



# Proyecto RegadiOX

LIFE 12 ENV/ES/000426

## **Guía metodológica** *Buenas prácticas agrarias para la mitigación del cambio climático*

- Fijación carbono orgánico en el suelo
- Reducción de emisiones Gases de Efecto Invernadero (GEI)

### **Programa LIFE**



El programa LIFE es el principal instrumento financiero de la Unión Europea de apoyo a la aplicación, actualización y desarrollo de la política y normativa comunitarias en materia de medio ambiente, en particular en lo referente a la integración del medio ambiente en las demás políticas y al desarrollo sostenible en la Comunidad Europea, así como a la exploración de nuevas soluciones a los problemas ambientales de dimensión comunitaria a través de proyectos demostrativos.



# Guía metodológica

*Buenas prácticas agrarias para  
la mitigación del cambio climático*

regADIOX



*Realizado con la contribución del instrumento financiero LIFE de la Comunidad Europea*

*Equipos de trabajo del proyecto Regadiox:*

**Fundación Fundagro:**

Iñaki Mendioroz

Cristina de Echanove

Raquel Campillo (consultora externa, GAP Recursos)

**INTIA:**

Alberto Lafarga

Fermín Maeztu

Luis Orcaray

**UPNA (Grupo Gestión Sostenible de Suelos):**

Iñigo Virto

Paloma Bescansa

Alberto Enrique

Rodrigo Antón

Jon González

Impresión por: *Imprenta Libe S.L. (Pamplona, Navarra)*

Depósito Legal: DL NA 658-2017

ISBN - 13 978-84-617-9449-2

# Índice

---

<b>OBJETIVO</b> .....	<b>6</b>
<b>ACCIONES</b> .....	<b>6</b>
<b>SOCIOS</b> .....	<b>7</b>
<b>CAMBIO CLIMÁTICO, GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) Y AGRICULTURA</b> .....	<b>8</b>
<b>EL REGADÍO EN NAVARRA</b> .....	<b>11</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>12</b>
El secuestro del C atmosférico en los suelos agrícolas .....	12
Estimación de las emisiones de los Gases Efecto Invernadero (GEI) .....	16
<b>PARCELAS DEMOSTRATIVAS</b> .....	<b>17</b>
<b>ACCIONES EXPERIMENTALES</b> .....	<b>19</b>
1. Cultivos herbáceos (cambio de uso secano a regadío y diferentes cultivos de regadío) .....	19
2. Cubiertas vegetales en cultivos permanentes de regadío (olivo y viña) .....	22
3. Eficiencia del uso del nitrógeno para la reducción de emisiones GEI (fertilizantes orgánicos/inorgánicos) .....	24
4. Marco de riego y materiales empleados en aspersión para reducir el gasto energético y las emisiones de GEI .....	27
<b>RECOMENDACIONES GENERALES</b> .....	<b>31</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>33</b>

## Objetivo

El **objetivo general** del proyecto es **diseñar, demostrar, testar y difundir** el impacto que puede tener en la mitigación del cambio climático, un **modelo mejorado de gestión sostenible de la agricultura de regadío**.

Como objetivo específico se pretende:

⇒ Diseñar un modelo innovador de gestión agrícola en sistemas de regadío para promover la mitigación del cambio climático, enfocado en dos líneas de actuación:

- 1) Fijación de Carbono orgánico en el suelo (balance de CO<sub>2</sub>).
- 2) Reducción de emisiones de GEI (balance de emisiones).

## Acciones

Dichos objetivos se han trabajado a través de una serie de acciones de experimentación que han permitido cuantificar sus efectos EN DIFERENTES ENSAYOS:

1. Transformación de secano en regadío.
2. Intensidad de cultivo (nº de cultivos al año, tipo de cultivo).
3. Establecimiento de cubiertas vegetales en cultivos leñosos.
4. Sustitución total o parcial de fertilizantes minerales por abonos orgánicos.
5. Marco de riego y materiales empleados en aspersión.

Finalmente, los resultados de estos ensayos, han podido ser analizados en experiencias a gran escala, en dos explotaciones agrícolas en diferentes zonas de Navarra.

## Socios

---

**Fundagro (Socio coordinador):** Fundación sin ánimo de lucro de interés social cuyo objetivo es contribuir a dignificar la profesión agrícola y ganadera, incidiendo en acciones que de forma colaborativa abordan aspectos relacionados con el desarrollo rural, como la promoción de las explotaciones agrícolas y sus productos, la gastronomía, el respeto por el medio ambiente, el agroturismo, la formación, divulgación o sensibilización.

**INTIA:** Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias (INTIA), presta servicios avanzados orientados al mercado para el desarrollo del sector agroalimentario, basados en la calidad, la eficiencia, la innovación y la sostenibilidad. Entre sus objetivos destaca la divulgación de técnicas y sistemas de producción, así como la Investigación y experimentación, la certificación y promoción agroalimentaria y la prestación de servicios a explotaciones agrarias, incluyendo el asesoramiento y formación.

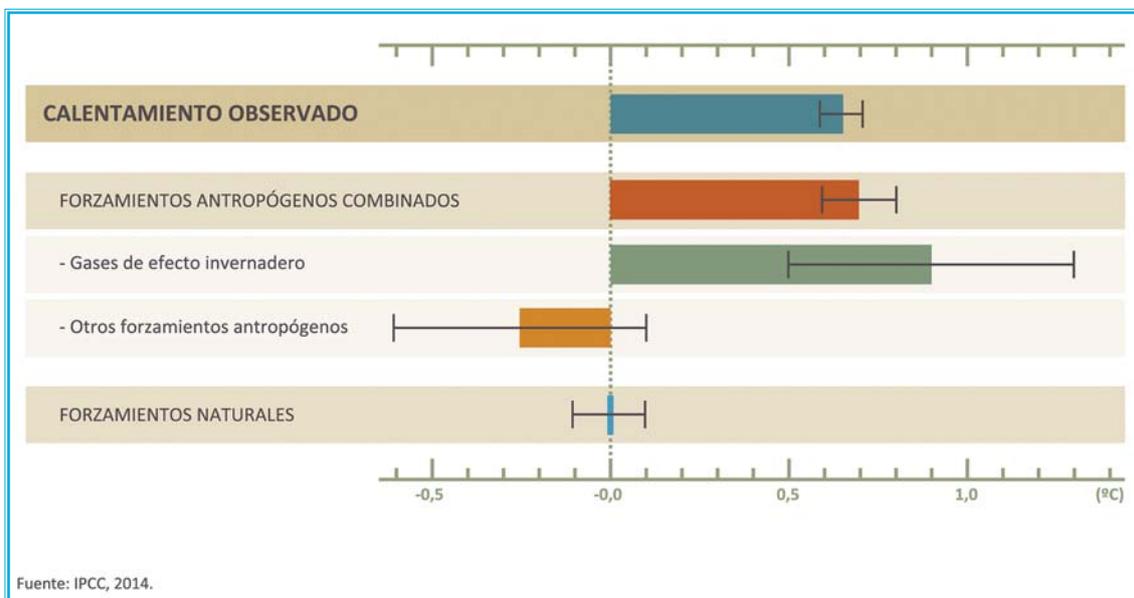
**UPNA:** la Universidad Pública de Navarra, a través del Grupo de Investigación de Gestión Sostenible de Suelos, que desarrolla diferentes líneas de investigación en torno al manejo del suelo y su dinámica, así como la interacción con las prácticas agrícolas, analizando y proponiendo aquellas que favorecen su conservación y potencian su valor ambiental.

# Cambio climático, gases de efecto invernadero (GEI) y agricultura

Los gases de efecto invernadero (GEI) son aquellos presentes en la atmósfera que pueden calentarse por efecto de la radiación emitida por la superficie de la Tierra al calentarse a partir de la energía solar. Como consecuencia de este proceso, la atmósfera se calienta.

A este fenómeno natural, conocido como efecto invernadero, contribuyen gases como el dióxido de C ( $\text{CO}_2$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y otros como el vapor de agua.

Según el último informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2014), la influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropogénicas recientes de GEI son las más altas de la historia. Los cambios climáticos recientes han tenido impactos generalizados en los sistemas humanos y naturales.



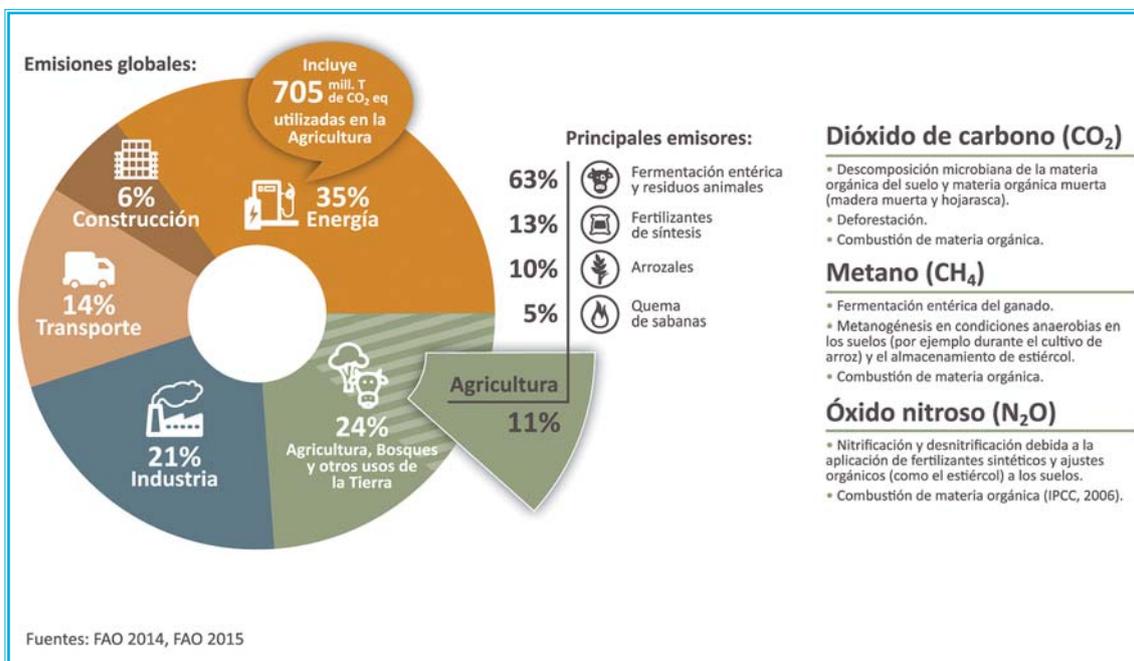
**Figura 1: Contribuciones al cambio observado en la temperatura en superficie de 1951 a 2010**

