados de este taller señalan varias áreas clave para la acción:

1. Adaptar la herramienta a los usuarios adecuados y cerrar las brechas de conocimiento

Los agricultores son los principales beneficiarios, pero no tienen por qué ser los usuarios más habituales de las herramientas digitales. Los participantes destacaron el papel de los técnicos agrícolas, las cooperativas y las comunidades de regantes en la gestión de herramientas de optimización de riego. Además, destacaron la necesidad de formación no solo sobre la herramienta en sí, sino también sobre las prácticas de gestión de nutrientes cuando se utiliza agua regenerada. Empoderar a los usuarios para interpretar los datos de análisis de suelo y agua es un factor facilitador crítico para la adopción.

2. Adaptar el modelo de negocio y demostrar valor

El coste no se percibe como una barrera en sí misma, siempre y cuando la herramienta demuestre ahorros económicos tangibles. Los participantes sugirieron un modelo de suscripción escalonado adaptado a diversos perfiles de usuarios, incluidos los pequeños agricultores, las cooperativas y las grandes fincas. Para fomentar la aceptación, se propuso un período de prueba gratuito y parcelas de demostración como formas efectivas de mostrar los beneficios a escala real, como la mejora de los rendimientos y la reducción de los costes de los insumos. La integración de funciones como el cálculo de la huella de carbono de los fertilizantes también podría ayudar a visualizar

los impactos positivos en el medio ambiente y reforzar el valor de sostenibilidad de la herramienta.

3. Generar confianza y fortalecer la adopción del mercado

El escepticismo hacia las nuevas tecnologías sigue siendo un obstáculo. Es más probable que los agricultores adopten una herramienta cuando ven resultados por sí mismos, preferiblemente a través de fuentes fiables. Por lo tanto, los esfuerzos de marketing deben centrarse en las ventajas económicas, utilizando mensajes claros y testimonios de usuarios. Paralelamente, la validación a través de canales oficiales, como la certificación de calidad o la inclusión en sitios web gubernamentales, pueden aumentar la credibilidad. Alinear la herramienta con programas de certificación como GLOBAL GAP o estándares de agricultura orgánica aumentaría aún más su atractivo.

4. Asegurar el apoyo institucional y político

El taller subrayó la importancia de involucrar a las administraciones regionales, las agencias ambientales y los organismos de gobernanza del agua en el proceso. Al integrar características que respaldan el cumplimiento del Reglamento de Reutilización de Agua de la UE, la Directiva de Nitratos y las normas de eficiencia del agua, RICHWATER puede convertirse en una herramienta valiosa para la implementación de políticas y beneficiarse de un respaldo institucional más amplio.

5. Abordar los desafíos de la conectividad

En algunas zonas de la Axarquía, la mala conectividad a Internet limita el acceso a las herramientas digitales. Los participantes pidieron una funcionalidad fuera de línea robusta que permita a los agricultores utilizar la herramienta en el campo y sincronizar los datos cuando haya una conexión disponible, lo que garantiza la usabilidad en zonas remotas.



6. Promover el cambio de comportamiento y la formación digital

La resistencia al cambio es una barrera habitual en soluciones digitales, especialmente cuando los beneficios no son inmediatos o tangibles. Para cambiar la mentalidad, es vital compartir historias de éxito reales a través de medios de comunicación locales, redes de agricultores y eventos, haciendo que las ventajas de la herramienta sean visibles y cercanas.

7. Garantizar la viabilidad financiera y técnica a largo plazo

Por último, garantizar que RICHWATER evolucione y se amplíe requiere una inversión sostenida. Esto incluye el acceso a programas de financiación europeos y regionales (p. ej. Horizonte Europa, PRIMA, LIFE+, Grupos Operativos) y el fomento de asociaciones público-privadas con cooperativas, empresas de agrotecnología y empresas de fertilizantes.

