



Manejo sostenible y calidad del suelo

El fósforo en suelos agrarios

Logroño, 28 de noviembre 2024

Fósforo

- 1. Cerca de tres cuartas partes del fósforo total (en todas sus formas químicas) se emplean como fertilizante.
- 2. Representa aprox. 0,1% de la corteza terrestre, y Marruecos posee más del 77% de los recursos, y 2/3 de la producción la controla junto con China y EEUU.
- 3. La liberación mineral a formas asimilables es muy lenta.
- 4. ¿Suelos sin fósforo o con bajo fósforo disponible en Europa?.
- 5. Uno de los responsables de la eutrofización de aguas.
- 6. Elemento poco estudiado.

Elementos esenciales

Criterios de Esenciabilidad (Arnon and Stout, 1939)

Imprescindible: Sin el elemento, la planta no puede cumplir el ciclo vegetativo y reproductivo.

Insustituible: Deficiencia específica para cada elemento, sólo corregida aportando ese elemento concreto.

Elemento envuelto directamente en un proceso metabólico de la planta, ya sea:

- **Constituyente** de un metabolito esencial.
- Imprescindible en un paso **metabólico** concreto.

Elementos esenciales

Elementos esenciales

Macroelementos:

C	H	N	K	Mg
O		P	Ca	S

Microelementos:

Fe	Cu	B	Cl
Mn	Zn	Mo	(Ni, Co, Se)

Esenciales para algunos cultivos y Beneficiosos

Si	Va	Al	Ba
Na	Co	Sr	Ru



Necesidades de nutrientes

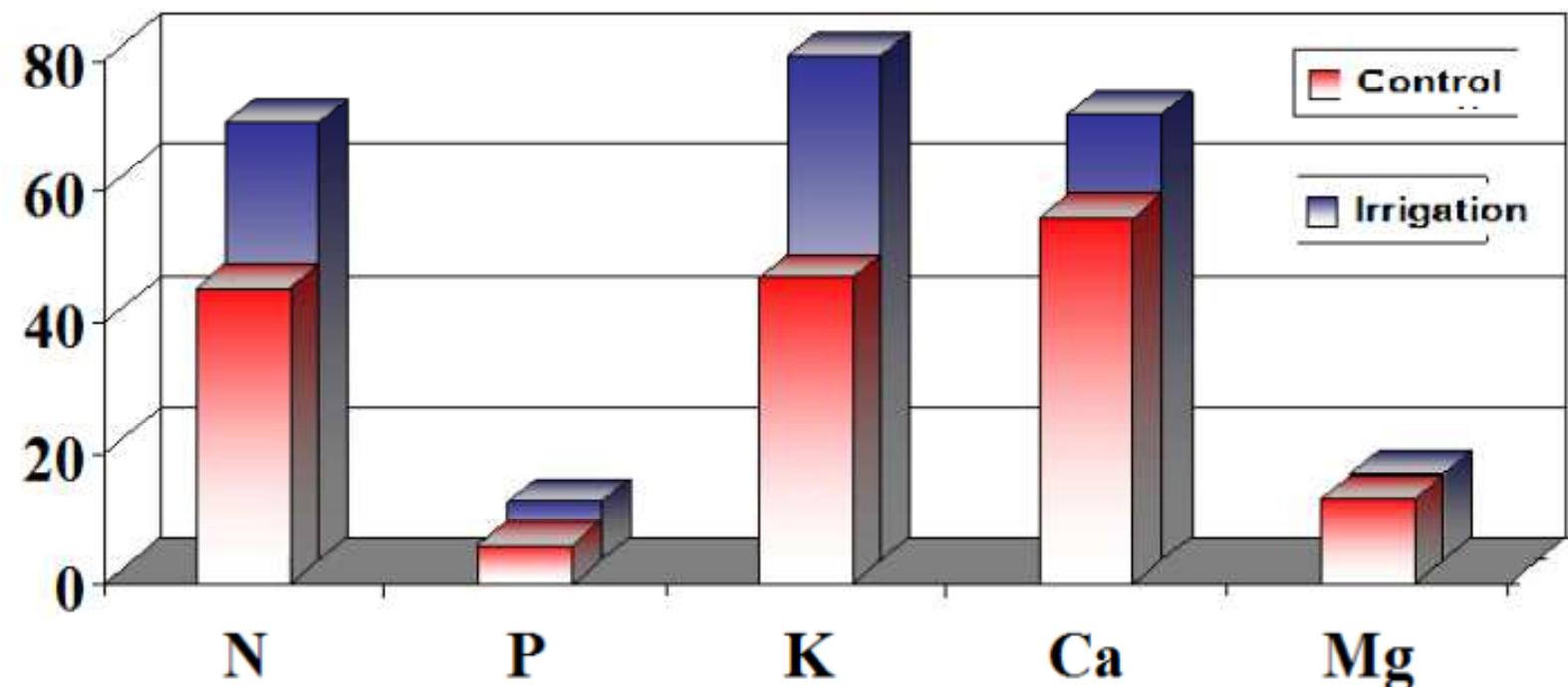
¿Necesidades?

Nutrient	Average uptake
N	52 (20-70)
P ₂ O ₅	16 (4-25)
K ₂ O	60 (20-70)
CaO	73 (40-120)
MgO	15 (5-25)

10% a madera, raíces y reservas

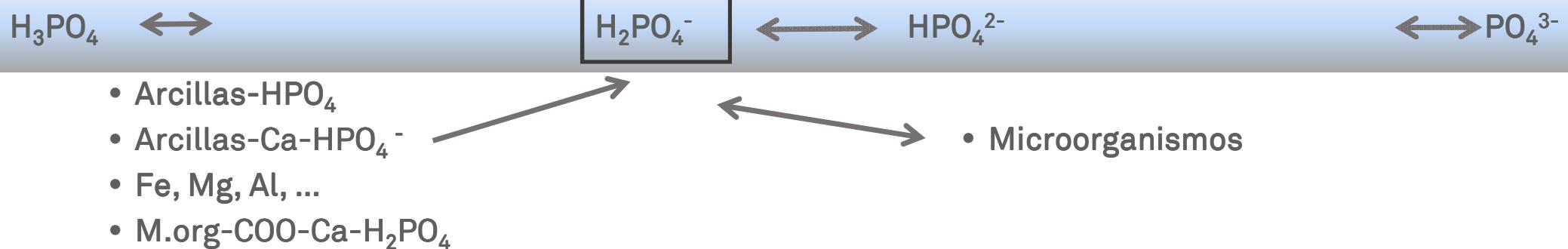
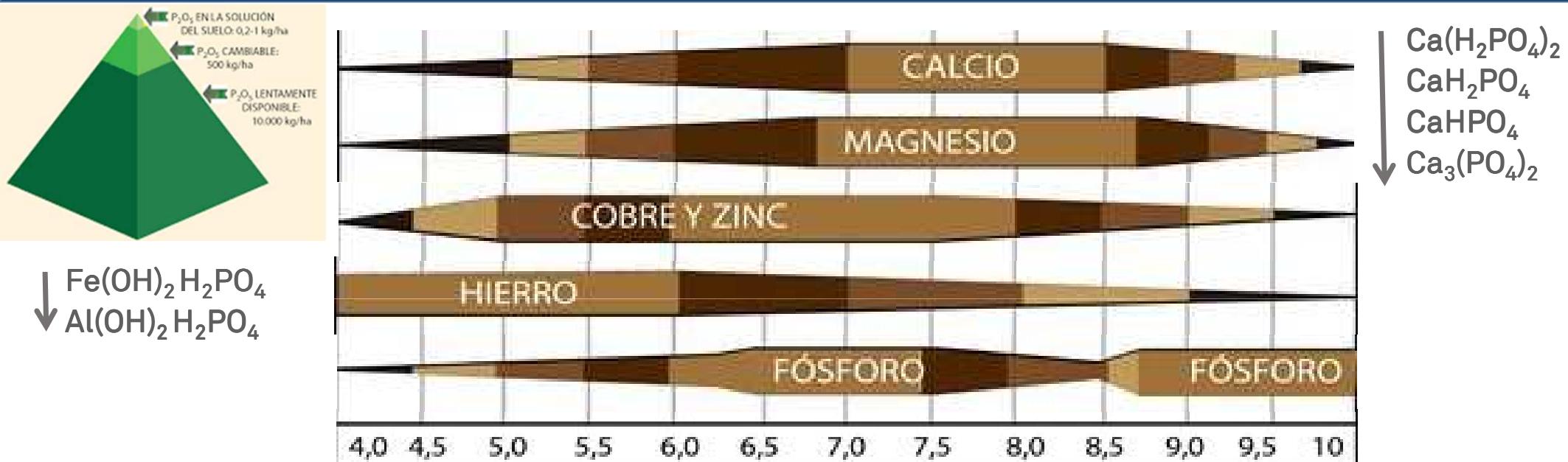
Necesidades de nutrientes

