



**PROYECTO “LIFE RegaDIOX (LIFE12 ENV/ES/00426)”**

**INFORME FINAL DE EVALUACIÓN  
MEDIOAMBIENTAL**

**Entregable perteneciente a la:**

**ACCIÓN C. SEGUIMIENTO DEL IMPACTO DE  
LAS ACCIONES DEL PROYECTO**

**C1 Seguimiento Medioambiental de las  
Repercusiones del Proyecto.**

Documento:	INFORME FINAL DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL
Fecha:	17/02/2017
Versión:	Versión final
Acción	C1. Seguimiento medioambiental de las repercusiones del proyecto.
Elaboración:	 GAP Recursos, S.L.

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	4
1.1. Presentación .....	4
1.2. El Proyecto LIFE REGADIOX .....	4
1.3. Metodología .....	6
1.3.1. Metodología de la evaluación ambiental .....	6
1.3.2. Metodología de las experiencias demostrativas del proyecto .....	8
2. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL PAPEL DE LA AGRICULTURA EN NAVARRA .....	14
2.1. Marco Normativo del Cambio Climático .....	14
2.2. La agricultura y el cambio climático .....	18
2.2.1. Emisiones de GEI de Navarra .....	20
2.2.2. El regadío en Navarra .....	23
2.2.3. Consumo de energía en la agricultura navarra .....	27
2.2.4. Consumo de fertilizantes en la agricultura navarra .....	29
2.2.5. Efectos esperados del Cambio Climático sobre la agricultura de regadío en Navarra .....	32
3. CONTRIBUCIÓN DE LIFE REGADIOX A LA MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO .....	34
3.1. Efecto sobre el CC del cambio de uso del suelo seco-regadío .....	35
3.1.1. Objetivos y metodología específica .....	35
3.1.2. Resultados .....	36
3.2. Prácticas de manejo del suelo en cultivos herbáceos de regadío para potenciar la captura y estabilización de C en el suelo .....	42
3.2.1. Objetivos y metodología específica .....	42
3.2.2. Resultados .....	43
3.3. Prácticas en cultivos permanentes de regadío con uso de cubiertas vegetales encaminadas a mejorar la fijación de C y el balance de emisiones .....	47
3.3.1. Objetivos y metodología específica .....	47
3.3.2. Resultados .....	48
3.4. Sustitución de una parte de la fertilización mineral con fertilizantes orgánicos .....	52
3.4.1. Objetivos y metodología específica .....	52
3.4.2. Resultados .....	53
3.5. Diseño y manejo de sistemas de riego teniendo en cuenta la variable de emisión de GEI .....	58
3.5.1. Objetivos y metodología específica .....	58
3.5.2. Resultados .....	59
3.6. Potencial de las experiencias demostrativas sobre la mitigación del Cambio Climático .....	63
4. CONTRIBUCIÓN DE LIFE REGADIOX A LA EFICIENCIA EN EL USO DE ENERGÍA .....	70
5. CONTRIBUCIÓN DE LIFE REGADIOX A LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO .....	73
6. CONTRIBUCIÓN DE LIFE REGADIOX A LA SOSTENIBILIDAD DE LA ACTIVIDAD AGRARIA .....	75
7. PRINCIPALES CONCLUSIONES SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO LIFE REGADIOX .....	78

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Presentación

La Evaluación del impacto ambiental del proyecto se enmarca en la Acción **C. Acciones de seguimiento del impacto medioambiental y socioeconómico del proyecto**, cuyo objetivo es monitorizar los indicadores ambientales y elaborar una evaluación del impacto ambiental y socioeconómico del proyecto.

El presente informe corresponde al entregable **Informe final de Evaluación Ambiental** y da continuidad al Informe Intermedio de Evaluación Ambiental, entregado en febrero de 2016. El informe final ha revisado y actualizado la información y análisis provisionales del informe intermedio. Éstos se han completado con los resultados de las experiencias que aún se encontraban en marcha durante su elaboración, con nuevos intercambios con el panel de expertos, y con bibliografía y análisis complementarios.

El informe se estructura de la siguiente forma:

- El apartado introductorio presenta brevemente el proyecto LIFE Regadiox, la metodología general de evaluación ambiental y resume los aspectos metodológicos del proyecto relevantes para la comprensión de los resultados.
- El apartado 2 muestra el contexto regional al que se dirige el proyecto y sobre el que se prevé impactar.
- Los apartados 3 a 6 recopilan los resultados ambientales de las acciones B1 a B6 del proyecto y valoran los impactos, dando respuesta a las preguntas establecidas en la metodología de evaluación.
- Finalmente, el apartado 7 relaciona las principales contribuciones ambientales del proyecto.

## 1.2. El Proyecto LIFE REGADIOX

El **objetivo general** de Life Regadiox es **diseñar, demostrar, testar y difundir** el impacto que puede tener en los efectos del cambio climático, un **modelo mejorado de gestión sostenible de la agricultura de regadío** integrado en las políticas agrarias y rurales de Navarra. El proyecto analiza **prácticas de manejo del suelo que incrementen a medio y largo plazo la captación y estabilización de CO<sub>2</sub> atmosférico como materia orgánica del suelo**, y de **prácticas de manejo que supongan un uso más eficiente y sostenible de los nutrientes, la energía y el agua** y que por tanto, se traduzcan en **menores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)**.