Otras acciones complementarias dentro del enfoque Nexo

La herramienta RICHWATER desempeña un papel crucial en la mejora del nexo WEFE al optimizar la gestión de nutrientes en la agricultura. Sin embargo, no puede considerarse como una solución única para abordar todos los desafíos de la región. Más allá de las soluciones propuestas, deben adoptarse medidas complementarias adicionales. Las acciones clave identificadas incluyen:

- **Mejora de la eficiencia del riego:** La adopción de técnicas de riego avanzadas, como el riego por goteo, el riego deficitario y el fertirriego de precisión basados en datos en tiempo real, puede reducir significativamente el consumo de agua al tiempo que mantiene o incluso mejora la productividad de los cultivos.

- **Prevención de pérdidas de agua en la red de distribución:** Se deben priorizar los programas de prevención y mantenimiento de fugas para minimizar las pérdidas de agua en las redes de riego, abastecimiento de agua y saneamiento. Las inversiones en la modernización de la infraestructura obsoleta, la instalación de medidores inteligentes y la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real pueden mejorar la eficiencia de la gestión del agua.

- **Transición hacia cultivos más resilientes al clima:** El cambio hacia cultivos de alto valor y resistentes a la sequía es una estrategia de adaptación efectiva. Cultivos como el maracuyá y la pitaya, que requieren menos agua que otros cultivos subtropicales, ofrecen una alternativa prometedora para los agricultores de la Axarquía. Los resultados del grupo operativo Axarquía Sostenible deben incorporarse para guiar a los agricultores en la selección de cultivos resilientes y económicamente viables que se alineen con las prácticas agrícolas sostenibles.

- **Promoción de la agroecología y la agricultura regenerativa:** Avanzar hacia enfoques agroecológicos puede mejorar la salud del suelo, la retención de agua y la biodiversidad, reduciendo la dependencia de los insumos sintéticos y mejorando la sostenibilidad de las explotaciones. Fomentar las cubiertas verdes, la rotación de cultivos, el enriquecimiento de la materia orgánica y la labranza de conservación puede ayudar a los agricultores a adaptarse a las limitaciones de agua y mantener la productividad a largo plazo.

Al integrar estas medidas en una estrategia integral basada en el Nexo, la Axarquía puede fortalecer su seguridad hídrica y mejorar la sostenibilidad agrícola asegurando un enfoque más resiliente ante la incertidumbre climática de los próximos años.

Indicadores de rendimiento

Si bien la herramienta se aplica a cualquier tipo de cultivo, su objetivo principal es optimizar la gestión de nutrientes en cultivos subtropicales como aguacates y mangos. La herramienta ayuda a reducir la necesidad de fertilizantes químicos, lo que puede suponer un importante ahorro de costes.

El rendimiento de la herramienta se puede medir a través de reducciones en el uso de fertilizantes. En casos modelados de plantaciones jóvenes de mango y aguacate, el uso de fertilizantes disminuyó en un 68% y un 79%, respectivamente. Se trata de cifras muy prometedoras que demuestran la eficacia de la herramienta para reducir la dependencia de los fertilizantes químicos. Esta reducción se traduce en un ahorro de costes y ayuda a reducir el impacto medioambiental de la agricultura.

En general, la intervención integra los cuatro componentes del Nexo WEF: garantizar la eficiencia hídrica, apoyar la producción de alimentos, reducir los insumos intensivos en energía y salvaguardar los ecosistemas, contribuyendo así a un sistema agrícola más sostenible y resiliente en la región.

Análisis REWEFe para la comarca de la Axarquía

En el marco del proyecto BONEX, se aplicó la herramienta REWEF (Resource Efficiency within the Water-Energy-Food-Ecosystems Nexus Framework) en la comarca de la Axarquía para evaluar los impactos de la aplicación de RICHWATER. El análisis exploró cómo las diferentes estrategias de gestión de nutrientes afectan las dimensiones interconectadas del Nexo

WEFE: el uso del agua, la producción de alimentos, los insumos energéticos y la salud del ecosistema.