No todos los GEI emitidos a la atmósfera contribuyen de la misma manera a su calentamiento. La evaluación de estas emisiones requiere el uso de unidades que permitan comparar las emisiones de diferentes gases. Para ello, se usa el  $\text{CO}_2$  como gas de referencia, y se pueden convertir las emisiones de los demás gases en su equivalente en  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2$  eq), a partir de su potencial de calentamiento en relación al del  $\text{CO}_2$ .

**Potencial de calentamiento global (GWP) de los principales gases de efecto invernadero (GEI)**

Gas Efecto Invernadero	Años de permanencia en la atmósfera	GWP
CO <sub>2</sub>	200	1
CH <sub>4</sub>	12,4	28
N <sub>2</sub> O	121	298
CFC	45-1.020	5.820-13.900
HCFC	1-12	1-1.980

La agricultura tiene un papel esencial en la emisión de los principales GEI.



**Figura 2: Principales fuentes de emisión de GEI en la agricultura y otros usos de la tierra**

El sector agrario juega por lo tanto un papel relevante en la lucha contra el cambio climático. Por un lado, como hemos visto, **resulta una actividad emisora de gases de efecto invernadero, pero además, al ser el gestor de la fotosíntesis en una superficie muy amplia, es capaz de convertirse en un sumidero de carbono, ya que en este proceso biológico, las plantas forman su propia biomasa extrayendo CO<sub>2</sub> de la atmósfera.**

Esta doble vertiente resulta muy interesante para poder desarrollar estrategias de control de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) que se producen en el sector agrario, con el objetivo de cumplir con los compromisos que emanan de los diferentes acuerdos internacionales en relación al cambio climático.

LIFE Regadiox, pone el foco en la **agricultura de regadío por su importancia estratégica en la agricultura navarra** y por la capacidad de implementar medidas que mejoren la huella ambiental de las explotaciones.

En Navarra, el sector primario supone en 2014 una emisión de GEI de 1.444 miles de toneladas de CO<sub>2</sub> eq. Estas emisiones incluyen las correspondientes a la fermentación entérica de la cabaña ganadera (CH<sub>4</sub>), la gestión de estiércoles (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O), los procesos de abonado de suelos agrícolas (N<sub>2</sub>O) y los cultivos de arroz (CH<sub>4</sub>). No incluyen la respiración del suelo (CO<sub>2</sub>), ni las relativas al consumo energético y de combustibles asociadas a la actividad agraria.

El sector primario representa de esta manera casi el 27% de las emisiones de la comunidad foral, siendo el segundo sector en emisiones por detrás de la industria. Las emisiones en el último año han aumentado un 15% respecto a 1990 (Gobierno de Navarra, 2014).

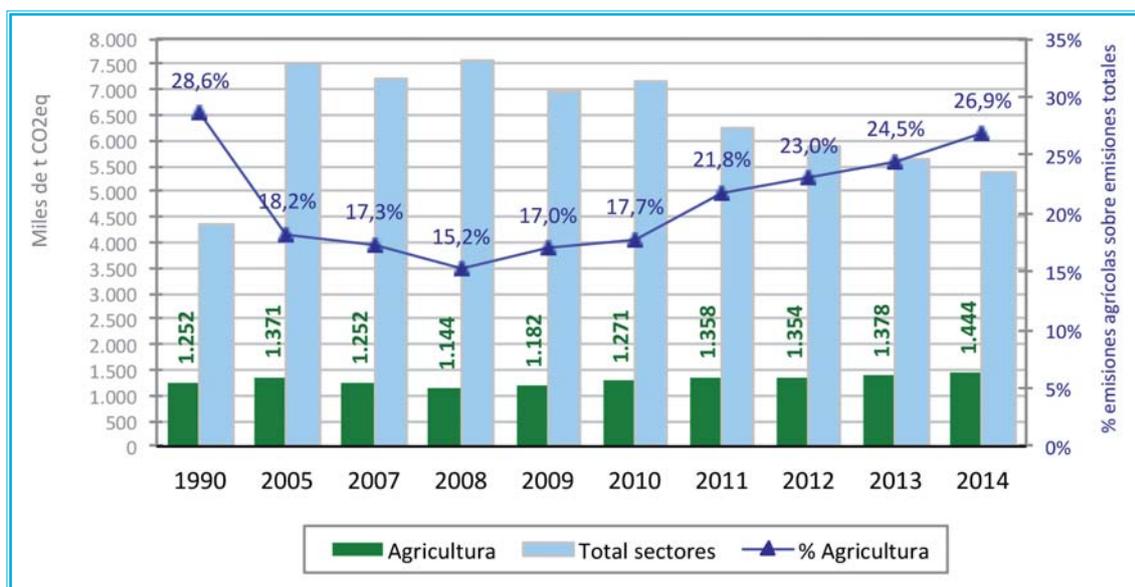


Figura 3: Evolución de las emisiones directas de GEI en Navarra (emisiones consecuencia de la actividad en Navarra)

La estrategia contra el cambio climático en Navarra, reconoce la necesidad de orientar medidas de mitigación de emisiones de efecto invernadero en torno a acciones de gestión de las tierras agrícolas. Ente otras, aparecen la mejora de la efectividad del riego y abonado, la reducción de las operaciones de laboreo e introducción de cubiertas vegetales, y la valorización de la materia orgánica de calidad como fertilizante (Gobierno de Navarra, 2011).

# El regadío en Navarra

La superficie en regadío en Navarra es en 2014 de 116.530 *ha* y supone el **36,2% de la superficie total cultivada y el 21,4% de la Superficie Agraria Útil (SAU)** de Navarra. El estudio de impacto de la política de precios del agua y su influencia en la renta y el empleo agrario como consecuencia de la aplicación de la Directiva Marco 2000/60/CE, estima que la producción del regadío en Navarra **estaría próximo al 0,9% del PIB total y al 35% del PIB agrario**. La producción bruta es de 2.177 €/ha y el margen bruto de 1.671 €/ha, mientras que la productividad del trabajo se estima en 32.911 € de margen bruto por UTA y un Valor Añadido Neto por UTA al coste de los factores de 22.674 €/UTA. El estudio concluye que el regadío concentraría el 43% de la ocupación agraria (5.245 UTAs) y el 1,8% de la ocupación total navarra. En base a información estadística de la Encuesta de Estructuras de Explotaciones Agrícolas de 2013, la zona **regable beneficia a 8.597 explotaciones**, el 58,5% de las totales en Navarra.

En el periodo 2004-2014 la superficie regable se ha incrementado un 24,7% (ver gráfico siguiente), principalmente por la construcción del Canal de Navarra. La construcción del Canal estaba prevista en dos fases para una zona regable de 53.125 *ha*. La primera fase ha transformado aproximadamente 22.500 *ha* (un 19% de la superficie en regadío actual), de la cual en 2014 se considera equipado con riego en parcela el 87 por ciento de la extensión. Sin acometer la segunda fase, se ha proyectado una ampliación de la primera que permitirá el riego de otras 15.275 hectáreas, cuya adjudicación se realizó en abril de 2014. Si se lleva a cabo la Fase II del Canal de Navarra, en conjunto se cubrirá 59.160 *ha* de transformación y la optimización energética de regadíos de 51.522 *ha*.