- Ensayo: 1994 (Alfaro, Rioja Baja)
- Variedad: Tempranillo / R-110
- Plantación: 1982
- Tratamientos:
 - Secano
 - Riego

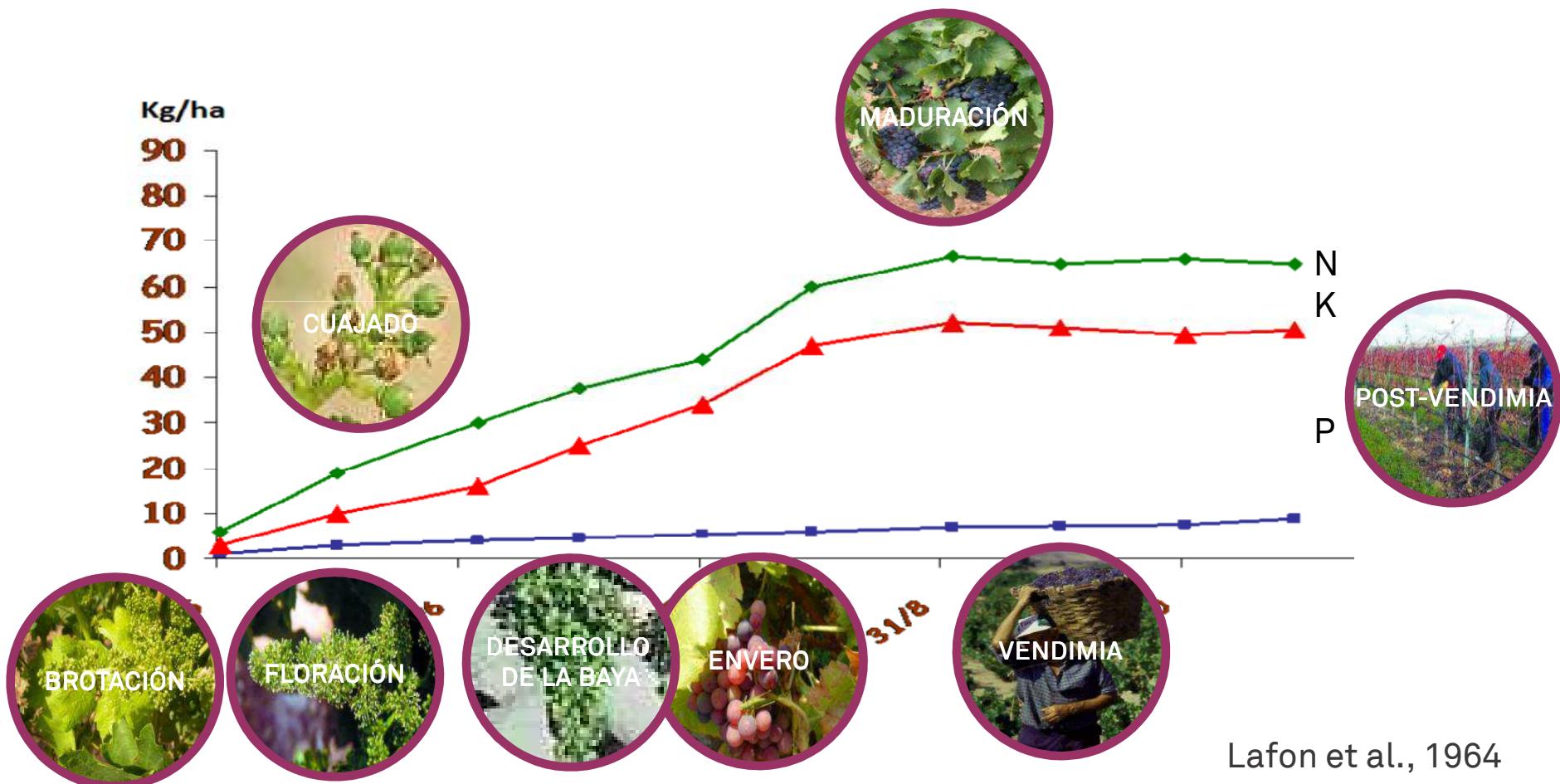


García-Escudero et al.

Fósforo en el suelo en f(pH)



Necesidades de nutrientes



Métodos de análisis

• Método Mehlich I

HCl 50 mM + H_2SO_4 12,5 mM

- Infravalora la disponibilidad de P ligado a Ca, Al y Fe
- No muy bueno en suelos arcillosos
- No recomendable en suelos alcalinos

• Método Mehlich III

HNO_3 13mM + NH_4NO_3 0,25M
 CH_3COOH 0,2N + NH_4F 15mM
EDTA 1mM pH 2,5

- Mejora la valoración de P disponible ligado a Al y Ca

• Método Olsen

NaHCO_3 0,5M + EDTA 10mM
+ 0,5 g de Superfloc 127

- El P aumenta según aumenta el pH
- Superfloc es un floculante aniónico

• Método Bray-Kurtz

NH_4F 30mM + HCl 25mM

- Para suelos ácidos

Referencias

P Olsen (ppm)	Muy bajo	Ópt. Vid	Optimo	Alto	Muy alto
Arenoso	0 - 4	5 - 8	9 - 12	13 - 20	21 - 32
Franco	0 - 6	7 - 12	13 - 18	19 - 30	31 - 48
Arcilloso	0 - 8	9 - 16	17 - 24	25 - 40	41 - 64
Riego					
Arenoso	0 - 6	7 - 12	13 - 18	19 - 30	31 - 48
Franco	0 - 8	9 - 16	17 - 24	25 - 40	41 - 64
Arcilloso	0 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 50	51 - 80
Riego intenso					
Arenoso	0 - 8	9 - 16	17 - 24	25 - 40	41 - 64
Franco	0 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 50	51 - 80
Arcilloso	0 - 12	12 - 24	25 - 36	36 - 60	61 - 96

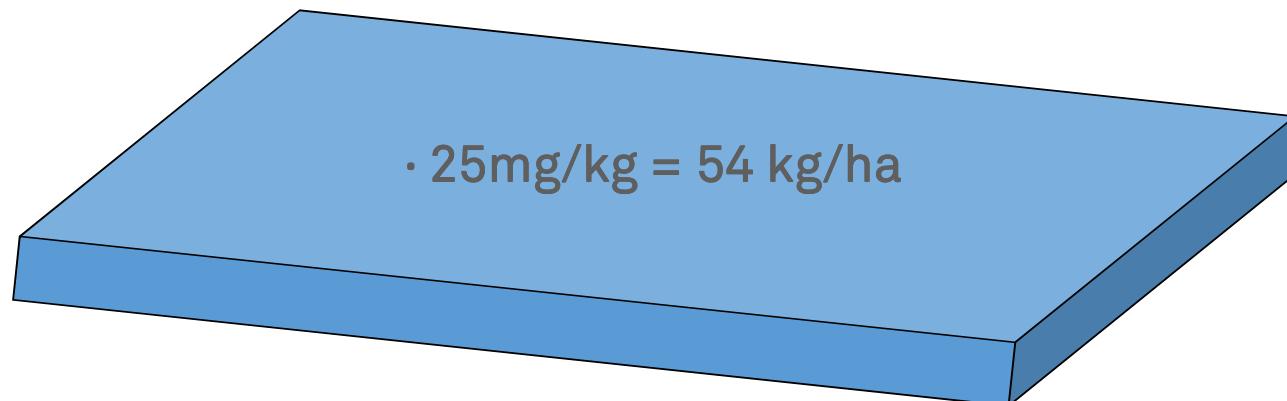
Referencias

P Olsen (ppm)	Muy bajo	Bajo	Óptimo	Alto	Muy alto
Yáñez, (1989)			Secano		
Arenoso	0 - 4	5 - 8	9 - 12	13 - 20	21 - 32
Franco	0 - 6	7 - 12	13 - 18	19 - 30	31 - 48
Arcilla	0 - 8	9 - 16	17 - 24	25 - 40	41 - 64
P Olsen (ppm)	Muy bajo	Bajo	Óptimo	Alto	Muy alto
López y López, (1978)			Cereal, forraje, Maíz, Patata tardía		
Areno/franco	0 - 5	5 - 15	15- 25	25 - 35	> 35
Arcilla	0 - 3	3 - 8	8- 13	13 - 18	> 18
Areno/franco	0 - 9	9 - 19	19- 37	37 - 72	> 72
Arcilla	0 - 6	6 - 11	11- 21	21 - 41	> 41
Areno/franco	0 - 17	17 - 35	35 - 71	71 - 142	> 142
Arcilla	0 - 11	11 - 21	21 - 41	41 - 80	> 80