Los **objetivos específicos** del proyecto son los siguientes:

- Diseñar un modelo innovador de gestión agrícola en sistemas de regadío para promover la adaptación y 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)

- Implementar con carácter demostrativo experiencias de referencia del modelo para contrastar la metodología propuesta y demostrar su impacto.
- Implementar experiencias piloto a gran escala para testar el impacto del modelo en la agricultura profesional.
- Evaluar el impacto de las actuaciones, los aprendizajes y los resultados de las acciones del proyecto desde un punto de vista medioambiental y socioeconómico.
- Capacitar a agricultores y transferir los aprendizajes y resultados para su posible inclusión en prácticas habituales, así como capitalizar y elevar éstos a políticas agrarias/medioambientales a nivel regional, nacional y europeo.
- Difundir el modelo y su papel principal como mitigador del cambio climático a nivel regional, nacional y europeo; para su posible capitalización y transferencia a otros territorios (sobre todo aquellos con clima semiárido del sur de Europa).

El **plan de acción** estructura las acciones en los siguientes bloques:

A) Acciones preparatorias.

B) Acciones de implementación de 6 experiencias demostrativas para la mejora de la fijación de carbono orgánico en el suelo y la reducción de emisiones de GEI:

B1 Experiencias demostrativas de cambio de uso del suelo seco-regadío para fijación de carbono

B2. Experiencias demostrativas de laboreo reducido en cultivos herbáceos de regadío, encaminadas a la mayor fijación de carbono y balance de emisiones.

B3. Experiencias demostrativas de uso de cubiertas vegetales en cultivos permanentes de regadío, encaminadas a la mayor fijación de C y balance de emisiones.

B4 Eficiencia del uso del N en fertilizantes orgánicos frente a fertilizantes inorgánicos

B5 Gestión sostenible del uso del agua de riego

B.6 Experiencias piloto a gran escala implantadas en parcelas agrícolas profesionales.

C) Acciones de seguimiento del impacto medioambiental y socioeconómico del proyecto.

D) Acciones de sensibilización difusión, formación y capitalización de agricultores e inclusión de aprendizajes en políticas agrarias o medioambientales.

E) Acciones de gestión y coordinación del proyecto y el consorcio

El proyecto cuenta con **tres beneficiarios directos**, la Fundación FUNDAGRO (beneficiario coordinador), la UPNA (Universidad Pública de Navarra) e INTIA (Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias). Además, dispone de entidades colaboradoras, como las Cooperativas agrarias de la Comunidad Foral de Navarra, las Asociaciones de Regantes, los Gestores de Residuos Orgánicos y la implicación del Departamento de Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración Local del Gobierno de Navarra.

## 1.3. Metodología

### 1.3.1. Metodología de la evaluación ambiental

Tal y como se definió inicialmente en el proyecto y en el Plan de Evaluación<sup>1</sup>, la evaluación separa en dos informes los impactos ambientales y los socioeconómicos, aunque ambos aspectos son complementarios.

La evaluación ambiental se centra en los objetivos ambientales del proyecto, es decir su objetivo es **valorar en qué medida el modelo de gestión agrícola en sistemas de regadío que define el proyecto, promueve la mitigación y la adaptación al cambio climático.**

Esta evaluación se orienta mediante preguntas, cuya respuesta se basan principalmente en los indicadores de resultado del proyecto. El valor logrado por los indicadores se analiza considerando información adicional y conocimientos de los socios, el panel de expertos (a través de los Workshops del proyecto) y la bibliografía relacionada. A continuación se muestran las preguntas y criterios de valor que orientan la evaluación ambiental.

Cuadro 1. Preguntas para la evaluación ambiental

PREGUNTAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS AMBIENTALES DE REGADIOX	CRITERIOS DE VALOR (el modelo que promueve Regadiox contribuye a los objetivos ambientales debido a que: )
1. ¿En qué medida <b>el modelo de agricultura de regadío</b> definido y testado contribuye a la <b>mitigación</b> del Cambio Climático (CC)?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Identifica prácticas de manejo del suelo en regadío para potenciar la captura y estabilización de C en el suelo (efecto sumidero);</li> <li>– Identifica prácticas de manejo que generen un balance de C más positivo (C capturado – C emitido)</li> <li>– Promueve el diseño de sistemas de riego teniendo en cuenta la variable de emisión de GEI en el dimensionamiento y manejo.</li> </ul>
2. ¿En qué medida el modelo de agricultura de regadío <b>mejora la eficiencia en el uso de energía</b> ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Identifica manejos agrícolas y de riego con uso eficiente de energía</li> </ul>
3. ¿En qué medida <b>el modelo de agricultura de regadío</b> definido y testado contribuye a la <b>adaptación</b> al cambio climático?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Promueve el diseño de sistemas de riego desde el punto de vista de la eficiencia hídrica.</li> <li>– Promueve manejos que mejoran la resiliencia del suelo.</li> </ul>
4. ¿En qué medida el modelo de agricultura definido y testado <b>reduce otros impactos ambientales de la actividad agraria</b> haciéndola más sostenible?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Identifica manejos que previenen la erosión del suelo agrario y tienen efecto positivo sobre la biodiversidad del suelo.</li> <li>– Identifica manejos que previenen la contaminación por nitratos en aguas subterráneas y la valorización de residuos ganaderos.</li> </ul>