**Por tanto la agricultura de regadío, supone una gran oportunidad para Navarra en los próximos años por su trascendencia social y económica y un reto para mejorar la huella ambiental de las explotaciones agrícolas.**

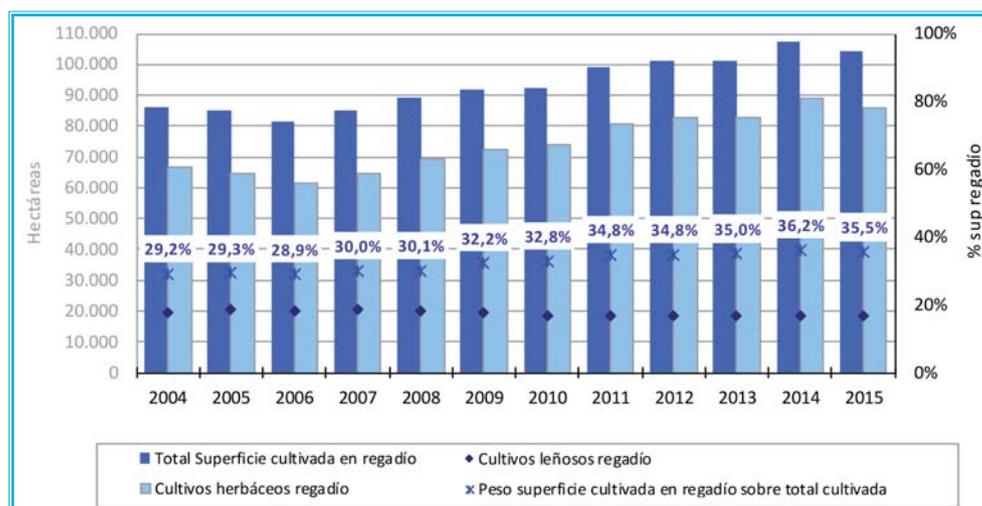


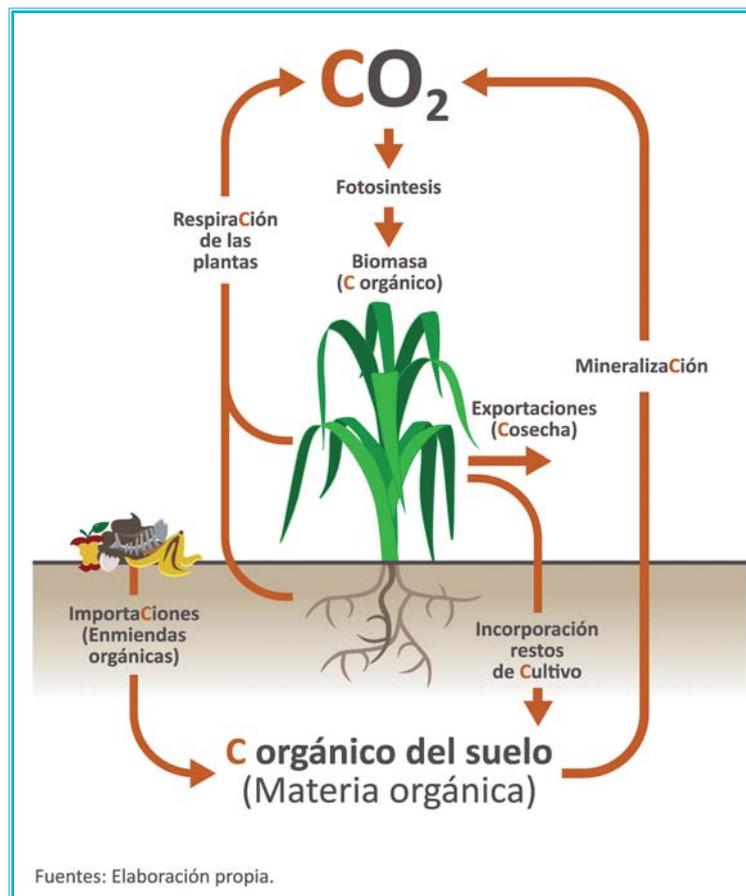
Figura 4: Evolución de la superficie de cultivo en regadío en Navarra

# Metodología

## *El secuestro de C atmosférico en los suelos agrícolas*

Los suelos contienen grandes cantidades de carbono orgánico, y en algunas zonas como la Zona Media y Sur de Navarra, también C inorgánico. Además de en los elementos vivos del suelo (plantas, macro y mesofauna, microorganismos), el C orgánico se encuentra mayoritariamente acumulado en los diferentes componentes de la materia orgánica del suelo.

El proceso de entrada y almacenamiento de C orgánico en el suelo es parte de un ciclo representado en esta figura:



**Figura 5: Ciclo carbono orgánico en suelos agrícolas**

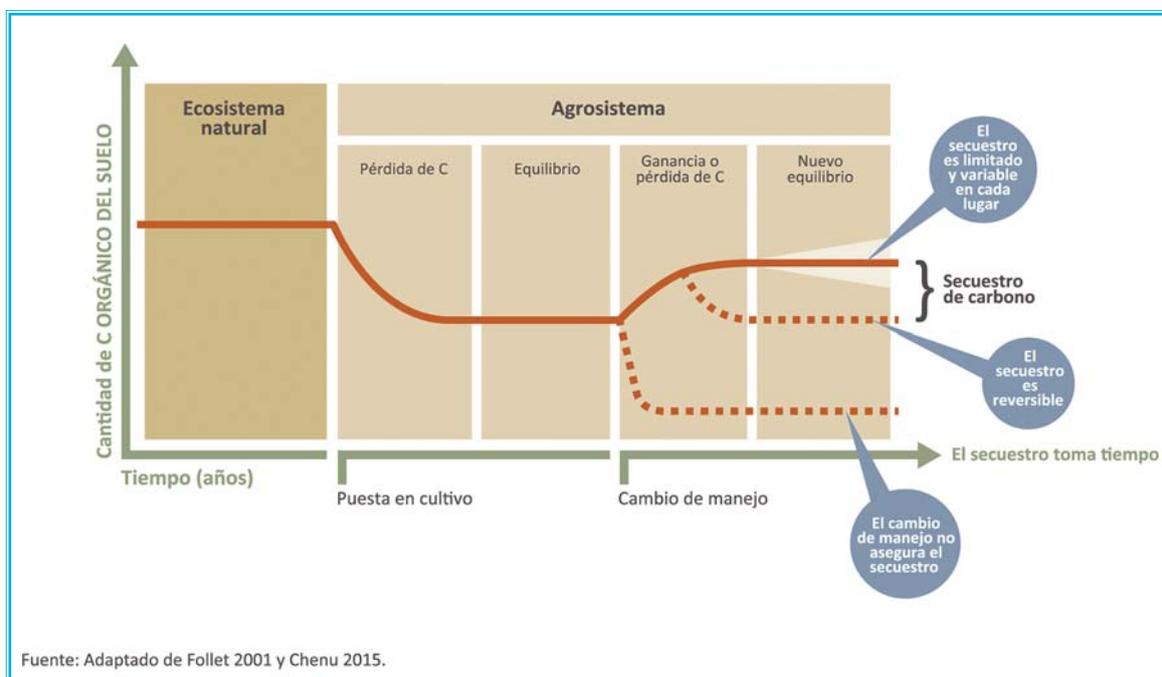
**Las plantas durante su ciclo de vida captan CO<sub>2</sub>** (diferencias entre el CO<sub>2</sub> atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO<sub>2</sub> emitido a la atmosfera durante la respiración), con un secuestro que se estima entre el 45-50 % del peso seco de la planta.

Tras incorporarse al suelo, **una parte puede quedar estabilizada a medio y largo plazo en la fracción orgánica** de éste (cada tonelada de C orgánico estabilizado en el suelo equivale a 3,7 t de CO<sub>2</sub>). La proporción del C que entra que queda estabilizado en el suelo depende de los factores que regulan su descomposición (mineralización). Entre otros, el tipo de materia orgánica, las propiedades del suelo, la disponibilidad de nutrientes y de agua, pueden regular este proceso. El balance neto entre entradas y salidas determina la cantidad final de C atmosférico estabilizado en el suelo en un lugar determinado.

**La agricultura interviene necesariamente en este ciclo.** De manera general, cuando se pone en cultivo un suelo, una parte importante del C orgánico almacenado en el suelo se pierde, por diversas razones. La alteración regular de la estructura natural con el laboreo, el aporte de elementos nutritivos (y en ocasiones, agua) y otros procesos, favorecen la descomposición acelerada de la materia orgánica acumulada de manera natural. El menor nivel de entradas por exportación de una parte de la biomasa (cosecha, retiradas o quemas de rastrojos, por ejemplo), o los procesos erosivos también pueden contribuir a esta pérdida. Esta pérdida tiene consecuencias en las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero también en la pérdida de la fertilidad natural del suelo.

*Sin embargo, el uso de prácticas agrícolas que permitan optimizar el ciclo natural del C, y desplazarlo a una situación de ganancias (aumentando las entradas y/o reduciendo las pérdidas), puede contribuir a fijar el CO<sub>2</sub> atmosférico en el suelo en forma de carbono orgánico. En este caso, la agricultura actuaría como una herramienta eficaz de retirada de CO<sub>2</sub> atmosférico. Este proceso se conoce como **secuestro de C atmosférico**.*

**Es necesario conocer que este secuestro es limitado** (tiene un límite cuando se alcanza un nuevo equilibrio) **y reversible** (puede perderse el C almacenado si no se mantienen las prácticas en el tiempo). La evolución de las tasas de absorción de C orgánico se reduce conforme avanza el tiempo desde el cambio de manejo, hasta alcanzar un nuevo estado de equilibrio entre las entradas anuales y las salidas por mineralización en las nuevas condiciones. Su contabilización como secuestro efectivo pasa por garantizar su permanencia en el suelo una vez incorporado.



**Figura 6: Evolución del C orgánico del suelo en función del manejo**

La cantidad de C orgánico que puede acumularse varía en gran medida **en función del clima** (y de su modificación con el riego), **del tipo de suelo y del cultivo implantado**. No hay que olvidar que un aumento de la materia orgánica del suelo tiene también consecuencias positivas en su capacidad para funcionar correctamente (fertilidad, resistencia a la erosión, capacidad de retener agua, etc.).

A nivel global, debe tenerse en cuenta que el potencial de mitigación por este mecanismo es reducido en relación a las emisiones globales, aunque puede suponer una proporción relativamente significativa de las emisiones de la agricultura (e.g. Chenu et al., 2014).