Disponibilidad de P vs Necesidades

40% áridos

$$1\text{ha} = 10.000 \text{m}^2 \times 0.3 \text{m} \times 1,2 \text{T/m}^3 = 3600 \text{T/ha} \quad \rightarrow \quad = 2160 \text{T/ha}$$



• Necesidades anuales vid:

Nutrient	Average uptake
N	52 (20-70)
P_2O_5	16 (4-25)
K_2O	60 (20-70)
CaO	73 (40-120)
MgO	15 (5-25)

Necesidades de nutrientes

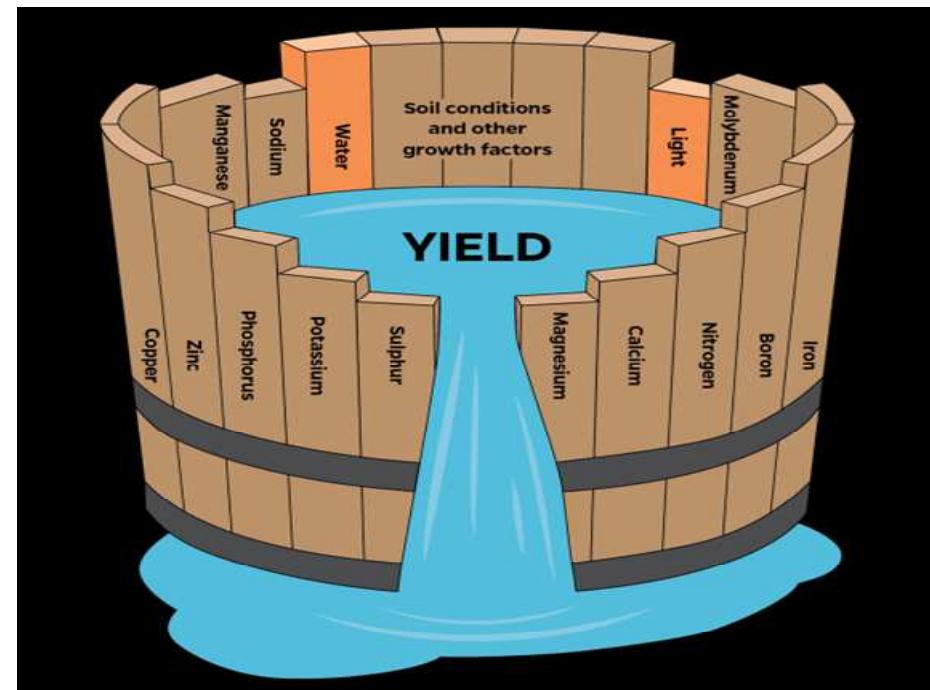
Von Liebig (1840)

Ley del mínimo: El crecimiento o desarrollo está limitado por el elemento con mayor deficiencia (en términos relativos)

Factor limitante:

Mejorar los demás factores no mejorará el estado de la planta ni ayudará a alcanzar los objetivos de producción.

Ley de restitución: Si no se restituyen los elementos consumidos, aparecerán nuevas limitaciones.



Fertilizantes con fósforo

- 1. Superfosfato : $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
- 2. Superfosfato concentrado: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}_3\text{PO}_4$
- 3. Ácido fosfórico: H_3PO_4
- 4. Fertilizantes compuestos NPK (N-P₂O₅-K₂O):
 - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$
 - $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
 - NP, NPK, PK
- 5. Escorias, fertilizantes, residuos orgánicos o minerales:
 - Escoria Thomas. $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{SiO}_2$
 - Etc...

Fertilizantes con fósforo

- 1. Fertilizante N-P₂O₅-K₂O: 15 – 15 - 15 → N-P-K: 15-11,6- 14
- 2. Necesidades de viñedo (Kg/ha): 45 (N) – 15 (P) – 45 (K)
- 3. Si ajustamos el N: 300 kg/ha (35 kg P y 42 de K)
- 4. Si ajustamos el K: 321 kg/ha (48 kg N y 37 de P)

Pérdidas de fósforo

- 1. Elemento poco móvil que difícilmente se filtraría por lixiviación.
- 2. La actividad biológica acaba facilitando la disponibilidad.
- 3. Los excesos no se padecen aparentemente.

Pérdidas de fósforo



Jornada Phos4Cycle

SUDOE, 2024-2026

Consorcio Phos4Cycle

Duración del proyecto:

01/01/2024 - 31/12/2026

Grupo de Investigación principal: ITAGRA

Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario (CyL)

FRANCIA

- FRI Nouvelle-Aquitaine (FRI3 Poitou-Charentes, FRI1 Aquitaine, FRI2 Limousin),
- FRJ Occitanie (FRJ2 Midi-Pyrénées, FRJ1 Languedoc-Roussillon)
- FRK1 Auvergne

ESPAÑA

- ES11 Galicia
- ES12 Principado de Asturias
- ES13 Cantabria
- ES21 País Vasco
- ES22 Comunidad Foral de Navarra
- **ES23 La Rioja**
- ES24 Aragón
- ES30 Comunidad de Madrid
- **ES41 Castilla y León**
- ES42 Castilla-La Mancha
- **ES43 Extremadura**
- ES51 Cataluña
- ES52 Comunidad Valenciana
- ES53 Illes Balears
- ES61 Andalucía
- ES62 Región de Murcia
- ES63 Ciudad Autónoma de Ceuta
- ES64 Ciudad Autónoma de Melilla

PORUGAL

- PT11 Norte
- PT15 Algarve
- **PT16 Centro (PT)**
- PT17 Lisboa
- PT18 Alentejo

ANDORRA

- AND Andorra



ENTIDADES PARTICIPANTES

Consorcio

	País	Entidad	
1	España	ITAGRA Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario	 itagra.ct CENTRO TECNOLÓGICO AGRARIO Y AGROALIMENTARIO
2	España	Gobierno de la Rioja Dirección General de Agricultura y Ganadería	 La Rioja
3	España	FEDEHESA Federación Española de la Dehesa	 FEDEHESA
4	España	AQUACORP	 AQUACORP
6	Portugal	ESAC - Escola Superior Agrária de Coimbra	 esac Politécnico de Coimbra
7	Portugal	CALCOB - Cooperativa	 CALCOB COOPERATIVA FERIA CO
8	Francia	ITAVI – Institut technique des filière avicole, cunicole et piscicole	 ITAVI
9	Francia	ADERA UT2A – Laboratoire d'Analyses Chimiques	 UT2A Ultra Tracee Analyse Aquitaine

Pilotos

Consorcio

PILOTOS DE MONITORIZACIÓN DE FOSFATOS:

1. Sub-piloto 1: ES – Castilla y León – ITAGRA – REGADÍO: CEREAL
2. Sub-piloto 2: ES – La Rioja – Gob. Rioja – CULTIVOS PERMANENTES (VID Y OLIVO)
3. Sub-piloto 3: ES – Extremadura – FEDEHESA – GANADERÍA EXTENSIVA DE DEHESA
4. Sub-piloto 4: PT – Región Centro/Coimbra – ESAC – REGADÍO: HORTÍCOLAS
5. Sub-piloto 5: PT – Región Centro/Aveiro – ESAC – GANADERÍA INTENSIVA
6. Sub-piloto 6: FR – Nouvelle Aquitaine – ITAVI – AVICULTURA EXTENSIVA

Objetivos

ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE FOSFATOS:

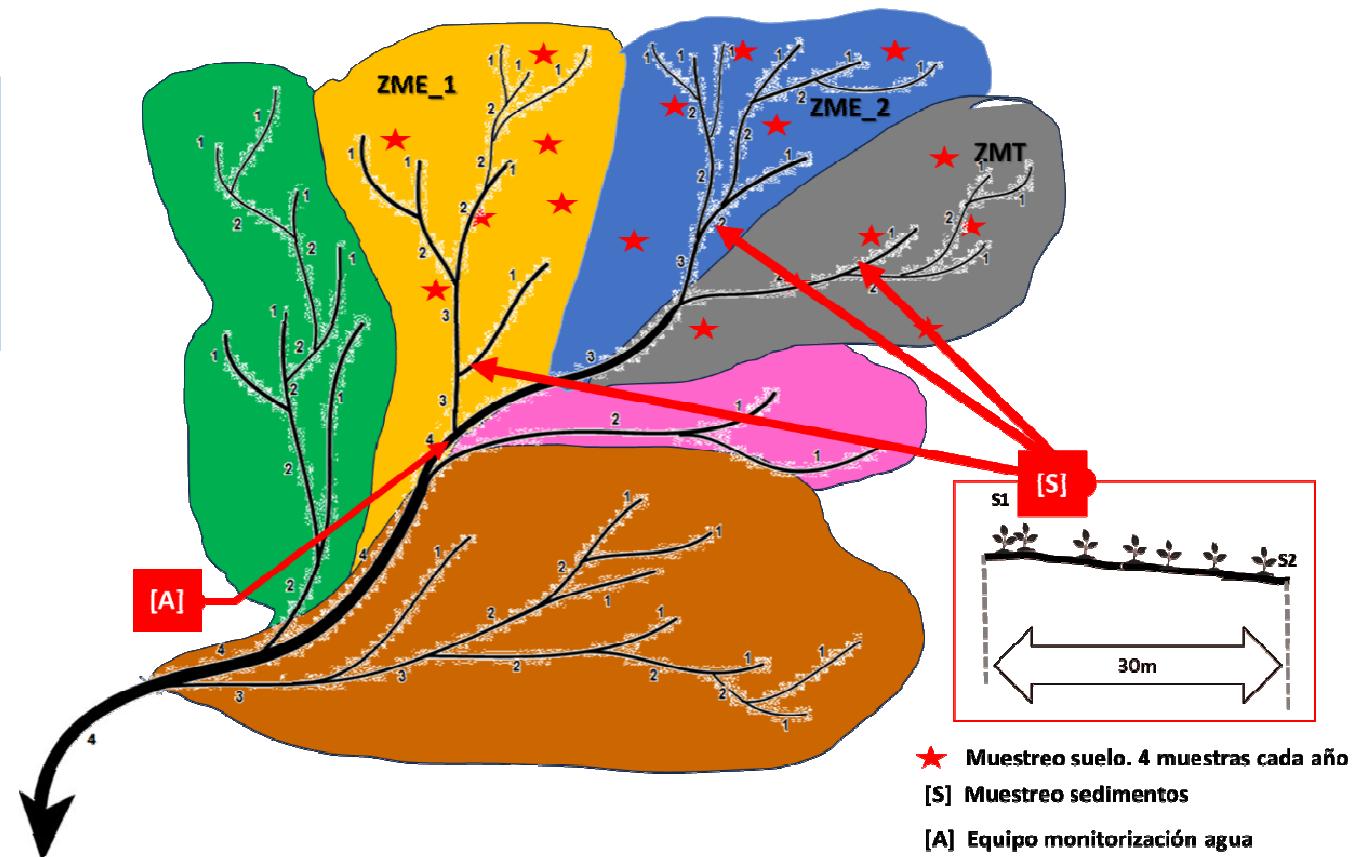
1. Desarrollar una **estrategia de actuación** de prácticas agroganaderas y un **plan de acción** para la adopción de dicha estrategia.
2. Diseño de **monitorización del flujo** de fosfatos en 6 sistemas agropecuarios diferentes para desarrollar un **modelo de predicción del riesgo de contaminación**.
3. Definición de un **plan de formación** de agricultores y ganaderos.
4. **Comunicación y difusión** del proyecto.

Diseño de ensayos piloto

Plan de monitorización

Actividad 1:
Diseño de Pilotos (ITAGRA).

01/01/2024 - 31/03/2024



Pilotos

Técnicas a emplear

Actividad 2:

Establecimiento de parcelas experimentales para cada piloto.

01/03/2024 - 30/06/2024

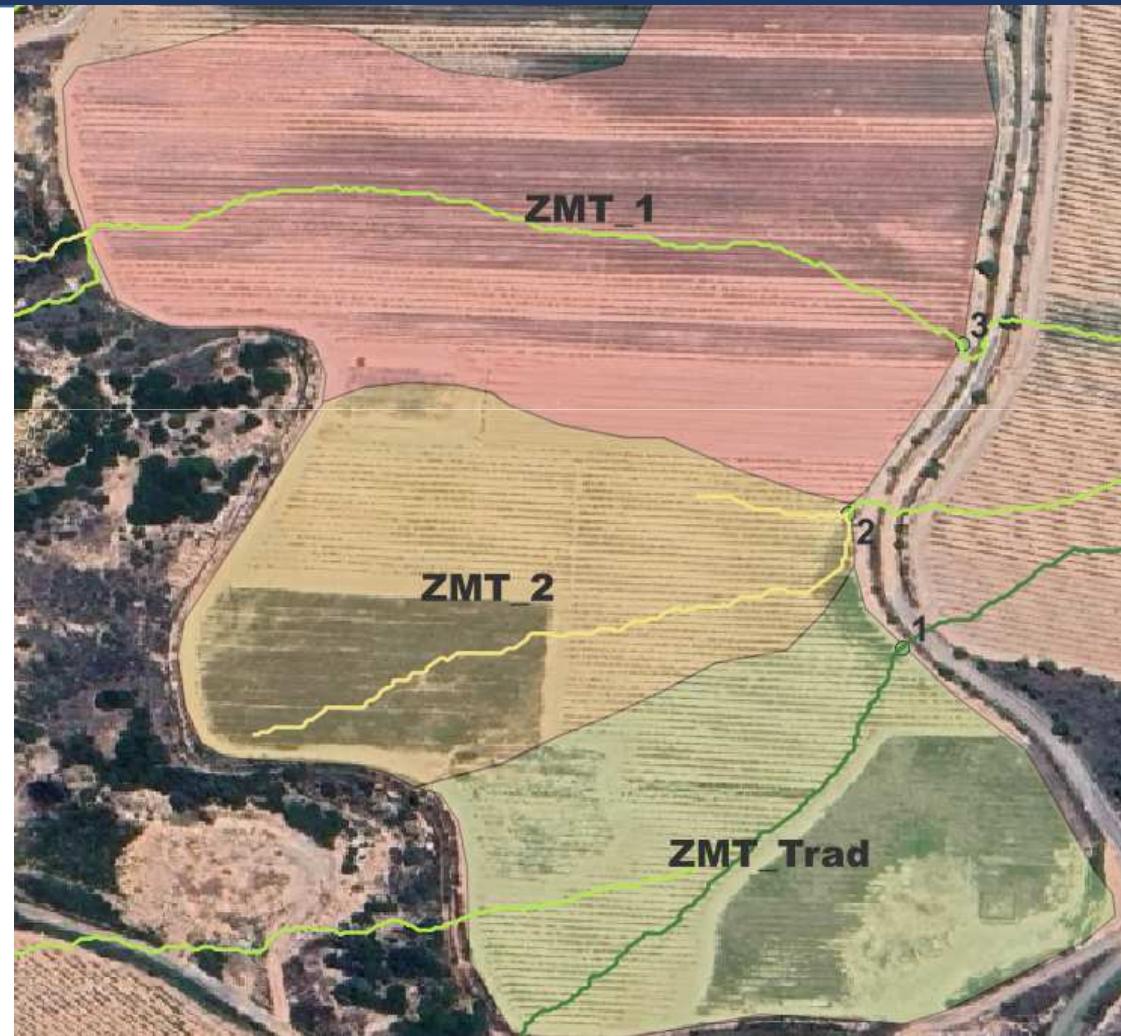
TÉCNICAS EXPERIMENTALES PROPUESTAS:

- 1. Empleo de biochar combinado con la fertilización de fosforo.**
2. Empleo de tecnologías de dosificación variable en función de los suelos/cultivos.
- 3. Empleo de cubiertas vegetales para reducir la erosión hídrica.**
4. Ajuste de fosforo en las raciones ganaderas.
5. Desarrollo de labores en key-line en el uso de recursos hídricos.
6. Cultivos de relevo. Técnicas de Multicultivo para reducir erosión y los nutrientes del cultivo anterior.
7. Manejo regenerativo/holístico de pastos. Acción en el fosforo y erosión.