<sup>1</sup> Entregable finalizado en Noviembre de 2014

Los indicadores de resultado ambiental son los establecidos en el documento del proyecto. Su objetivo es comparar los resultados ambientales de las prácticas de manejo analizadas, y por ello se formulan como valores unitarios (por unidad de superficie o de producción). Los indicadores se han calculado en las experiencias demostrativas (Acción B) para los distintos manejos, obteniéndose valores que pueden extrapolarse al ámbito regional. El cuadro siguiente relaciona los indicadores y las experiencias sobre las que se aplican. En algunos casos inicialmente se concretaron resultados esperados, estimados en base a trabajos previos de los socios y a la bibliografía consultada en la fase de definición del proyecto. Dado el carácter demostrativo del proyecto, estos objetivos se tratan en la evaluación como meras referencias, no como metas.

Cuadro 2. Indicadores Ambientales de Resultado de LIFE Regadiox

Indicador	Unidad de medida	Experiencias	Resultados esperados (Objetivos)
1. Variación de Secuestro de C atmosférico	t CO <sub>2</sub> eq/ha x año kg CO <sub>2</sub> /Kg cosecha	B1+B6	+2,78 t CO <sub>2</sub> eq/ha año (1)
		B2+B6	+0,45 t CO <sub>2</sub> eq/ha año (2)
		B3+B6	+1,78 Mg t CO <sub>2</sub> eq/ha año (3)
2. Variación de CO <sub>2</sub> equiv emitido	t ó Kg CO <sub>2</sub> equiv/ha	B1,B2, B3+B6	A determinar
		B4+B6	- 178 kg CO <sub>2</sub> equiv/ha (4)
		B5+B6	Reducción del 5%
3. Prevención de la erosión	Tn de suelo erosionado evitado/ha, Factor K de la ecuación USLE (5)	B1,B2, B3+B6	A determinar
4. Variación de Unidades Fertilizantes (UF) de N/ha aportado con abono mineral	Kg UF N/ha Kg CO <sub>2</sub> equiv/ha emitido	B4 + B6	-30 Kg N/ha (6)
5. Variación de la eficiencia en el uso de energía	Econsumida (Mj/ha) Econsumida (Mj/kg cosecha)	B1, B2, B3, B4, B5 +B6	A determinar

(1) Estimado para maíz en base a ensayos previos

(2) Estimado para secano en base a ensayos previos

(3) Estimado para viñedo en base a ensayos previos

(4) Aplicando el factor de emisión de 5,927 kg CO<sub>2</sub>equiv/Kg N a ensayos previos

(5) La Ecuación de la Pérdida Universal de Suelos (USLE) se expresa como:  $A = R * K * LS * C * P$ , donde: A = Pérdida estimada promedio de suelo en Ton/ha/año; K = Factor de erosionabilidad del suelo; L = Factor de longitud de la pendiente; S = Factor de inclinación de la pendiente; C = Factor de cobertura del suelo; y P = Factor de las prácticas de manejo. El factor K se puede calcular mediante la ecuación:  $100 K = 2.1 M1.14 (10-4) (12-a) + 3.25(b-2) + 2.5(c-3)$  (5.6), en donde: M = (% limo+arena muy fina)\*(100-%arcilla); a = % de materia orgánica; b= código de estructura de suelo; c= clase de permeabilidad (valor K en unidades inglesas).

(6) Estimado en base a ensayos previos: Kg de UF de N mineral que pueden ser sustituidas por abono orgánico, para obtener la dosis óptima de fertilización recomendada.

La valoración ambiental del modelo de agricultura de regadío definido se realiza a nivel micro, con los datos de las explotaciones profesionales que han intervenido en las experiencias demostrativas y en la experiencia piloto.

La valoración de los resultados potenciales del modelo se realiza generalizando los resultados del nivel micro. Si bien los datos del proyecto son de interés para el conjunto de zonas áridas y semi-áridas de regadío del sur de Europa, la evaluación se restringe al ámbito territorial regional en coherencia con el diseño de las experiencias de referencia. Hay que señalar que los resultados están fuertemente condicionados por el tipo de suelo y la clasificación agroclimática de las zonas de estudio, aspectos que han sido considerados en la selección de parcelas con el fin de disponer de resultados representativos a nivel de Navarra.

Así, **el ámbito territorial considerado en el proyecto** es la superficie potencialmente beneficiaria en Navarra: es decir, la **superficie actual regada y la superficie en transformación de regadío** (tomando como horizonte temporal el año 2020 y la zona potencialmente afectada por la Fase I del Canal de Navarra y por la ampliación de la Fase I).

### 1.3.2. Metodología de las experiencias demostrativas del proyecto<sup>2</sup>

Las experiencias demostrativas se han diseñado para obtener resultados representativos y aplicables en el regadío de Navarra. Para ello se han tenido en cuenta criterios de clima, suelo y manejo, al ser factores básicos que influyen en el stock (o almacenamiento) de C orgánico del suelo. Asimismo se han seleccionado zonas de regadío de distinta antigüedad para contrastar la influencia temporal en los cambios que se analizan.