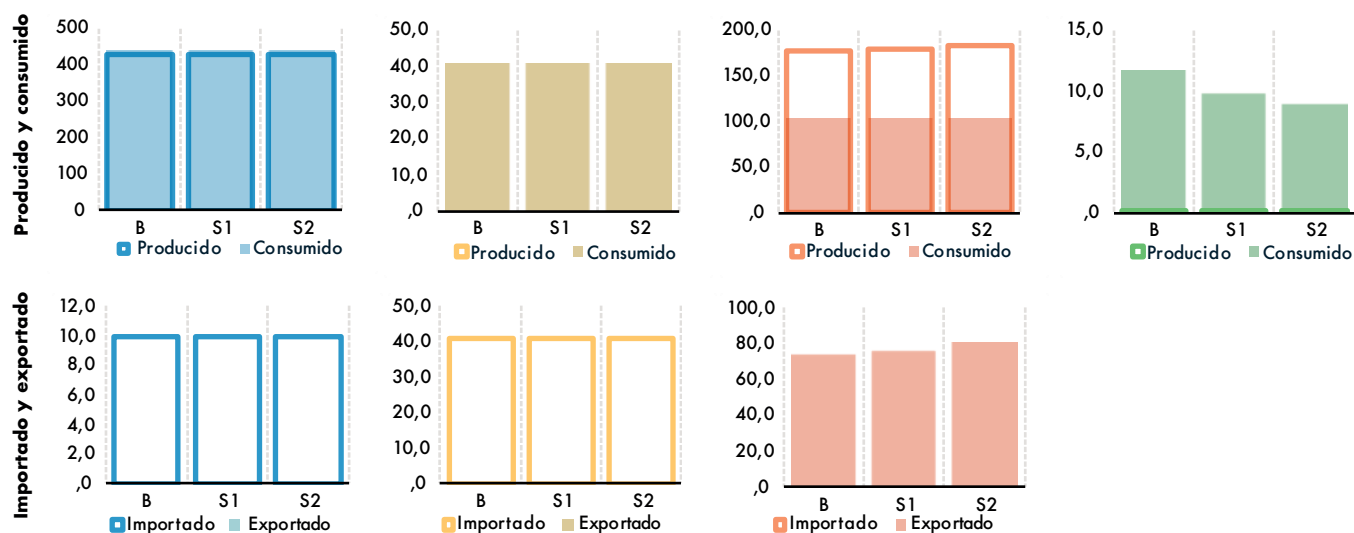
Los resultados presentados se centran en los escenarios S1 y S2 (*Figura 6*), lo que permite la comparación con la línea de base para resaltar las **sinergias, las compensaciones y los beneficios de sostenibilidad** de adoptar prácticas de gestión precisa de nutrientes como RICHWATER.

Resultados clave:

- Una mejor gestión de los nutrientes tiene un impacto positivo en el ecosistema, ya que hay menos lixiviación de nutrientes y menos emisiones de CO2 provocadas por la aplicación de fertilizantes.
- Debido a la mayor fracción de absorción de nutrientes, la producción de alimentos es mayor en S1 y S2, donde se implementa el sistema de gestión de nutrientes. Esto también se refleja en los niveles de estrés nutricional reportados para todos los escenarios, sin que prevalezca el estrés nutricional en el escenario mejorado.
- El sistema reporta un estrés general de agua azul del 35%, lo que indica que las demandas dentro de la unidad de nexo son mayores que el agua azul disponible. El agua azul es la suma de la escorrentía, el agua desalada, el agua subterránea bombeada, las entradas externas y el agua regenerada.
- La mejora de la gestión de nutrientes minimiza la aplicación de fertilizantes y la posterior lixiviación de nutrientes, lo que contribuye a un ecosistema más saludable. También se traduce en una mayor producción de alimentos, ya que se minimizan los niveles de estrés nutricional a los que se enfrentan los cultivos. No se reportan compensaciones (trade-offs) para este análisis de escenarios, ya que el uso de agua regenerada y la gestión eficiente de nutrientes tienen un impacto positivo tanto en el medio ambiente como en la producción de alimentos.