Diseño del piloto

Diseño de los pilotos

Zonas de trabajo (ITAGRA) definidas
mediante un **Modelo Digital de Elevación**

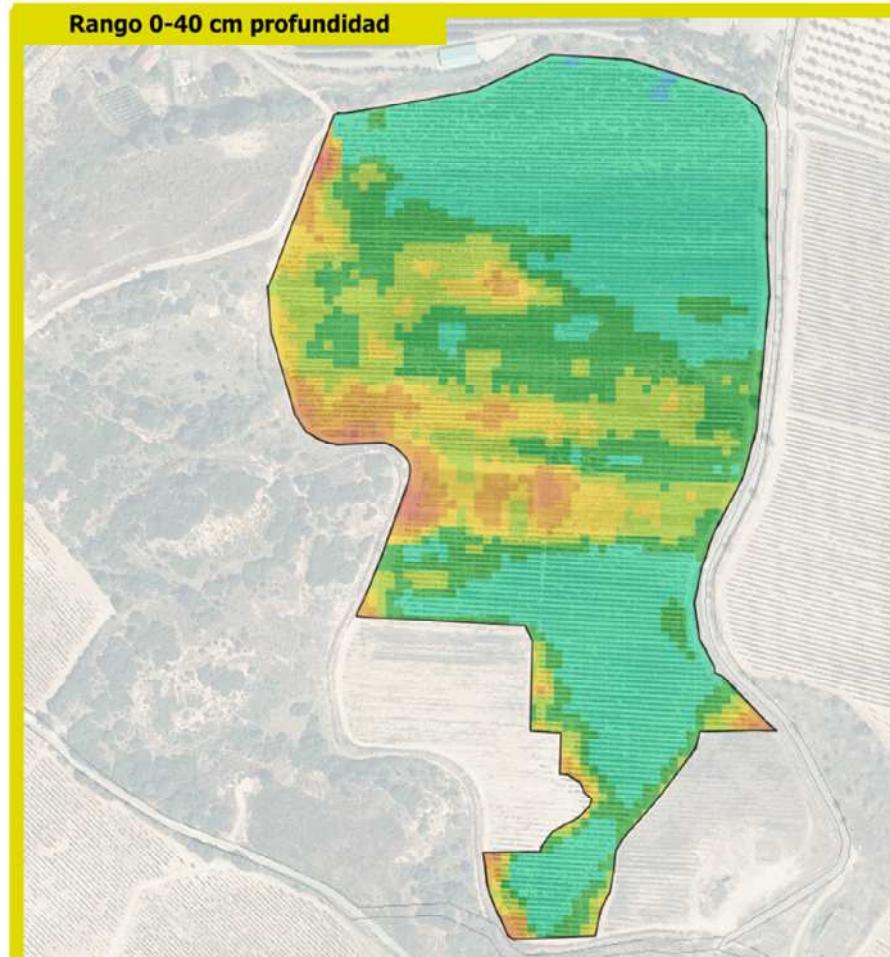


Diseño del piloto Red de monitorización suelo



Sensor Veris - CE

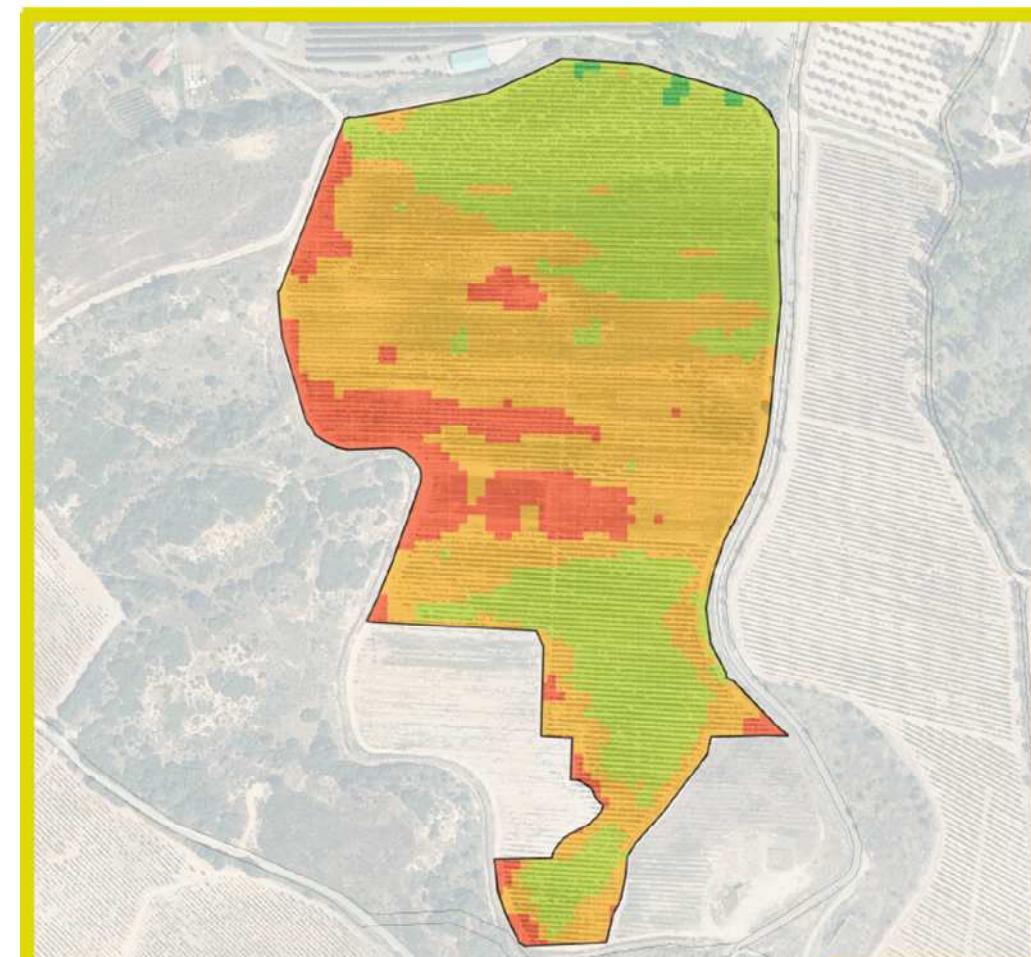
01. Textura. Conductividad eléctrica aparente



