Hacia un sistema MRV integrado de prácticas agrícolas en arrozales del delta del Ebro

Carmona, Natàlia[1, 2]; Guardia, Mercè[1]; Zamboni, Nadia Selene[1]; Ibañez, Carles[1]; Zaragoza, Maria[1]; Zubieta, Iker[1]; Pijuan, Josep[1]; Južnič-Zonta, Živko[1]; Sánchez, David[1]; Lombeida, Mariana[1]; Itarte, Marta[1]; Herrera Restrepo, Ramon S. [1]; Alemany, Kevin[1]; Otero, David[1]; Moya, Ana[1]; Casellas, Cristina[1]; Ben Aissa, Alejandra[1]

[1] **Eurecat, Centre Tecnològic de Catalunya** | [2] Universitat Politècnica de Catalunya

CONTEXTO Y OBJETIVO

La cuantificación de los beneficios ambientales asociados a prácticas agrícolas sostenibles requiere herramientas fiables para evaluar sus efectos sobre las **emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)**, la **huella hídrica** y la **biodiversidad**.

Objetivo: avanzar hacia un sistema integrado de monitorización, reporte y verificación (MRV) que combine distintas tecnologías y metodologías para evaluar la adicionalidad de los beneficios ambientales de prácticas alternativas de gestión de los arrozales en el delta del Ebro.

CASO DE ESTUDIO

El estudio se desarrolla en los arrozales del delta del Ebro (Cataluña), donde se evalúan escenarios alternativos de gestión del cultivo orientados a reducir las emisiones de metano (CH_4).

Se consideran dos prácticas principales:

- **Alternancia de inundación y secado** (*Alternate Wetting and Drying*, AWD)
- **Incorporación tardía de la paja** (*Late Straw Incorporation*, LSI)

comparándolas con la gestión convencional del arrozal.



Figura 1. Área de cultivo de arroz del delta del Ebro (Cataluña).

METODOLOGÍA INTEGRADA DE MRV

Escenarios de gestión del arrozal
Caracterización de parcelas · Cultivo y poscosecha

Gestión convencional (referencia) | **Gestión alternativa** (AWD + LSI)

Fuentes de información

Mediciones de campo | Modelos | Sensores | Teledetección satelital | Muestreo molecular

M · Monitorización

Mediciones · Modelos · Indicadores

Carbono / GEI

- Mediciones de CH_4 durante cultivo y poscosecha.
- Cuantificación de emisiones y comparación de escenarios.
- Protocolo MRV y Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en desarrollo.

Agua

- Balance hídrico y huella hídrica (AWARE).
- Desarrollo y caracterización experimental de sensores.
- Modelo de calidad del agua.

Biodiversidad

- Muestreo y análisis molecular (eDNA / eRNA).
- Detección de taxones de aves acuáticas.
- Desarrollo y evaluación de protocolos de monitorización molecular.

R · Reporte

- Indicadores por parcela y campaña.

V · Verificación

- Revisión de datos y métodos.
- Evidencias y verificación independiente.

Herramientas transversales: Teledetección e IA · Requisitos de integración, trazabilidad y calidad de los datos.

Herramientas en desarrollo | Integración propuesta / pendiente

Hacia un sistema MRV integrado

Figura 2. Esquema conceptual del sistema MRV propuesto.

RESULTADOS PRELIMINARES

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI

- Las mediciones de campo evidencian el potencial de AWD y LSI para reducir las emisiones de CH_4, especialmente poscosecha.
- El análisis se completará mediante ACV para evaluar los impactos ambientales asociados a estas prácticas.

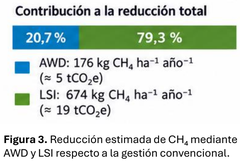


Figura 3. Reducción estimada de CH_4 mediante AWD y LSI respecto a la gestión convencional.

Resultado clave: Reducción estimada de **850 kg CH_4 ha^{-1} año^{-1}** (~ 24 t CO_2e ha^{-1} año^{-1}) respecto al escenario de referencia.

BALANCE HÍDRICO Y CALIDAD DEL AGUA

- Balance hídrico integrado en AWARE para estimar la huella hídrica.
- Desarrollo y evaluación experimental de un dispositivo multiparamétrico *Lab-on-Chip* (LoC) para medir pH, oxígeno disuelto, nitratos y conductividad.
- Modelo de calidad del agua pendiente de calibración.

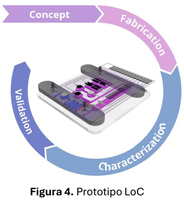


Figura 4. Prototipo LoC

Resultado clave: Ensayos con muestras reales de agua de arrozales y comparación preliminar con equipos comerciales de referencia.

TELEDETECCIÓN SATELITAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

- Modelo de clasificación de estados del cultivo de arroz con imágenes satelitales e indicadores agroclimáticos, para verificar la aplicación de las prácticas.
- Aplicación de IA para el seguimiento espacial y temporal.

Resultado clave: 84% de exactitud global en la clasificación.

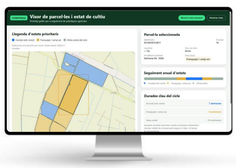


Figura 5. Visualización de estados de cultivo mediante herramientas de seguimiento.

BIODIVERSIDAD

- Detección molecular de taxones pertenecientes a 8 géneros de aves acuáticas.
- Los taxones detectados mediante eDNA/eRNA representan el 51% de las especies registradas en los censos de campo.

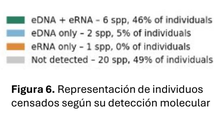


Figura 6. Representación de individuos censados según su detección molecular

Resultado clave: El eDNA/eRNA complementa los censos de campo para la monitorización de la biodiversidad, aunque todavía no se ha podido cuantificar el número de individuos de especies mediante estas técnicas.

ACTORES E IMPLEMENTACIÓN

- Identificación preliminar de actores clave para un futuro esquema de créditos ambientales y MRV.
- Encuestas a agricultores en curso y entrevistas previstas con desarrolladores y compradores para analizar barreras, demanda y viabilidad de la implementación.

Actores clave para la futura implementación

Agricultores — Adopción y datos
Desarrolladores — Gestión de proyectos
Compradores — Demanda
Verificadores — Credibilidad

CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS

Avances

- ✓ Las mediciones de campo evidencian el potencial de AWD y LSI para reducir las emisiones de CH_4.
- ✓ Se han desarrollado herramientas complementarias para monitorizar el agua, los estados de cultivo y la biodiversidad.

Próximos pasos

- → Consolidar el protocolo MRV de carbono e incorporar el ACV.
- → Completar la validación y establecer protocoles comunes de calidad de datos, incertidumbre y trazabilidad.
- → Definir responsabilidades, costes y viabilidad de implementación del sistema.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Generalitat de Catalunya a través de la ayuda ACCIÓ-Eurecat (Proyecto TRAÇA COMPENSA-2026).

https://eurecat.org/home/es/

natalia.carmona@eurecat.org