*La evaluación del secuestro de C en el suelo en el Proyecto Regadiox ha sido realizada en una aproximación del tipo "espacio por tiempo", basándose en el stock debidamente cuantificado en las parcelas seleccionadas de regadío y secano, y considerando que la situación de partida para las parcelas de regadío es la correspondiente a las de secano de sus mismas condiciones (unidad de suelo, zona agroclimática). Para ello se ha utilizado el protocolo de muestreo propuesto por la comisión europea: Area-frame randomized soil sampling protocol. Este protocolo se ha aplicado sobre series de suelo equivalentes en cada zona de regadío.*

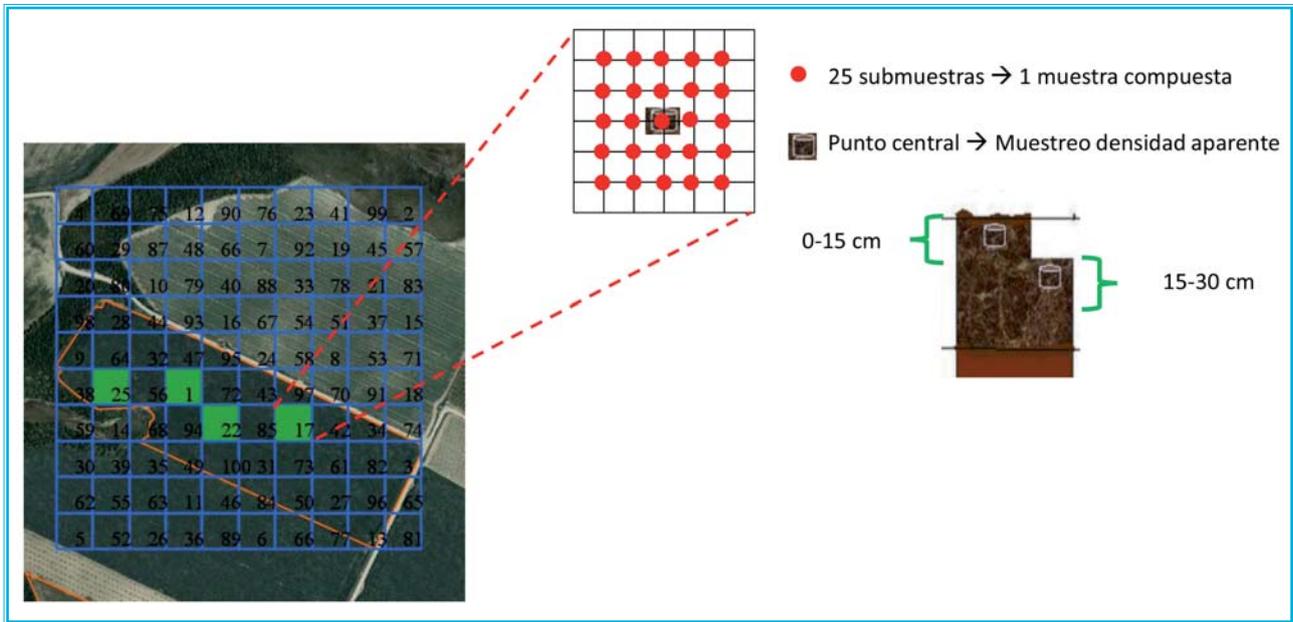


Figura 7: Protocolo de muestreo para la cuantificación de stock de carbono orgánico en el suelo

## Estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI)

*Las estimaciones de emisiones de GEI han sido elaboradas utilizando la herramienta desarrollada en el marco del proyecto EURENERS 3 para el cálculo de la Huella de Carbono (HC) de productos agroalimentarios, que mide la cantidad de GEI que se emite a la atmósfera a lo largo de su Ciclo de Vida. La metodología de cálculo de la herramienta cumple los requisitos de la norma PAS 2050 basada en el análisis de ciclo de vida de los productos agroalimentarios.*



Fotografía de la firma del convenio de colaboración entre Fundagro y Teder

**Esta herramienta incluye tanto las emisiones directas como indirectas.** El cálculo se ha realizado a nivel de parcela agrícola, contabilizando emisiones ligadas al propio suelo agrícola, a la producción de inputs como semillas, fitosanitarios y fertilizantes, la electricidad empleada en el bombeo (cuando lo hay), combustibles de las labores agrícolas y aceites de motor de los tractores, tratamientos de residuos plásticos de envases de fitosanitarios y la quema autorizada de residuos agrícolas.

Para cada una de las actividades realizadas en las parcelas agrícolas las emisiones se calculan multiplicando los datos de las actividades por sus respectivos factores de emisión. Para ello la herramienta dispone de una amplia base de datos con los factores de emisión asociados a diferentes inputs y actividades que permite calcular un valor total de emisiones de GEI expresado en kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente.

*Balance de emisiones: La emisión de gases de efecto invernadero y la captación de CO<sub>2</sub> se estudian analíticamente para ofrecer datos cuantitativos que puedan ser comparables.*

# Parcelas demostrativas

El proyecto Regadiox se ha desarrollado sobre una serie de parcelas agrícolas en Navarra.

La selección de esta red de parcelas necesitó un estudio preliminar de caracterización edáfica y climática de Navarra, para describir los suelos y poder validar las zonas elegidas para los ensayos.

*Se seleccionaron parcelas demostrativas a través de toda la geografía de la zona regada, estudiando parcelas homogéneas con suelos coherentes entre sí, que permitan analizar los datos con un grado suficiente de objetividad en cada una de las acciones.*

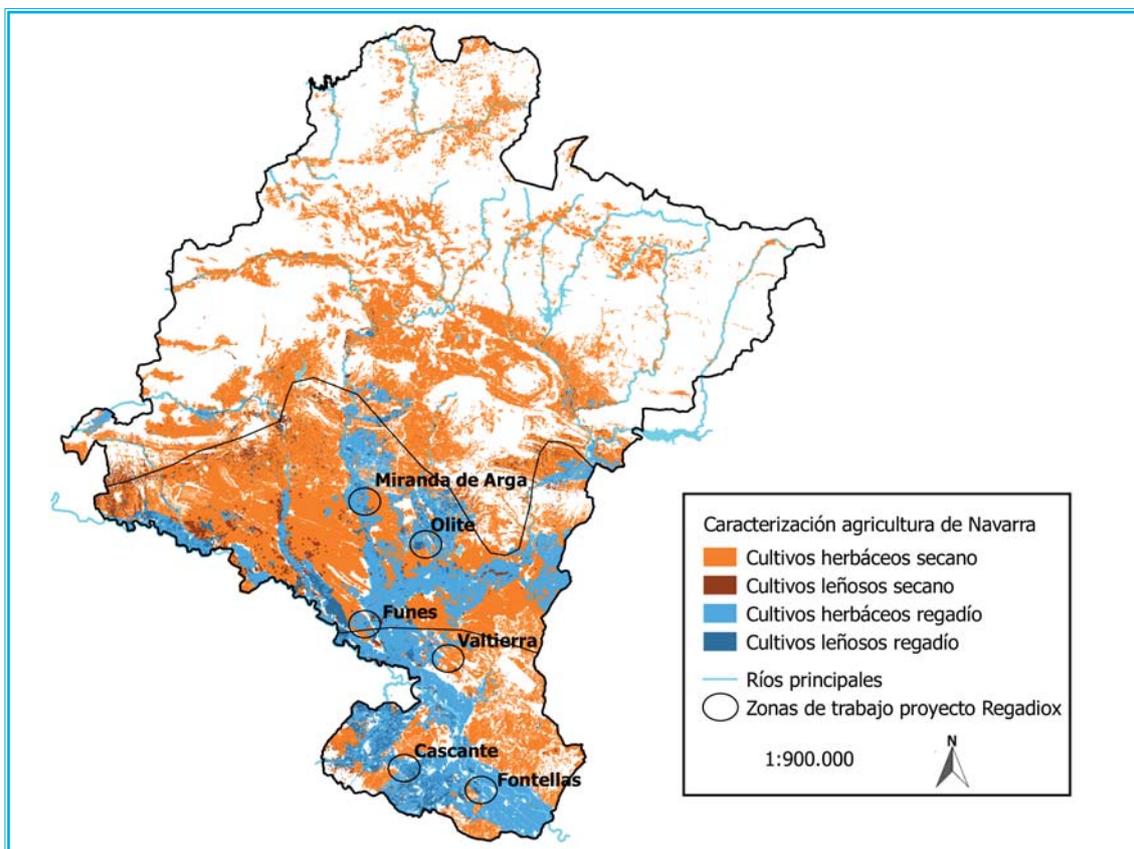


Figura 8: Localización de las zonas del proyecto Regadiox

De esta forma se han podido estimar las emisiones de gases efecto invernadero y la captación de CO<sub>2</sub> atmosférico en cada una de las acciones previstas en el proyecto.

La red de parcelas incluyó parcelas en **6 zonas diferentes de regadío**, con **cultivos leñosos (vid, olivo) y herbáceos**, en diferentes situaciones frecuentes en el regadío, así como **parcelas equivalentes** (mismo tipo de suelo, historial conocido) **de secano** en algunas zonas.

Zona climática (Papadakis)	Zona geográfica	Manejo	Cultivo	Tipo de suelo (Soil Taxonomy)
Clima mediterráneo	Miranda de Arga	Secano	Cebada	Typic Calcixerept
		Regadío	Maíz grano	
		Regadío	Maíz grano	
		Regadío	Alfalfa	
		Regadío	Hortícolas	
		Regadío	Olivo con cubierta	
	Olite	Regadío	Vid con cubierta	Petrocalcic Calcixerept
		Regadío	Vid con cubierta	
Clima estepario frío	Funes	Secano	Cebada	Xeric Haplocalcid
		Regadío	Maíz forrajero	
		Regadío	Maíz grano	
		Regadío	Hortícolas	
	Valtierra	Secano	Cebada	Xeric Haplocalcid
		Secano "abono org"	Cebada	
		Regadío	Maíz grano	
		Regadío	Hortícolas	
	Fontellas / Ribaforada	Regadío	Olivo con cubierta	Typic Calcixerept
		Regadío	Olivo sin cubierta	
	Cascante	Regadío	Vid con cubierta	Xeric Calcigypsid
		Regadío	Vid sin cubierta	

# Acciones experimentales

Sobre estas parcelas, se han podido comprobar las emisiones estimadas y el C orgánico almacenado.