Red de monitorización suelo

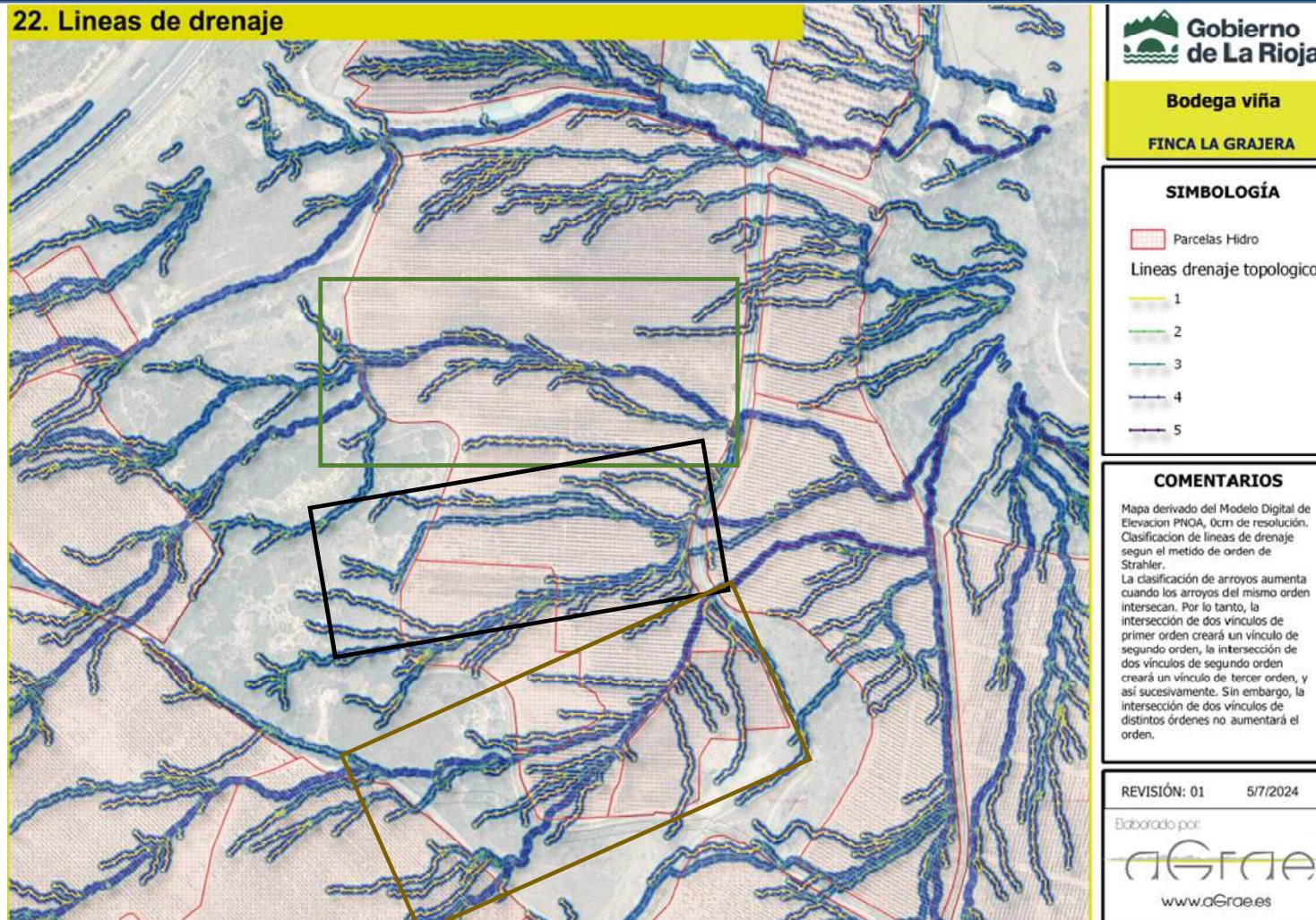
Zonas de trabajo definidas mediante un
Modelo de Conductividad Eléctrica Aparente

02. Conductividad hidráulica. Infiltración [m/día]



Red de monitorización suelo

Zonas de trabajo definidas mediante un
Modelo de Conductividad Eléctrica Aparente



Red de monitorización

Caracterización inicial

Actividad 3:

Instalación de la red de monitorización en cada parcela experimental.

01/04/2024 - 30/09/2024

➤ **Muestreo de Sedimentos.**

Se ha realizado un muestreo de suelo con núcleo inalterado en el tramo más bajo de la línea de drenaje que define cada subcuenca.

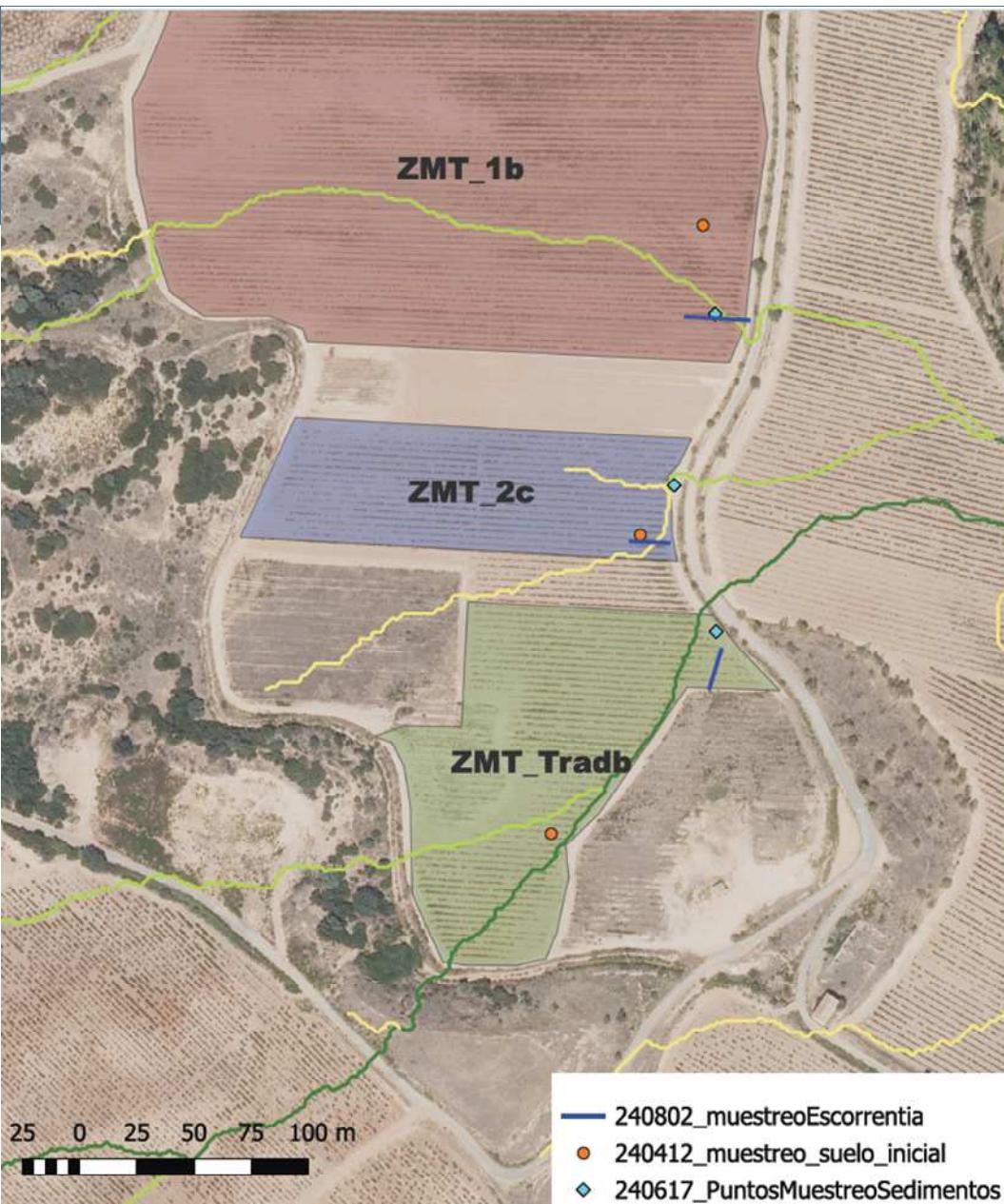
➤ **Muestreo de Suelos.** Determinación de los puntos dónde se llevará a cabo el muestreo en cada subcuenca.

➤ **Punto de medición de fosforo y sedimentos en agua.**

- Discontinuo: Muestreo manual en los puntos seleccionados según diseño de piloto y subcuenca definidas.
- Continuo (AQUACORP)

Se seleccionará la estación meteorológica más cercana para registrar eventos climáticos (SIAR)





A3.2 Muestreo de suelos

Muestreo inicial previo a la fertilización:

Muestras compuestas a 0-30 cm y 30-45 cm en cada Zona de Manejo.



Diseño del piloto

Actividad 2:

Establecimiento de parcelas experimentales para cada piloto.