La selección primera de zonas y segunda de la red de parcelas demostrativas para comparar la situación testigo y el manejo estudiado ha considerado lo siguiente:

- **Clima:** Las experiencias se han duplicado para las 2 principales áreas agroclimáticas de la geografía navarra con regadío<sup>3</sup>, con objeto de abarcar diferentes condiciones agroclimáticas y de contrastar los resultados de zonas áridas o semiáridas y otras más húmedas.
- **Suelo:** Se han buscado los suelos más representativos de las zonas de estudio y en éstos se han seleccionado parcelas sobre la misma tipología o unidad de suelo. El suelo se ha caracterizado en base a herramientas existentes: mapa geológico y mapa de suelos de Navarra (cuando se disponía) y a calicatas realizadas en las parcelas por el equipo del proyecto.
- **Manejo agronómico:** Este ha sido el principal criterio de inclusión a nivel de parcela. La tipología de manejos en los que se ha analizado cómo influyen en la dinámica de la materia orgánica y almacenamiento de C en el suelo, se ha definido teniendo en cuenta las prácticas habituales en la

---

<sup>2</sup> La metodología se detalla en los informes de la Acción B a nivel de cada experiencia. Este apartado es sólo un breve resumen que ayude a comprender los resultados del proyecto.

<sup>3</sup> El clima de las zonas estudiadas se ha caracterizado con datos de la red de estaciones meteorológicas del Gobierno de Navarra (<http://meteo.navarra.es/estaciones/mapadeestaciones.cfm>) y la caracterización agroclimática de las zonas incluidas en el Proyecto del estudio agroclimático de Navarra elaborado por el Gobierno de Navarra en 2001.

agricultura de regadío de Navarra. La información de los manejos de las parcelas se ha recopilado mediante entrevistas personales a los agricultores.

La selección definitiva de parcelas se ha realizado con el concepto de Unidad de Gestión de Cultivo (UGC), que se corresponde con la superficie incluida en una unidad o tipología de suelo determinada que está asociada al mismo manejo o gestión (puede o no coincidir con la parcela catastral).

### **A) Metodología y limitaciones para cuantificar el secuestro de Carbono atmosférico en el suelo**

Los cambios en el stock de C orgánico del suelo son lentos, por lo que no es posible observarlos directamente en el periodo de desarrollo del proyecto. Esto se ha solventado con un diseño *quasi experimental* del tipo *space-for-time*, utilizando **parcelas testigo en secano y parcelas regadas en la misma zona y tipología de suelo con distintos manejos agrícolas**. Con ello se obtienen aproximaciones, bajo la hipótesis basada en estudios previos, de que las parcelas de secano y regadío seleccionadas en un mismo tipo de suelo y zona agroclimática son comparables. Es decir, se asume que los suelos de regadío antes de ser regados estaban en condiciones similares que los de secano en cada una de las zonas y tipos de suelos estudiados.

Una vez seleccionadas las parcelas, se ha cuantificado el secuestro de C en base al stock de carbono, analizando en cada parcela (UGC) muestras de suelo obtenidas aplicando el protocolo de muestreo propuesto por el JRC<sup>4</sup>, y comparando los resultados con las parcelas de referencia. En base a la antigüedad del regadío, se estima el **valor medio de secuestro anual** de los manejos estudiados. Hay que señalar que las tasas de secuestro no son indefinidas, sino que tienen un horizonte temporal determinado, si bien en ninguna de las experiencias de Regadiox se ha identificado estancamiento.

El análisis del C fijado en el suelo se centra en el C orgánico, a pesar de que el C inorgánico constituye el 99% del C del suelo y que es probable que el regadío y el manejo agrícola modifiquen los procesos naturales de los carbonatos. La bibliografía indica que éstos se van perdiendo en un ciclo muy largo, pero se desconoce hasta qué punto se lixivian o se emiten a la atmósfera, siendo un proceso muy complejo de cuantificar.

### **B) Metodología y limitaciones en el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)**

**En las experiencias B1 a B4** las emisiones de GEI asociadas a cada manejo se calculan mediante la **herramienta Eurenors3** de evaluación de Huella de Carbono<sup>5</sup> de las producciones agropecuarias a lo largo de su ciclo de vida<sup>6</sup>, basada en la norma PAS2050.2011.

---

<sup>4</sup> Joint Research Centre de la Comisión Europea (Sotlvoiboy et al., 2007)

<sup>5</sup> La Huella de carbono (HC) cuantifica para las actividades cotidianas o la comercialización de un producto, las emisiones directas e indirectas de Gases provocado por la emisión de GEI, medidas en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, que son liberadas a la atmósfera.

<sup>6</sup> La cantidad de GEI emitida a la atmósfera se evalúa analizando los factores implicados en los procesos de producción y la utilización de energía tanto directa como indirecta para una superficie de una hectárea. La energía de uso directo es la que procede de los productos derivados del petróleo y computa los litros de gasoil por hectárea utilizados en las distintas labores. Se asigna a la maquinaria una cantidad de litros consumidos para realizar la labor de una hectárea y se multiplica por el número de veces que se realiza la operación. La energía de uso indirecto es la requerida para la obtención de los

En cada parcela se ha recogido información de los factores de producción utilizados por los agricultores durante un ciclo de cultivo completo en un año. Se ha utilizado un cuestionario estándar sobre el parque de maquinaria, las instalaciones, labores, tratamientos fitosanitarios, fertilización, etc. Éste ha sido cumplimentado por los agricultores participantes y completado con entrevistas personales para garantizar la calidad y homogeneidad de los datos.