## 1. Cultivos herbáceos (cambio de uso seco a regadío y diferentes cultivos de regadío)

### 1.1. ALMACENAMIENTO DE C ORGÁNICO

El regadío, de manera general, supone un mayor secuestro de C orgánico en el suelo frente al seco tradicional, al resultar en un aumento de la cantidad de biomasa producida por unidad de superficie.



Los diferentes cultivos de regadío se pueden agrupar en función de cómo modifican el ciclo de entradas y salidas de C:

- Cultivos forrajeros sin laboreo o laboreo ocasional.
- Cultivos anuales con un cultivo por campaña.
- Laboreo intensivo, con rotación de cultivos y varios al año (ej. cereal + hortícola).

*Los valores de C orgánico almacenado en las parcelas variaron entre zonas, y entre sistemas de cultivo. Se observaron diferencias cercanas al 40% en algunas zonas, en función de las características del cultivo, del suelo, la zona agroclimática y el tiempo en regadío.*

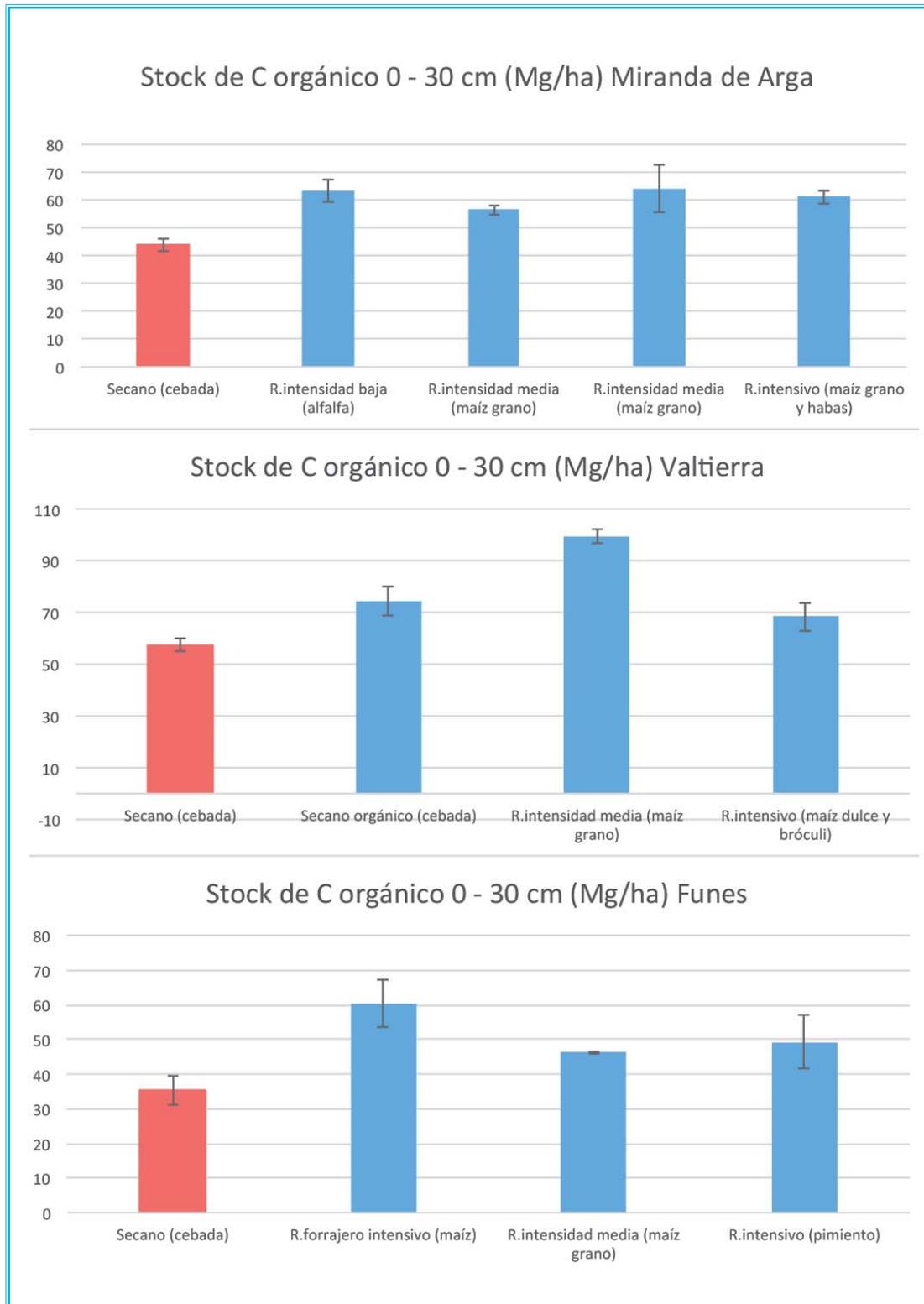
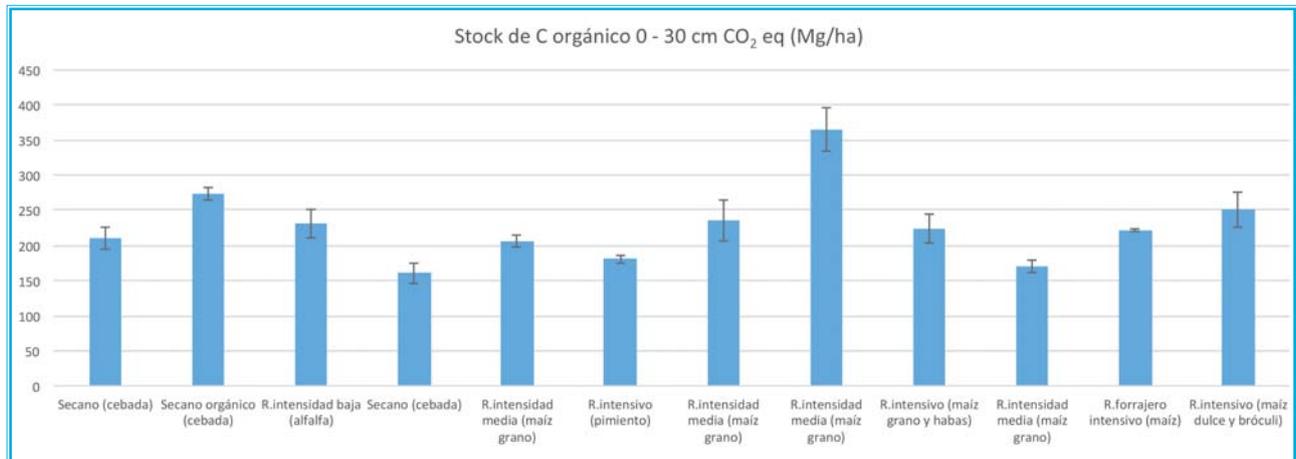


Figura 9: Stock de C orgánico en el suelo (Miranda de Arga 6 años en regadío, Valtierra 20 años en regadío y Funes 13 años en regadío)

En las diferentes zonas, las tasas medias anuales de secuestro de C orgánico estimadas considerando una situación de partida similar al secano oscilaron entre 3 y 12 toneladas de CO<sub>2</sub>/ha\*año.

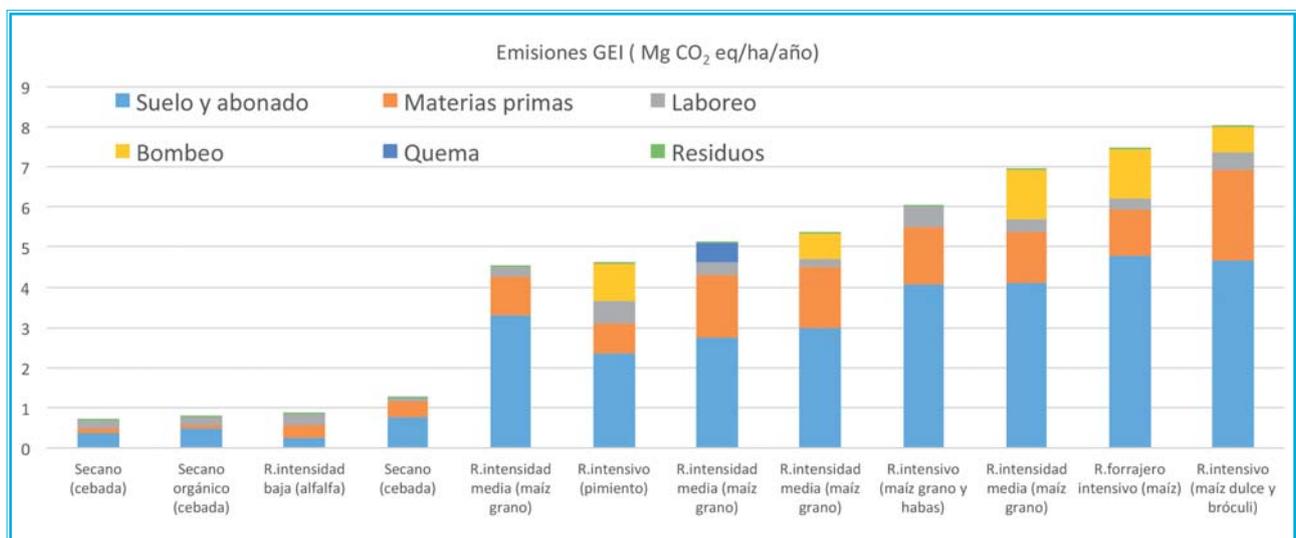
Las tasas más altas se observaron en cultivos forrajeros o de intensidad media (un cultivo al año), aunque hay variaciones dentro de estos sistemas, en función de la zona y del manejo.