01/04/2024 - 30/06/2024

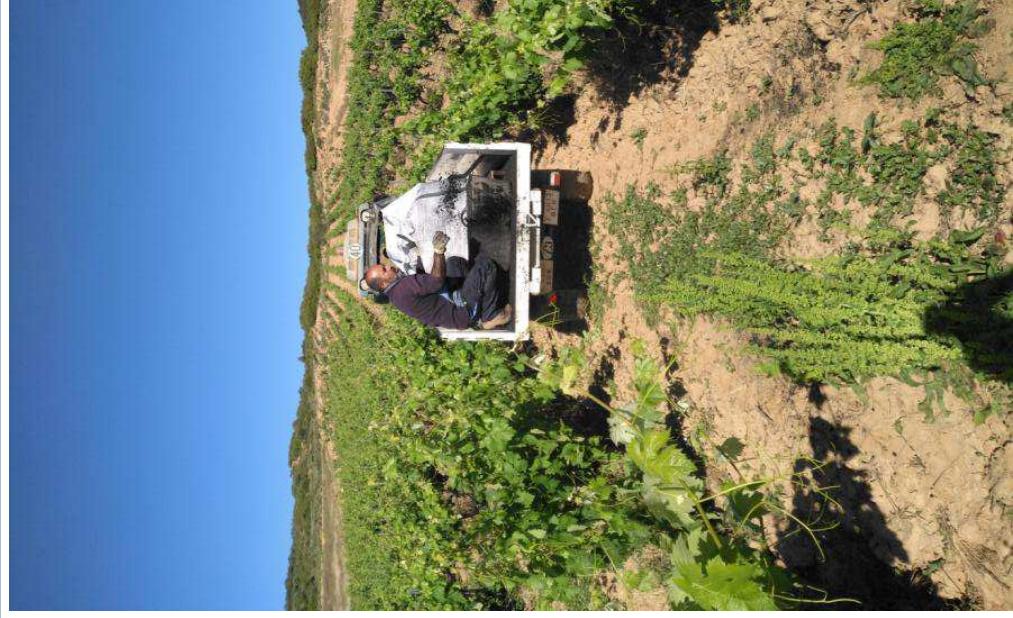
Se proponen para LA RIOJA como manejos del suelo:

- 1. Empleo de BICHART (312 kg/ha) combinado con la fertilización de fosforo. ZM2-BIO**
(Material producido a 450ºC de maderas duras de Carpe blanco y Roble)
- 2. Empleo de cubiertas vegetales (1^{er} año espontánea), combinado con la fertilización. ZM1-CUB**
- 3. Laboreo convencional con fertilización de fósforo. ZM-Trad**

*** Abonado mineral (12 de abril) en todos los tratamientos: (400 kg/ha de 5-5-15)**



Párametro	Unidad	Valor
pH (CaCl ₂)		7.5
Densidad aparente	g/cm ³	0.36
Tamaño partícula	mm	0.05-20*
Capacidad de retención de agua	%	214
Área específica (BET)	m ² /g	141
Conductividad	µS/cm	122
Nivel de sal	g/kg	0.35
Carbono orgánico (C _{org})	% (w/w)	85%
Oxígeno	% (w/w)	12
Hidrógeno	% (w/w)	3
Nitrógeno	g/kg	3.7
Fósforo (P ₂ O ₅)	g/kg	0.7
Potasio (K ₂ O)	g/kg	3.7
Magnesio (MgO)	g/kg	1.0
Relación H/C _{org}		0.42
Cenizas (550°C)	% (w/w)	< 4.5
Materias volátiles	% (w/w)	< 19
Contenido de PAH (EPA)	g/t	< 6



Seguimiento de indicadores

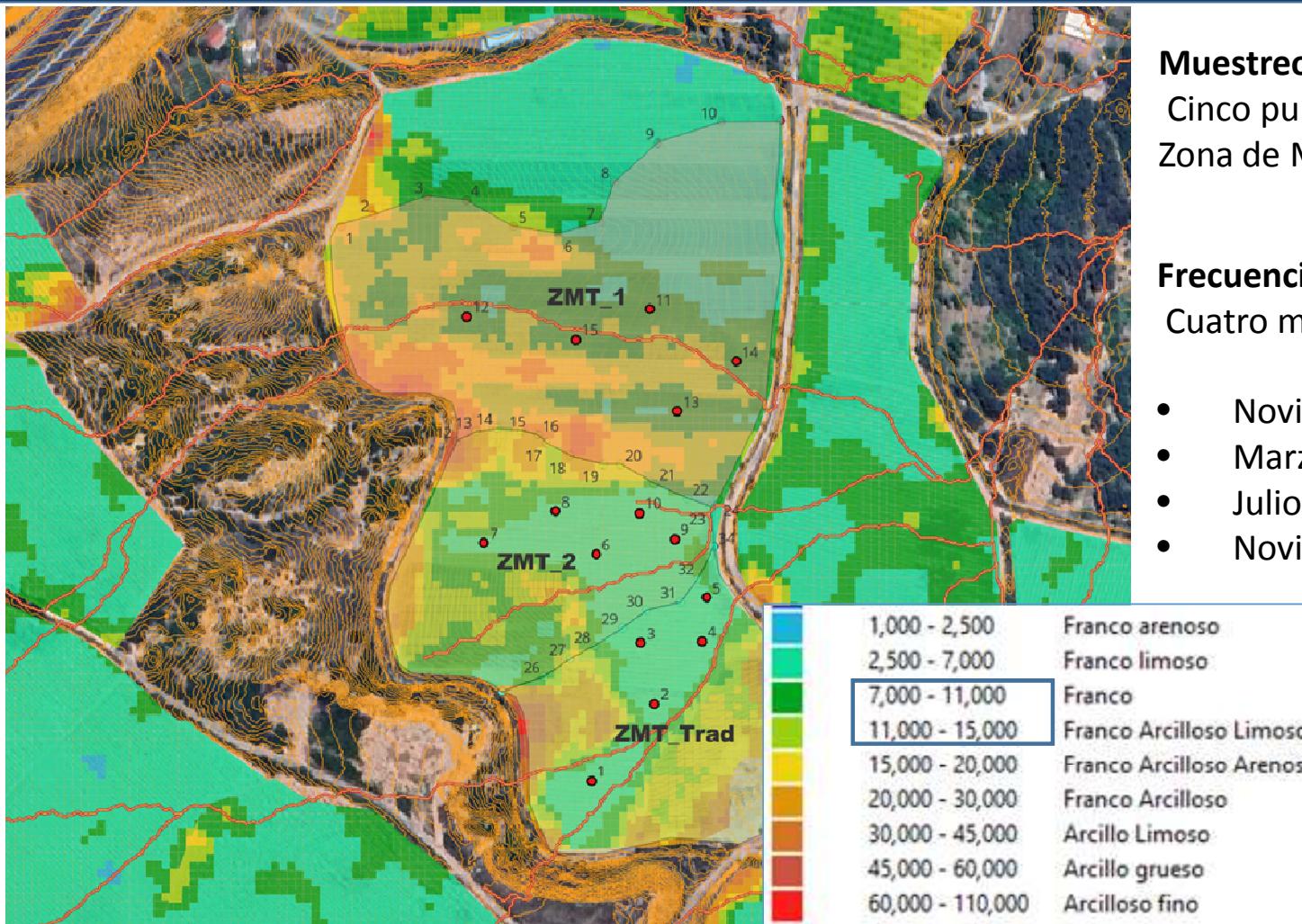
Actividad 4:

Seguimiento de indicadores.

01/04/2024 - 31/03/2026

- 1. MONITOREO DE SUELO: 5 puntos de muestreo de suelo en cada ZM (0-30 cm). Y 5 muestreos 2024-2025.
- 2. MONITOREO DE AGUA:
 - Continuo: Registro automático de los parámetros de fósforo y sólidos en suspensión.
 - Discontinuo: Eventos de precipitación o riego en las subcuencas.
- 3. REGISTRO DE ACTIVIDADES EN CAMPO: Cuaderno de registro con las actividades de campo (abonado, siembra, cosecha, precipitaciones, riego, etc.)
- 4. GESTIÓN DE DATOS: Directorio en línea de ITAGRA.

A3.3 Red de monitorización suelo



Muestreos de seguimiento:

Cinco puntos de muestreo a 0-30 cm en cada Zona de Manejo.