El análisis de GEI ha tenido en cuenta lo siguiente:

1. Las emisiones de los suelos de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por aplicación de fertilizantes sintéticos u orgánicos, mineralización de residuos agrícolas, lixiviación y escorrentía, deposición y volatilización.
2. Los insumos utilizados (semillas, fitosanitarios y fertilizantes).
3. El consumo directo de energía (electricidad en riego por bombeo y combustible para labores agrícolas) y aceites de motor en tractores.
4. El tratamiento de residuos plásticos de los envases fitosanitarios
5. La quema de residuos agrícolas.

Hay que señalar las siguientes **limitaciones de la metodología**:

a) la exclusión de algunos factores en el cálculo del balance:

- no ha sido posible incorporar el transporte de trabajadores, de material, de insumos agrícolas (se considera el proceso de transformación hasta la salida de fábrica), o de las producciones; no obstante, esto evita introducir sesgos relacionados con la distancia entre las parcelas y las cooperativas.
- El proceso de fabricación de la maquinaria y las instalaciones. En las experiencias B1 a B4 no se tiene en cuenta las emisiones derivadas de la construcción de las infraestructuras de riego.

b) Limitaciones de cálculo de la herramienta, por no disponer de determinada información, o utilizar factores de emisión genéricos (no adaptados a las condiciones de las zonas agroclimáticas del sur de Europa).

**En la experiencia B5**, el cálculo de las emisiones GEI ha comparado la Huella de Carbono de los materiales utilizados en los sistemas hídricos estudiados. Para ello se ha utilizado la metodología “cradle-to-gate” (desde el nacimiento hasta la puerta), que contabiliza las emisiones aportadas desde la producción de las materias primas, su transporte desde el origen a la fábrica, y el proceso de transformación, hasta la salida de fábrica. No se ha podido contemplar el transporte y la instalación en la parcela de riego. El cálculo se ha realizado mediante la fórmula:

*HC= Datos de actividad x Emisión de CO<sub>2</sub>eq por unidad de actividad;*

---

factores que intervienen en el proceso productivo aunque ocurran en una instalación diferente (generación de energía eléctrica, producción de insumos, tratamiento de residuos plásticos...). Las emisiones indirectas se aplican sobre la fabricación de fertilizantes, semillas, fitosanitarios y riego.

considerando como “actividad” los kilos de los materiales que intervienen en la instalación de riego (kg/ha de riego instalada). La fuente utilizada para recopilar los factores de emisión de CO<sub>2</sub> ha sido el banco BEDEC del ITEC (Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña)<sup>7</sup>.

### **C) Metodología del diseño de sistemas de riego para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)**

El **objetivo de la Acción B5** es cuantificar para las alternativas analizadas (variantes de diseño, de implantación y de explotación), el potencial de reducción de GEI en relación al gasto energético (requerimientos de presión) y a la huella de carbono de las infraestructuras en la fase de parcela y de distribución.

La experiencia se organiza en tres ámbitos: A1) Parcela, A2) Red Colectiva de Riego, y A3) Ámbito global.

#### **1) Ámbito Parcela**

El objetivo es reducir la presión de funcionamiento en las instalaciones manteniendo la eficiencia en el uso del agua. Se estudian las siguientes alternativas.

##### **1a) Sustitución del marco de riego 18x15T por el marco 12x15T:**

Se compara la uniformidad de riego utilizando la variable “coeficiente Christiansen<sup>8</sup>” a partir de ensayos de pluviometría en una parcela de Valtierra con distintas condiciones de viento. Los ensayos se efectúan simultáneamente (para homogeneizar la influencia del viento) en un sector de riego en el que se dispone de los dos marcos. Se realizan 5 tratamientos por cada marco (presiones de trabajo de 25, 28, 30, 32 y 34 m.c.a) y 3 repeticiones para cada presión.

Para comparar la huella de carbono de ambos marcos, se diseñan sistemas de riego en 72 has con cada marco<sup>9</sup>. Se utilizan 22 unidades de riego, con superficies entre 5 y 10,5 ha por unidad y una tipología de parcelas representativa de la zona regable del Canal de Navarra. Previamente se definen los criterios de diseño (presión en boquilla de aspersor) con ensayos de pluviometría. Para el dimensionado de las tuberías se admite una diferencia de presión máxima del 20% de la media de presión del aspersor con más y con menos presión en un sector, y una diferencia de caudales entre ellos inferior al 10%.

##### **1b) Uso de diferentes cabeceras<sup>10</sup> en las instalaciones de riego**

En el borde de la parcela, la cabecera mínima utilizada habitualmente es de 10 m, pero los agricultores demandan cabeceras de 12 ó 15 m para facilitar el giro de 180º de la maquinaria para el paso de una calle a otra dentro de la parcela.