**Figura 10: Stock de C orgánico en CO<sub>2</sub> equivalentes de varias parcelas de cultivos herbáceos en secano y regadío de Miranda de Arga, Funes y Valtierra**

## 1.2. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GEI

En general las emisiones GEI por unidad de superficie aumentan con el regadío, por la intensidad de uso de distintos insumos.



**Figura 11: Emisiones de gases de efecto invernadero (Mg CO<sub>2</sub> eq/ha y año) calculadas para varias parcelas de cultivos herbáceos en secano y regadío de Miranda de Arga, Funes y Valtierra**

Las principales fuentes de emisión son las asociadas a la fertilización y la respiración del suelo, en todos los casos, y a las asociadas a las materias primas utilizadas durante el ciclo de cultivo o al bombeo del agua de riego.

*El balance neto de emisiones (emisiones comparadas con las tasas anuales de secuestro) en aquellos regadíos con cultivos de baja intensidad como los forrajeros o el maíz en cultivo anual, puede ser nulo o negativo (ganancia neta de CO<sub>2</sub> equivalente frente a las emisiones) durante un periodo de tiempo más largo, por su elevado potencial de secuestro frente a las emisiones.*

Por tanto, un cultivo anual de regadío es capaz de compensar, durante algunos años, el aumento de emisiones GEI por su gestión con una mayor absorción de CO<sub>2</sub> por el agro sistema obteniendo balances favorables. **La incorporación de técnicas de cultivo que permitan optimizar este capital, llegando a tasas de secuestro elevadas y emisiones reducidas, son las más prometedoras en este sentido.**

## 2. Cubiertas vegetales en cultivos permanentes de regadío (olivo y viña)

### 2.1. ALMACENAMIENTO C ORGÁNICO

El uso de cubiertas verdes en cultivos leñosos como el olivo y la vid puede resultar una práctica eficaz en la lucha contra el cambio climático que ofrece distintas ventajas agronómicas.

La implantación de cubiertas verdes incrementa las entradas de C orgánico en el suelo al aumentar la materia orgánica aportada con los residuos y raíces de las cubiertas.

Además, las cubiertas en el regadío tienen diversos beneficios agronómicos: facilitan las operaciones de cultivo con suelo húmedo, reduce los costes del mantenimiento de un suelo desnudo, aumenta la biodiversidad del suelo y del agrosistema y en la viña se utiliza para controlar el desarrollo del propio cultivo.

El proyecto ha demostrado que **la implantación de cubiertas favorece el almacenamiento de C orgánico, cuando las cubiertas se mantienen en el tiempo**, especialmente aquellas con una edad de más 10 años.

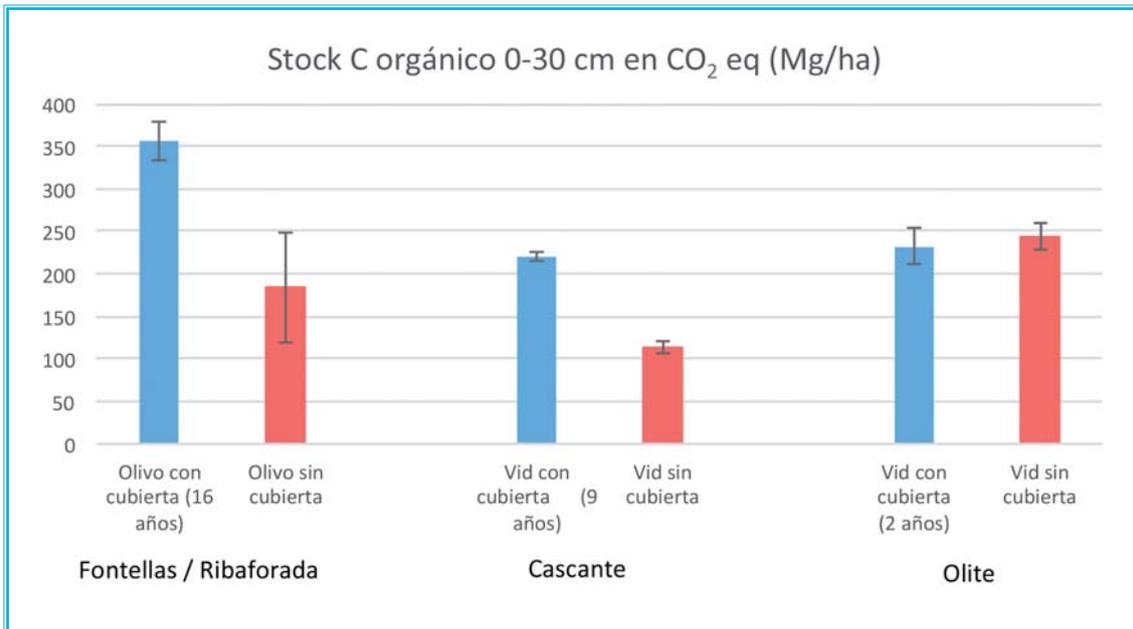


Figura 12: Stock de C orgánico en el suelo (Ribaforada/Fontellas 16 años, Cascante 9 años y Olite 2 años)

Las cubiertas vegetales en cultivos permanentes comportan efectos positivos sobre la mitigación del cambio climático a medio y largo plazo.

## 2.2. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GEI

Respecto a las emisiones, se observan diferencias pequeñas frente al manejo sin cubierta en general, y más bajas que para los cultivos herbáceos.

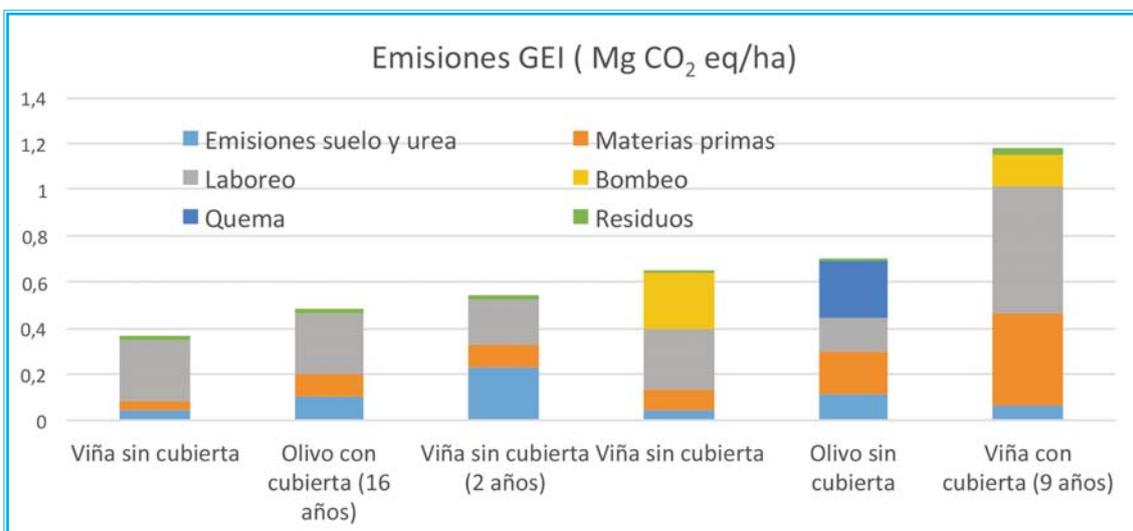


Figura 13: Emisiones GEI

### 3. Eficiencia del uso del nitrógeno para la reducción de emisiones GEI (fertilizantes orgánicos/inorgánicos)

El uso de fertilizantes orgánicos es una práctica muy interesante que permite vincular agricultura y ganadería y reducir el volumen de residuos, garantizando el correcto aporte de nutrientes a los cultivos.



La fertilización orgánica con purines de porcino, estiércol de pollo, fracción líquida y sólida de digerido de vacuno y lodo de una Estación Depuradora de Aguas Residuales es una práctica factible para el correcto desarrollo de los cultivos ya que aporta micronutrientes y materia orgánica.

Reporta así mismo, distintos beneficios agroambientales, ya que por definición, permite vincular en circularidad las deyecciones ganaderas y su aprovechamiento como abono orgánico.

El aporte extra de materia orgánica permite aumentar la fijación de C, de modo que reduce la erosionabilidad del suelo y aumenta la biodiversidad funcional del mismo.

**Factores clave en la correcta aplicación de abonos orgánicos:**

- 1- Cálculo ajustado de necesidades de fertilización nitrogenada por el cultivo, adaptada la fase vegetativa del mismo.
- 2- Es necesario conocer la contribución del suelo, es decir, el nitrógeno disponible en el suelo y el previsto procedente de la mineralización de las distintas fuentes de materia orgánica.
- 3- Evitar las pérdidas de nitrógeno por lixiviación planificando los riegos y las dosis para evitar pérdidas por lavado.
- 4- Reducir las pérdidas por volatilización en el momento de la aplicación del abonado orgánico mejor en días frescos y húmedos. Evitar aplicaciones en días de viento y utilizar técnicas como el enterrado en 24 horas o la aplicación mediante tubos colgantes.
- 5- Análisis de la composición del abono orgánico . Es preciso conocer el coeficiente de equivalencia de su contenido en nitrógeno para realizar un plan de abonado (ver tabla).