RESULTADOS



CAMBIOS COMPARADOS CON EL ESCENARIO BASE

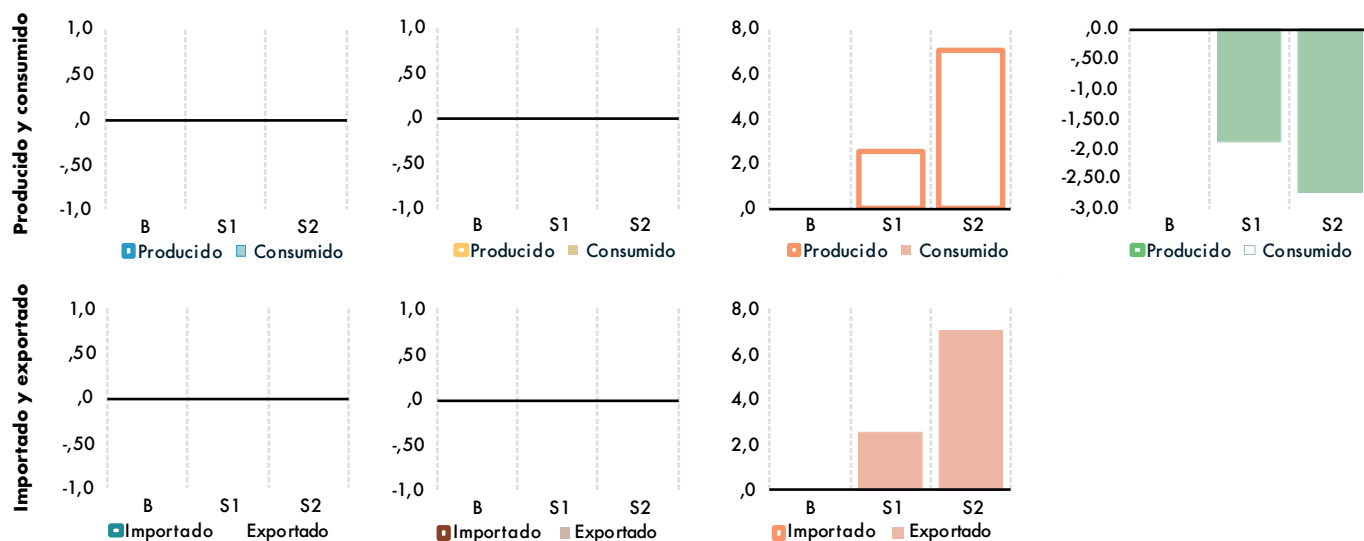


Figura 6 – Resultados de los tres escenarios de REWEF: **Línea de base (B)**: Refleja las condiciones actuales en la Axarquía, donde no existe un sistema formal de gestión de nutrientes; **Escenario 1 (S1)**: Supone una mayor eficiencia en la aplicación de fertilizantes; **Escenario 2 (S2)**: Representa un escenario mejorado con una adopción más amplia de la gestión óptima de nutrientes por parte de los agricultores.