---

<sup>7</sup> Existen diferentes fuentes para los factores de emisión de CO<sub>2</sub>, en los que el valor para un mismo factor puede variar considerablemente, no existiendo un acuerdo internacional que defina criterios para la selección de las bases de datos. Después de varias comprobaciones, se ha asumido el banco BEDEC del ITEC como fuente fiable de información.

<sup>8</sup> Según la norma internacional ISO 7749-2

<sup>9</sup> Para el diseño hidráulico de las parcelas se ha utilizado el programa WCADI (Weizman-Computer Aided Design Irrigation).

<sup>10</sup> Se entiende por cabecera la distancia mínima entre el aspersor circular y el sectorial de la misma línea (último de la línea).

El estudio tiene como objetivo definir la combinación de cabezeras y tipos de boquilla en aspersores sectoriales que proporciona mayor uniformidad de riego (eficiencia). Para ello se realizan en una parcela de Olite ensayos de pluviometría<sup>11</sup> para cabezeras de 10, 12 y 15 metros y aspersores de una ó 2 boquillas y se compara la uniformidad de riego utilizando la variable “coeficiente Christiansen”.

### 1c) Necesidad energética en función de los materiales empleados en el sistema de riego

El objetivo es conocer la influencia sobre los requisitos de presión que la elección de los materiales puede tener en el diseño hidráulico de las parcelas. Para ello se realizan ensayos de pérdidas de carga<sup>12</sup> para **materiales en conexiones de hidrante** (cuellos de cisne) y en **nudos de válvula hidráulica de sector superficiales**. Se ensayan **4 tipos de conexiones de hidrante** (en PE Ø 110, PE Ø 125, calderería 3” y calderería 4”<sup>13</sup>) y **cinco tipos de nudos de válvulas** (en PE Ø 90, PE Ø 110, PE Ø 125, calderería 3” y calderería 4”) a diferentes caudales circulantes. El estudio cuantifica también la influencia en el consumo energético y la emisión de GEI (huella de carbono de los materiales).

### 1d) Ensayo de collarines

Los collarines de toma desde tuberías secundarias, son las piezas especiales junto con las “T” o codos de latón, empleadas para la conexión entre las tuberías terciarias de polietileno y las tuberías secundarias de PVC.

El objetivo del ensayo es cuantificar la influencia del caudal y de la presión sobre la pérdida de carga consumida por dos tipos de conjunto collarín, en codo y en T. Para ello se instala en una tubería secundaria de PVC un collarín de diámetro 75mm. En la salida del mismo se coloca un codo o una “ T” de latón y se comprueba la pérdida de carga del conjunto para diferentes caudales, mediante dos tomas de presión alojadas aguas arriba y aguas abajo del mismo. El ensayo se realiza con 2 variables de presión, a 30 y 35 mca aguas arriba del conjunto collarín y 3 repeticiones.

## 2) Ámbito Red Colectiva de Riego

Se estudia la repercusión ambiental en el diseño de una red de riego colectiva, de reducir el valor de consigna del hidrante en el ámbito 1) parcela. Se analiza con un programa de simulación<sup>14</sup> la huella de carbono (emisiones GEI) del material necesario en 3 alternativas:

- a. Consigna de presión de 54 metros en todos los hidrantes (situación actual)
- b. Presión de 49 metros exclusivamente en los hidrantes desfavorables de la red

---

<sup>11</sup> Tres repeticiones por ensayo de 1 hora de duración según la norma ISO 7749-2. Todos los ensayos se realizan a una presión constante en la boquilla del aspersor sectorial de 3,0 kg/cm<sup>2</sup>). Para simular en 3 dimensiones la uniformidad de aplicación en base a las medidas de los pluviómetros se utiliza la aplicación informática CATCH 3D.

<sup>12</sup> Estas pruebas se llevan a cabo en el Banco de Ensayo que la empresa Aguacanal tiene instalado en la antigua estación de bombeo de Murillo El Fruto

<sup>13</sup> Tradicionalmente se ha utilizado la “calderería protegida mediante pintado epoxi”, pero en los últimos años se está implantando el polietileno de alta densidad (PEAD)

<sup>14</sup> Paquete de simulación de sistemas presurizados de distribución de agua GESTAR 2010-PREMIUM, orientado al diseño y análisis de sistemas de riego.

c. Presión de 49 metros en todos los hidrantes.

Las tres alternativas se simulan para **la zona regable del Canal de Navarra Fase I**, en una superficie de 22.464 ha, a la que abastecen 26 redes colectivas (754 km de tuberías y 3.621 hidrantes). En cada alternativa se calcula **el dimensionamiento óptimo** (combinación de diámetros y materiales de tuberías que minimizan el coste económico de la red colectiva bajo determinados criterios), y la **huella de carbono** vinculada a los materiales de las redes colectivas de riego calculadas.

Por otro lado se valora **el funcionamiento** de cada alternativa con la simulación de los casos críticos de alarma. Se utiliza el número de casos que presentan alarmas por presión inferior a la consigna en hidrante o por velocidad en conductos fuera del rango 0-2,5 m/s.

### 3) Ámbito Global

Este ámbito integra la visión de los ámbitos a nivel de parcela y de red colectiva de riego para determinar el diseño global más eficiente en función de la Huella de Carbono del conjunto y del gasto energético.

En este ámbito se estudia el manejo del riego, valorando el efecto potencial sobre la emisión de GEI del uso de telecontrol, tanto en la parcela como en la red colectiva de riego.