<i>Tipo abono orgánico</i>	<i>Coefficiente de equivalencia del N (%)</i>	
	<i>El año tras el aporte</i>	<i>A los dos años tras el aporte</i>
Purín de porcino	41	7
Estiércol de pollo	29	7
Fracción sólida de digerido vacuno	33	15
Fracción líquida de digerido vacuno	39	
Lodo EDAR	26	7

*\*Datos de los ensayos realizados (los datos son similares a los encontrados en bibliografía, excepto los de purín de porcino y estiércol de pollo para los que la bibliografía marca que están entre un 50 y un 60%)*

El coeficiente de equivalencia del N de los abonos orgánicos se interpreta como las unidades fertilizantes de N aplicadas con urea a las que equivale el N total aplicado con cada abono orgánico. Por ejemplo si aplicamos una dosis de purín de porcino que contenga 100 kg de N total, equivale a aplicar 41 kg de N con urea 46%, es decir, el 41% del N total del purín se aprovecha en el año tras el aporte.

**Los resultados han mostrado que es posible sustituir parcialmente los abonos minerales por orgánicos sin afectar al rendimiento.** La estrategia a seguir en un plan de abonado en maíz, sería aplicar en fondo la dosis de abono orgánico que corresponda a 250 UFN. Con ese aporte en fondo se cubrirían, con la mayoría de los abonos orgánicos estudiados, las necesidades en fósforo y potasa del cultivo, y parte del nitrógeno (N). Por ejemplo, si aplicamos 50 m<sup>3</sup> de un purín de cerdo que contenga 5 kg de N por m<sup>3</sup>, estamos aplicando 250 kg N/ha. Aplicando el coeficiente de equivalencia, equivale a aplicar 103 kg de N/ha (250 x 41/100) con urea. El resto de N hasta cubrir las necesidades de N del maíz (300 kg N/ha para un rendimiento de 14 t/ha de maíz) se aplicarían con urea (en el ejemplo 197 kg de N/ha que corresponden a 428 kg de urea 46% por hectárea).

**Sin embargo, el uso de abonos orgánicos no reduce las emisiones GEI respecto al uso de abonos inorgánicos. Ambos sistemas de abonado dan lugar a emisiones GEI similares. Esto es debido a que las emisiones de GEI se calculan a partir de la cantidad total de nitrógeno aportada, no sólo la que es eficiente para el cultivo.** En el ejemplo anterior, si aplicamos 250 kg N/ha con purín de cerdo (del cual el cultivo sólo aprovecha el 41%) y lo complementamos con 197 kg de N/ha con urea 46%, para el cálculo de las emisiones GEI se tienen en cuenta la suma de los dos, 447 kg de N/ha. Si ese abonado lo hiciésemos sólo con urea 46%, se aplicarían 300 kg de N/ha. Esa diferencia en kg de N totales es la que aumenta las emisiones GEI derivadas del uso de abonos orgánicos. Por ello, desde el punto de vista de las emisiones, interesa emplear abonos orgánicos con un alto coeficiente de equivalencia del nitrógeno. En el cálculo de las emisiones no se tienen en cuenta las derivadas del transporte de la urea desde su punto de producción hasta el punto de acopio del agricultor. Esta distancia puede ser muy grande en comparación con la distancia de transporte de los abonos orgánicos, que se aplican cerca de donde se producen. **Si se tuviesen en cuenta probablemente las emisiones GEI serían menores para los abonos orgánicos. Además, la aplicación de abonos orgánicos aporta materia orgánica al suelo, contribuyendo a la fijación de carbono.**

*Económicamente el abonado orgánico, puede ser más rentable si bien el nivel de rentabilidad dependerá del coste del abono orgánico y de la distancia de la zona de acopio a la de aplicación, por tanto es recomendable un estudio previo.*

#### 4. Marco de riego y materiales empleados en aspersión para reducir el gasto energético y las emisiones de GEI

El objetivo de este ensayo es conocer y demostrar las relaciones existentes entre variantes de diseño, de implantación y de explotación del sistema de riego en parcela y el consumo energético. Así mismo valorar la eficiencia en la aplicación de agua y el coste económico de cada variante así como determinar la Huella de Carbono de las posibles variantes. El consumo energético en un regadío viene dado por la energía necesaria para bombear el agua. **Ajustando el diseño del sistema de riego se pueden disminuir las pérdidas de carga y la presión necesaria en el hidrante, y como consecuencia, el consumo de energía y las emisiones de GEI que lleva asociadas.**



La **fase de diseño de riego en parcela** se considera un momento crucial a la hora de definir la rentabilidad de la explotación, de hecho cuanto mayor es el valor del coeficiente de uniformidad, menor es la aportación de agua de riego necesaria para alcanzar una determinada producción. Esto pone claramente de manifiesto que un sistema bien diseñado y manejado puede producir ahorros importantes de agua y de energía, aumentando la rentabilidad del cultivo.

Según las experiencias demostrativas de comparativas de los marcos de riego 18 x 15T y 12 x 15T, el marco de riego **12 x 15T se consolida como una alternativa** para presiones de funcionamiento en aspersor desde 25 a 30 m.c.a. En redes nuevas de riego el dimensionamiento de la red para el marco 12 x 15T supondría un **ahorro de presión de 5 m.c.a.** Este marco de riego mantiene el coeficiente de uniformidad del marco 15x18 en la mayoría de las situaciones. Su instalación puede ser interesante en regadíos donde haya que bombear el agua, ya que al requerir menos presión en cabecera, demanda menos energía para bombear el agua, con la consiguiente reducción de emisiones de GEI. También puede ser interesante en regadíos donde no sea necesario bombear el agua pero donde la presión en cabecera no sea suficiente para un marco 15x18 m.

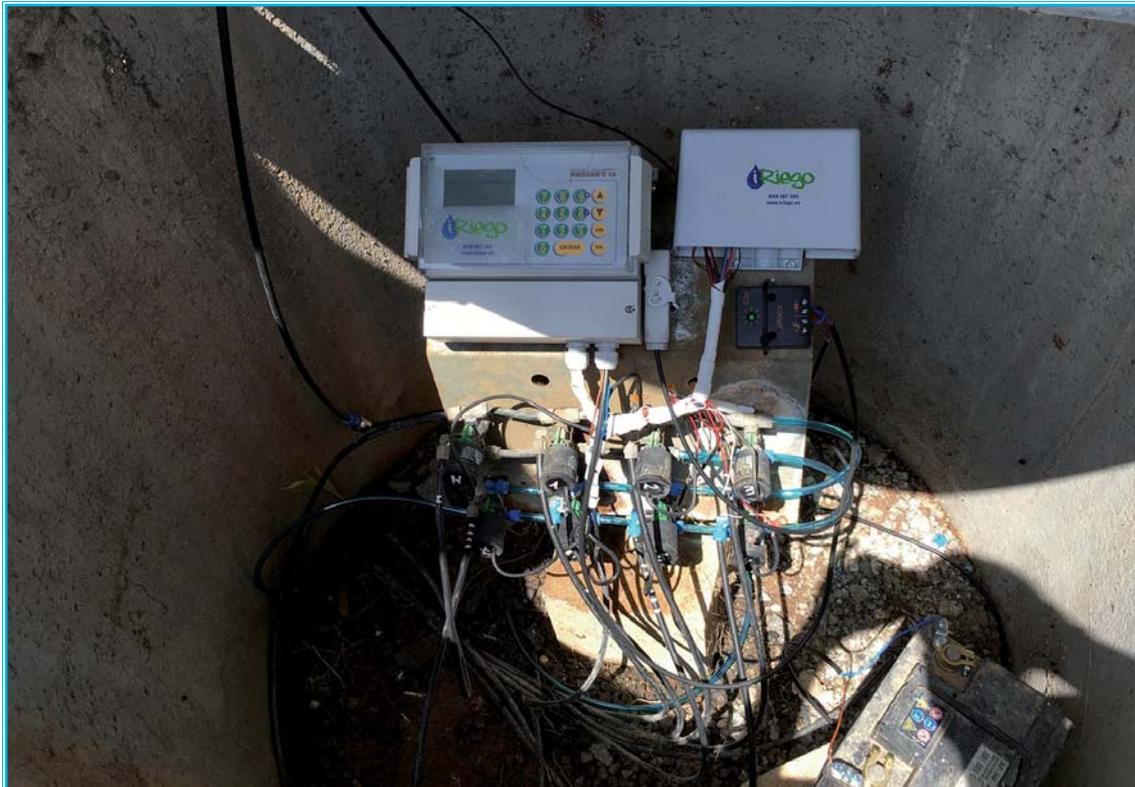
- Atendiendo a la emisión de CO<sub>2</sub>, a nivel de **instalación de riego en parcela**, se ha comprobado que en el marco **12 x 15T las emisiones de GEI son mayores** que en el marco de riego 18 x 15T; el **incremento** de Huella de Carbono es de **294,12 kg CO<sub>2</sub>/ha** (aproximadamente un 5%). Se debe a que para instalar un marco 12 x 15 m hace falta más material que para un marco 15 x 18 m, por lo que las emisiones de GEI asociadas a la fabricación de los materiales y a su instalación es mayor. Por lo tanto, desde el punto de vista de emisiones de GEI, no sería interesante para regadíos de presión natural en los que la presión en cabecera no sea limitante.