Frecuencia de muestreo:

Cuatro muestreos:

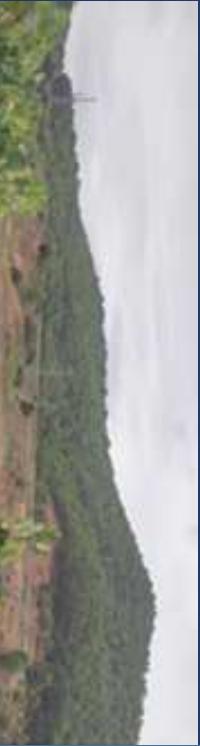
- Noviembre de 2024
- Marzo de 2025 (previo a fertilización 2025)
- Julio de 2025
- Noviembre de 2025

Interreg
Sudoe

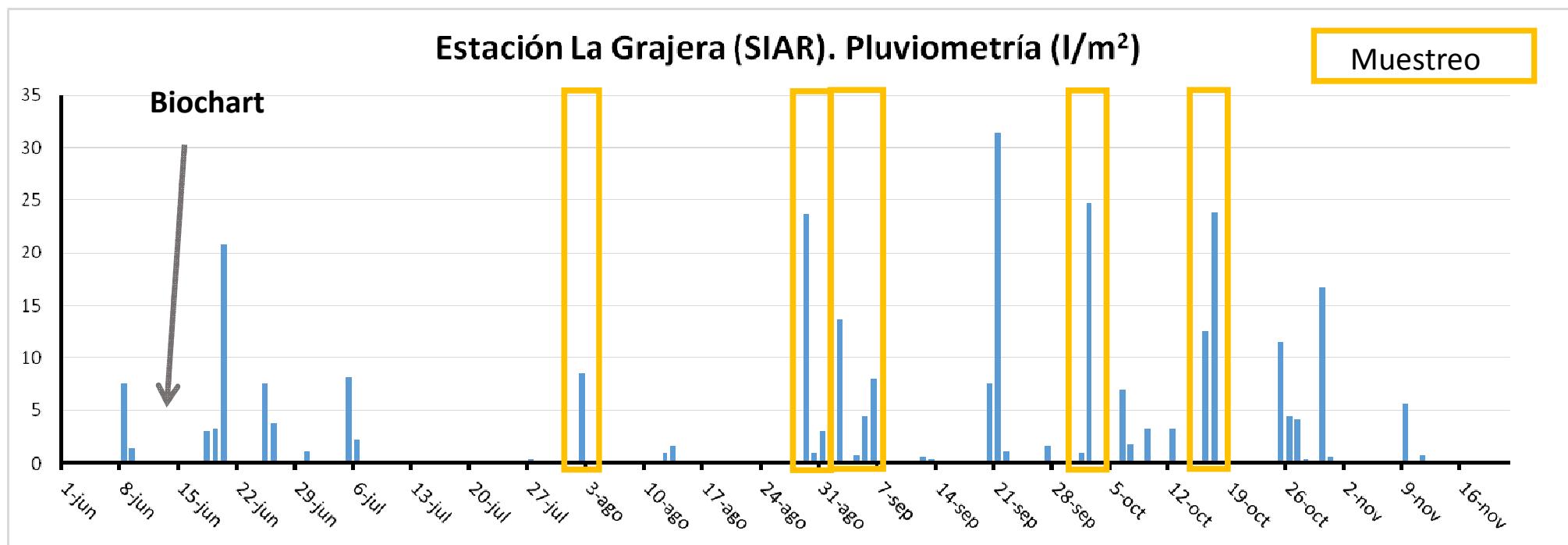


Co-funded by
the European Union

Phos4Cycle

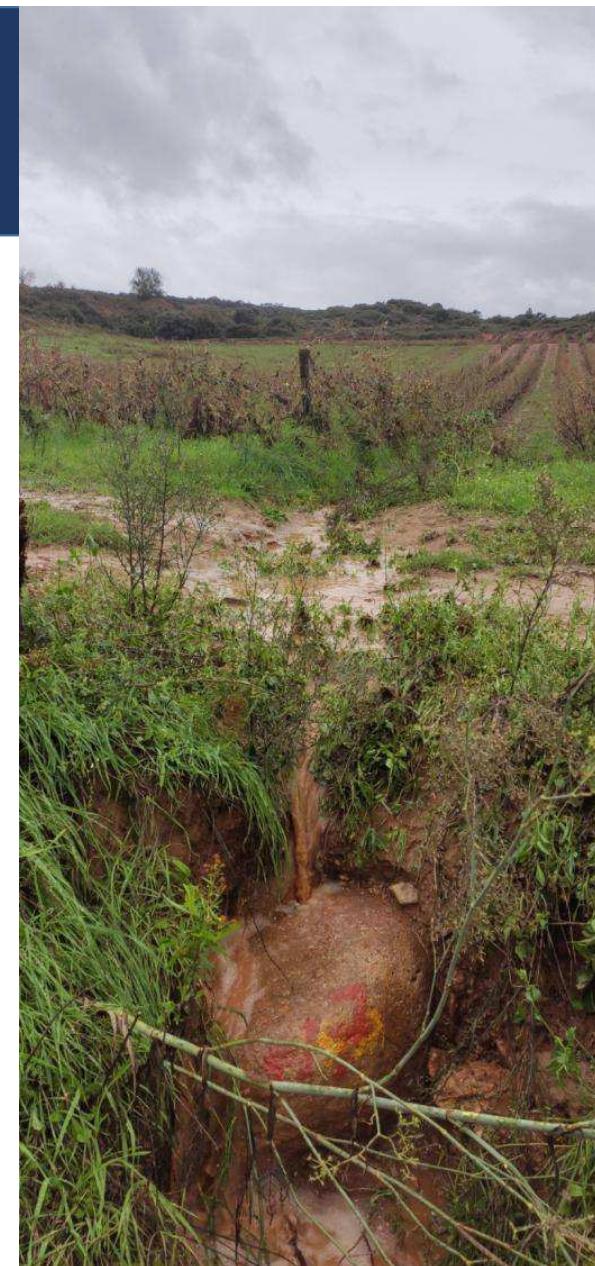


Precipitaciones





ZM Biochart



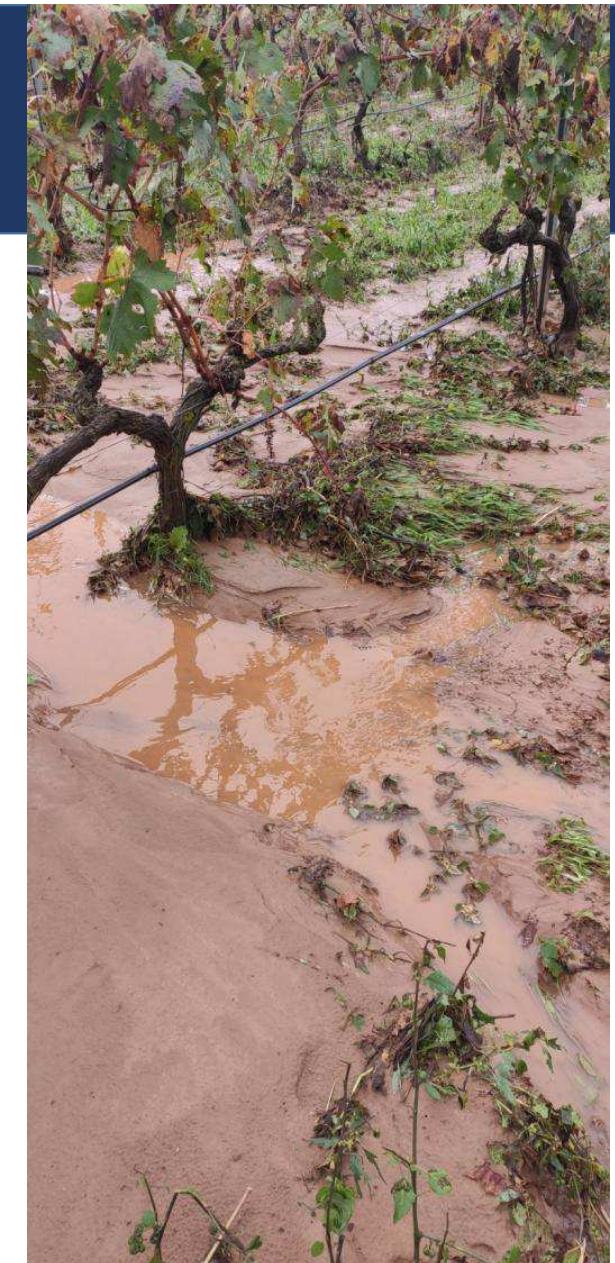


ZM Cub





ZM Trad.



Unos días después



Unos días después



Modelización

Actividad 5:
Modelización.

01/01/2025 - 31/03/2026



Comunicación y difusión

Actividad 6:

Comunicación y difusión del proyecto.

01/03/2024 - 30/06/2026

Dar a conocer el diseño de cada piloto a los agentes y entidades territoriales relevantes.

Difusión de los resultados referentes al sistema de monitorización de fosfatos, al modelo de predicción del riesgo de contaminación y a las técnicas de manejo experimentadas en los pilotos.

Manual de buenas prácticas para la reducción de contaminación por fosfatos.

Conferencias y eventos técnicos que reunirán a las entidades interesadas: vitivinícola, ganadero, gestión de agua de riego.

Videos centrados en el ciclo del fósforo.



GRACIAS

OBRIGADO

MERCI

ignacio.martin@icvv.es / imartir@larioja.org