## 2. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL PAPEL DE LA AGRICULTURA EN NAVARRA

Este apartado muestra brevemente la situación del contexto en el que se desarrolla LIFE Regadiox, en relación a las temáticas ambientales sobre las que el proyecto supondrá impactos potenciales, y que asimismo ha de ser considerada en las recomendaciones que se deriven.

En primer lugar se menciona el **marco normativo actual del Cambio Climático (CC)** y se identifica el **papel que la agricultura puede desempeñar** en relación al CC. A continuación **se caracteriza para Navarra** los siguientes aspectos clave que permiten valorar la idoneidad y potencialidad de los resultados del proyecto: la situación y evolución de las emisiones de GEI de la agricultura, la caracterización del regadío, y el consumo de energía y de fertilizantes en el sector agrario. Finalmente se indican los principales efectos esperados en Navarra del CC sobre la agricultura.

### 2.1. Marco Normativo del Cambio Climático

El año 2005 la Comisión puso las bases de la estrategia de la Unión Europea (UE) de lucha contra el cambio climático<sup>15</sup>, y posteriormente propuso acciones concretas<sup>16</sup> para limitar sus efectos adversos y reducir la posibilidad de graves perturbaciones irreversibles a nivel planetario.

El Paquete de Energía y Cambio Climático establece<sup>17</sup> un **objetivo global comunitario de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de un 20%** respecto a los niveles de emisiones de 1990 **para el año 2020**<sup>18</sup>. El esfuerzo para conseguir estas reducciones en el año 2020 se reparte entre dos bloques:

- el de los **“sectores regulados”**, o actividades que por su uso más intensivos de la energía están sometidas al comercio de derechos de emisión<sup>19</sup>. Éstos deben lograr en 2020 disminuir sus emisiones un 21% respecto a sus niveles del año 2005; y

---

<sup>15</sup> Comunicación de la Comisión, de 9 de febrero de 2005, «Ganar la batalla contra el cambio climático mundial» [COM (2005) 35 - Diario Oficial C 125 de 21.5.2005].

<sup>16</sup> Comunicación de la Comisión, de 10 de enero de 2007, «Limitar el calentamiento mundial a 2 °C - Medidas necesarias hasta 2020 y después» [COM (2007) 2 final - no publicada en el Diario Oficial]

<sup>17</sup> Decisión n° 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, sobre el esfuerzo de los Estados miembros para reducir sus emisiones de GEI a fin de cumplir los compromisos adquiridos por la Comunidad hasta 2020. La Decisión fija la contribución mínima de cada Estado miembro en materia de emisiones de GEI. La Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones de 26 de mayo de 2010 denominada «Análisis de las opciones para rebasar el objetivo del 20 % de reducción de las emisiones de GEI y evaluación del riesgo de fugas de carbono» [COM(2010) 265 final – no publicada en el Diario Oficial], analiza qué medios son necesarios y las posibles consecuencias derivadas del objetivo del 20 % y 30 % de reducción de las emisiones de GEI.

<sup>18</sup> Hay que señalar que los objetivos de Kioto difieren de los objetivos de la UE para 2020. Se refieren a sectores distintos (por ejemplo, incluyen el uso del suelo, el cambio de uso del suelo y la silvicultura, pero no la aviación internacional); se establecen sobre otros años de referencia que no siempre coinciden con 1990; obligan a la UE a mantener sus emisiones en un 20% como media por debajo de los niveles del año de referencia durante todo el segundo periodo (2013-2020) y no solo en 2020.

<sup>19</sup> En Navarra en el año 2014 forman parte de este sector 23 industrias y generan el 29% de las emisiones totales de GEI.

- el bloque de los “sectores difusos” (aquellos no incluidos dentro del comercio de derechos de emisión, como el residencial, agricultura, gestión de residuos y transporte, excluido el aéreo), **que debe reducir para 2020 el 10%** de los GEI respecto a 2005, en base a una asignación anual máxima de emisiones establecida para cada EM, y **el 30% en 2030**. Para España el objetivo de reducción de las emisiones en 2020 de estos sectores difusos es un 10% respecto a las emisiones de 2005.

En 2014, la UE establece el Marco 2030, en el que se propone **alcanzar en el año 2030 una reducción de emisiones de GEI del 40% respecto a 1990** (con una reducción del 43% en los sectores regulados y del 30% de los sectores difusos respecto a 2005, corresponde a España disminuir el 26%).

A más largo plazo, la Hoja de Ruta de la UE hacia una economía baja en carbono competitiva en 2050 fija reducciones del 80% respecto a 1990, para lo cual todos los sectores deberán descender sus emisiones el 60% respecto a 2040.

El año 2016, la decisión (UE) 2016/590, de 11 de abril, suscribe el Acuerdo de París (COP 21<sup>20</sup>), que promueve la transición hacia una economía baja en emisiones y resiliente al Cambio Climático, y pone énfasis en conseguir una senda de reducción de emisiones a medio y largo plazo para alcanzar un equilibrio entre las emisiones y las absorciones de GEI<sup>21</sup>.