A nivel de instalación de riego en parcela, la elección de los materiales y la fase de diseño, son etapas en las que también se pueden reducir las pérdidas de carga de la instalación. Se detallan los aspectos relevantes:

- Para todas las cabeceras estudiadas, se obtienen **valores más altos de uniformidad** con el uso de aspersores sectoriales con **doble boquilla**. En condiciones de no viento, **el valor más alto de uniformidad** se obtiene en el ensayo de **cabecera a 10 metros** y aspersores sectoriales con **2 boquillas**.
- Las **opciones más eficientes** desde el punto de vista de pérdidas de carga serían las instalaciones de **PE 125 mm** y la **calderería de 110 mm**. Con la instalación de **válvulas enterradas sin acometidas**, se conseguiría bajar la presión necesaria en cabecera al desaparecer las pérdidas de carga en las subidas y bajadas a válvulas. Sin embargo, dentro de este ámbito, **el mayor valor de Huella de Carbono**, desde el punto de vista de materiales, es el correspondiente a la alternativa con conexiones y nudos en **PE 125**.

Si ya aumentamos el ámbito de estudio, y pasamos de la parcela al **nivel de red colectiva de riego**, con el dimensionamiento de toda la zona regable del Canal de Navarra en su primera fase para un requerimiento de presión de consigna en hidrante de 5 mca menos (correspondiente al marco 12 x 15T) se reduce la Huella de Carbono un 10,09 % de media respecto a la emisión de CO<sub>2</sub> de los materiales de la red colectiva empleados en la alternativa del marco 18 x 15T. Si traducimos este dato por hectárea, supondría una **emisión de 402,76 kg CO<sub>2</sub> menos al pasar al marco 12 x 15T**.

Uniendo los dos ámbitos de estudio mencionados anteriormente, es decir instalación de riego en parcela y red colectiva de riego en la zona regable del Canal de Navarra en su primera fase, el **ahorro global de CO<sub>2</sub>** al pasar de un marco de riego 18 x 15T al marco de riego 12 x 15T en redes dependientes de energía sería de **21,90 kg CO<sub>2</sub>/ha y año**. En este ahorro global se ha considerado una vida útil de las instalaciones de 30 años.



En la fase de manejo del riego también se pueden tomar medidas para reducir la emisión de GEI. La automatización de una red de riego mediante el uso de telecontrol se puede hacer, en general, a varias escalas y en distintas partes de la instalación. El grado de automatización se conseguiría con la automatización integral de un sistema colectivo para programar riegos:

- **Primer nivel.** Automatizar la red colectiva de riego y su gestión. El objetivo es controlar cada uno de los hidrantes. Suele darse en Comunidades de regantes, Concesionarias de riego...
- **Segundo nivel.** Automatizar la instalación de riego en parcela. En este sentido la telefonía móvil ha permitido un profundo cambio en la forma de entender la información de manera que se puede iniciar y parar el riego de la parcela, consultar riegos pasados, consultar riegos actuales...

En estos dos niveles, con la implementación de sistemas de telecontrol, se produce un ahorro de GEI debido al menor número de desplazamientos que deben hacerse para la gestión (primer nivel) y programación de los riegos (segundo nivel).

Además de este ahorro de *kg* de CO<sub>2</sub> directo, con el telecontrol se consigue satisfacer los requerimientos de caudal, presión y frecuencia de suministro que garantizan el correcto funcionamiento de los sistemas de riego (permiten un mayor control del agua aplicada y por tanto un mayor ahorro de las dotaciones totales a suministrar). Esto se traduce al final de la cadena en una mejora del rendimiento y calidad de los cultivos

**Otro aspecto del manejo del riego sobre el que se puede actuar es la realización de auditorías energéticas.** Las instalaciones van perdiendo eficiencia con el paso de los años y necesitan mantenimientos para mejorar dichas eficiencias. Con estas auditorías podemos detectar las bajadas de eficiencia y actuar sobre ellas, para realizar un menor consumo energético, y como consecuencia, reducir las emisiones de GEI.

## Recomendaciones generales

- **En cultivos leñosos, implantar cubiertas vegetales en las calles entre hileras de árboles.** De esta manera se consigue un importante aumento del contenido de C orgánico en el suelo, entre otras cosas. El efecto de la cubierta vegetal se observa de manera más clara con el tiempo, cuando ésta tiene una **antigüedad de varios años**.
- Dentro de los **cultivos herbáceos de regadío** no se observan diferencias claras entre los distintos sistemas, si bien hay una tendencia más favorable para los regadíos de baja y media intensidad, y menos favorable para los regadíos intensivos:
  - 1- En relación al **almacenamiento de materia orgánica**, se observan **diferencias** cercanas al 40% en algunas zonas, en función de las características del cultivo, del suelo, la zona agroclimática y tiempo en regadío.
  - 2- En relación a las **emisiones de GEI**, la principal fuente de variación es el tipo de cultivo, aunque para un mismo cultivo (maíz grano) se observan valores que pueden ser hasta un 54% más elevados en función de distintos parámetros, que suponen las **principales fuentes de emisiones de GEI**, que son por este orden: emisiones de los suelos **provocadas por la aplicación de fertilizantes nitrogenados**, seguido por la **fabricación y transporte de materias primas**, y después por las emisiones debidas a **las labores**. Por este motivo se recomiendan las siguientes técnicas de cultivo:
    - **Realizar sólo los laboreos necesarios** para el óptimo desarrollo de cultivo, o si es posible, eliminar el laboreo.
    - **Alternar, en la rotación de cultivos**, campañas intensas (1,5 o 2 cultivos al año) con campañas de baja intensidad (1 cultivo al año o cultivos con menor o ninguna necesidad de laboreo).
    - **Incorporar al suelo los residuos del cultivo siempre que sea posible.**
    - **Incluir en la rotación especies de leguminosas, a ser posible forrajeras**, porque necesitan menos labores y menos fertilización nitrogenada.
    - **Uso razonable de fertilizantes nitrogenados**, ajustando las dosis y los momentos de aplicación a las necesidades de los cultivos.
    - **Utilización de fertilizantes orgánicos.** Tener en cuenta el nitrógeno que contienen y que es aprovechable por el cultivo (coeficiente de equivalencia). Entre los abonos orgánicos más frecuentemente disponibles hay diferencias en su eficiencia como fertilizantes nitrogenados (26% al 41%), por lo que es necesario conocerlas bien para utilizarlas adecuadamente. Aunque en la parcela no disminuyen las emisiones de GEI, aportan carbono al suelo.

- El **bombeo del agua**, es una **fuentes importante de emisiones de GEI**. Por ello, en los regadíos donde sea necesario hacerlo, se recomienda especialmente:
  - a. **Uso de materiales y diseños de riego más eficientes**, es decir, que manteniendo la uniformidad de riego tengan menores pérdidas de carga y se pueda disminuir la presión en cabecera del hidrante.
  - b. **Automatización de la gestión de redes de riego y de las parcelas**. Se consiguen reducir las emisiones de GEI del consumo de gasoil, ya que disminuyen los desplazamientos a la parcela.

*El agricultor que sigue estas recomendaciones, no sólo trabaja por la mitigación del Cambio Climático, también puede ahorrar dinero y esfuerzo en su explotación:*

- *Gastando menos combustible en labores.*
- *No desperdiciando fertilizante.*
- *Mejorando la estructura, condición y calidad del suelo con un manejo adecuado de la materia orgánica, incluyendo los abonos orgánicos.*
- *Invirtiendo en una instalación de riego que necesitará menos energía para el bombeo.*
- *Evitando desplazamientos a las fncas durante la temporada de riego.*

## Referencias

- IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- Gobierno de Navarra, 2014. INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO NAVARRA 2014. RESUMEN. Disponible en:  
[https://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Medio+Ambiente/Cambio+climatico/Emision+gases.htm](https://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Cambio+climatico/Emision+gases.htm) (consultado 20-12-2016)
- Gobierno de Navarra, 2011. ESTRATEGIA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO DE NAVARRA 2010 – 2020. PLAN DE ACCIÓN 2010 – 2012. Disponible en:  
[http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/4C14FE9F-3D78-4BA9-BAD8-7FFB08469420/173427/Libro\\_1.pdf](http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/4C14FE9F-3D78-4BA9-BAD8-7FFB08469420/173427/Libro_1.pdf) (consultado 16-12-2016)
- Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I., Pardon L., 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92 p. <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Etude-Reduction-des-GES-en-agriculture>
- Stolvoboy, V., Montanarella, L., Filippi, N., Jones, A., Gallego, J., Grassi, G., 2007. Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soil of the European Union. Version 2. EUR 21576 EN/2. 56 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Follet, R.F. 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. Soil & Tillage Research, 61: 77-92.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2015. Armine Avagyan, Kaisa Karttunen, Caroline De Vit & Janie Rioux Programa de Mitigación del Cambio Climático en la Agricultura (MICCA). Herramienta de aprendizaje sobre medidas de mitigación apropiadas para cada país en el sector de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Roma, 2015. ISBN 978-92-5-308786-0.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2014. Greenhouse gas emissions from Agriculture, Forestry and other Land Use. Disponible en: <http://www.fao.org/in-action/micca/en/>
- Chenu C., Klumpp K., Bispo A., Angers D., Colnenne C., Metay A. 2014. Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France. Innovations Agronomiques 37 (2014), 23-37.
- Chenu, C. 2015. Potencial de la Agricultura para reducir emisiones de GEI. Una visión global. 2ª Jornada Técnica Proyecto Life Regadiox. Gestión de suelos agrícolas de regadío para la gestión del C atmosférico. Pamplona, 14 de diciembre de 2015.



*Realizado con la contribución del instrumento financiero LIFE de la Comunidad Europea*

***Más información sobre el proyecto en la  
página web: <http://life-regadiox.es/es/>***