Conclusiones

El presente Plan de implementación del Nexo (PIN) para la Axarquía es el resultado de una evaluación exhaustiva de los desafíos del Nexo y el potencial de la herramienta RICHWATER. El análisis confirma que la herramienta RICHWATER contribuye a abordar los principales desafíos hídricos y agrícolas, mejorando la eficiencia del uso del agua regenerada en el riego, reduciendo el uso excesivo de fertilizantes y minimizando la contaminación ambiental. Al permitir una aplicación más precisa de nutrientes, RICHWATER también tiene el potencial de reducir los costes de los agricultores y mejorar la calidad del suelo y el agua, apoyando una agricultura más sostenible. Sin embargo, aunque RICHWATER representa un importante paso adelante, no puede por sí solo resolver los problemas de la Axarquía. Son necesarias medidas adicionales que aborden las barreras técnicas y socioeconómicas. El uso del agua regenerada sigue siendo limitado, no solo debido a los problemas de calidad del agua, sino también debido a las dudas y falta de conocimiento sobre su uso eficaz. Es necesario mejorar la infraestructura de agua y saneamiento, en particular para reducir los niveles de salinidad, y desarrollar programas de formación para aportar los conocimientos necesarios sobre un uso seguro y sostenible del agua regenerada. Además, la adopción de herramientas digitales a menudo requiere de apoyo institucional para superar la reticencia hacia las nuevas tecnologías.

El PIN destaca que los desafíos de la Axarquía exigen una estrategia que integre todas las dimensiones del nexo. Si bien las soluciones digitales como RICHWATER mejoran la sostenibilidad de las explotaciones agrícolas, no solucionan por sí mismas la escasez estructural de agua, la degradación de los ecosistemas o la dependencia energética. Las intervenciones futuras deben explorar el avance de la eficiencia del riego a través de tecnologías inteligentes, promover la planificación sostenible del uso de la tierra e integrar prácticas como la agroecología y el cultivo de variedades de menor demanda hídrica. Además, el problema de la sobreexplotación de las aguas subterráneas sigue siendo un desafío persistente que debe abordarse mediante medidas de gobernanza más

sólidas, que garanticen una distribución equitativa y sostenible del agua.

El cambio climático y las tendencias socioeconómicas determinarán aún más los desafíos de la región en el futuro, lo que hace que la planificación a largo plazo sea esencial. Los cambios en los patrones de precipitación aumentarán la presión sobre la disponibilidad de agua, y eso podría exacerbar la competencia entre los usos urbanos y agrícolas. El aumento de los costes de la energía podría influir en la viabilidad de soluciones de uso intensivo de energía, como la desalación o los sistemas avanzados de riego, lo que pone de relieve la necesidad de una mayor integración de las fuentes de energía renovables en la gestión del agua y la agricultura. Además, es probable que la evolución de los mercados agrícolas y los marcos regulatorios afecte a las decisiones de los agricultores, particularmente a medida que los estándares de sostenibilidad y las restricciones ambientales se vuelvan más estrictos a nivel nacional y europeo.

El actual PIN sirve como una herramienta estratégica para navegar por estas complejidades, ofreciendo tanto un marco de evaluación y una hoja de ruta para la acción. Los responsables políticos, los gestores del agua y los agentes territoriales pueden utilizar este documento para priorizar las intervenciones, garantizando que las soluciones no solo sean tecnológicamente sólidas, sino también socioeconómicamente viables y ambientalmente sostenibles. Además, el presente PIN proporciona una base para futuros procesos participativos, lo que permite una mayor participación de los agentes territoriales en el diseño de intervenciones.

En última instancia, el PIN debe considerarse como un documento vivo, que puede revisarse y ampliarse a medida que evolucionan los desafíos regionales. Ofrece una perspectiva multisectorial que es esencial para guiar futuras inversiones, reformas y avances tecnológicos, asegurando que el agua, la energía, los alimentos y los ecosistemas de la Axarquía se gestionen de manera verdaderamente integrada y sostenible.



Consortio

	BIOAZUL University of Cordoba FutureWater Universidad de Almería
 Spain	
Germany	UNI KASSEL
 Portugal	Center for Environmental and Sustainability Research (CENSE), NOVA University of Lisbon Natural Business Intelligence (NBI)
 Italy	Consorzio della Bonifica Renana University of Bologna
 Jordan	German Jordanian University IUCN-ROWA
 Lebanon	American University of Beirut NOVAENERGIA
 Morocco	Agronomic and Veterinary Institute Hassan II
 Tunisia	SmartLOGGER National Institute for Research in Rural Engineering Water and Forests - INRGREF