El Acuerdo, aplicable en el año 2020 cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kioto, compromete a los países de la UE a comunicar y mantener sus objetivos de reducción de emisiones cada cinco años y a poner en marcha políticas y medidas nacionales para alcanzar los objetivos del Acuerdo. Se establece también un ciclo de revisión o sistema de ambición para que, cada cinco años (empezando en 2023), se realice un balance del estado de la implementación del Acuerdo respecto al objetivo de mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C.

A nivel Estatal, en octubre de 2007 se aprobó una **Estrategia española de cambio climático y energía limpia, horizonte 2007- 2012 -2020** y en 2014 el MAGRAMA elaboró **una hoja de ruta** previa a la elaboración obligatoria de una estrategia de desarrollo bajo en carbono. Dentro del sector agrícola y ganadero se contemplan medidas principalmente para las actividades que suponen mayores emisiones, de acuerdo a las categorías del inventario nacional de emisiones de GEI, como son los suelos agrícolas, la gestión de estiércoles y la utilización de combustibles fósiles por parte de la maquinaria agrícola. Entre las **medidas de la hoja de ruta relacionadas con los suelos agrícolas se contempla la siembra directa**, la formación para mejorar la eficiencia en la fertilización, y la introducción de cubiertas de leguminosas sembradas en cultivos leñosos en regadío.

**Navarra aprobó en enero de 2011 su Estrategia frente al Cambio Climático de Navarra 2010-2020**. En base al diagnóstico y a escenarios de futuro, establece actuaciones específicas dirigidas a la mitigación de las emisiones de GEI, un calendario, y los primeros pasos para la adaptación a los

---

<sup>20</sup> En el marco de la XXI Conferencia sobre Cambio Climático (COP 21)

<sup>21</sup> El Artículo 2 del acuerdo fija como objetivo "reforzar la respuesta mundial a la amenaza del CC, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza" para lo cual determina tres acciones concretas: a) Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales; b) Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del CC y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de GEI, de un modo que no comprometa la producción de alimentos; y c) Elevar las corrientes financieras a un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de GEI.

efectos de este fenómeno climático. El diagnóstico y escenario tendencial<sup>22</sup> indica para el periodo 20015-2020 un incremento medio anual de las emisiones del 3,86%, que podría revertirse en una reducción del 0,62% en un escenario probable de aplicación de medidas del Plan de Acción por el Clima de Navarra 2010-2012 (como parte de la estrategia frente al CC). Los Cuadros 3 y 4 muestran para el sector agrario el diagnóstico realizado y las acciones previstas dentro de la estrategia.

Cuadro 3. Estrategia frente al Cambio Climático de Navarra 2010-2020: DAFO del sector primario

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falta de apoyo a modelos de producción agrícola eficaces y sostenibles.</li> <li>2. Falta de competitividad de la agricultura ecológica frente a la convencional.</li> <li>3. Ausencia de un plan específico de reducción de las emisiones de GEI en este sector que emite no sólo CO<sub>2</sub>, sino también CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en cantidades relevantes.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falta de competitividad de la producción de leguminosas, a pesar de las numerosas ventajas que presentan como fertilizantes naturales de los suelos.</li> <li>2. Grado de éxito de las campañas de formación y sensibilización entre agricultores y ganaderos.</li> </ol>
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Trabajo de investigación y formación llevado a cabo por los INTIA y por Riegos de Navarra.</li> <li>2. Elevada incidencia en la toma de decisiones por parte de INTIA en lo referente a las explotaciones del sector agrario, por encima de media nacional.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Potenciación de auditorías energéticas.</li> <li>2. Apuesta por el fomento del cultivo de leguminosas.</li> <li>3. Desarrollo de herramientas específicas que contribuyan a la mejora de la gestión de las explotaciones.</li> <li>4. Iniciación de proyectos piloto de utilización concertada de abonos orgánicos.</li> <li>5. Creación de grupos de gestión conjunta de purines.</li> <li>6. Desarrollo de un proyecto que defina las herramientas para la toma de decisiones en las explotaciones agrícolas.</li> </ol>

Cuadro 4. Acciones de la Estrategia Navarra frente al Cambio Climático 2010-2020 en Agricultura

<p>PR1.4. Mejorar la efectividad del riego y abonado mediante implantación de tecnologías apropiadas (de irrigación por goteo y por aspersión y de fertirrigación) y mediante formación y asistencia al regante, a la vez que se continúa realizando el registro de consumos de agua.</p> <p>PR1.5. Continuar fomentando la difusión del laboreo de conservación, es decir, la reducción de las operaciones de laboreo, que comprende tanto el mínimo laboreo como el no laboreo, así como la introducción de cultivos como cubiertas vegetales, bien en toda la superficie de plantaciones de cultivos leñosos o en el centro de las calles, entre hileras de árboles.</p> <p>PR1.9. Valorización de la materia orgánica de calidad como fertilizante (estiércol, purines, lodos y abonados verdes).</p>
---

<sup>22</sup> Basado en las tendencias del periodo 1990-2009 que refleja la continuidad de las pautas de comportamiento observadas y en el que únicamente se registran las mejoras tendencias.

En diciembre de 2015, en el marco de la Cumbre del Clima en París, el GN firmó un acuerdo con cerca de cien regiones del mundo para reducir un 80% las emisiones de GEI hasta 2050; En febrero de 2016 el Parlamento insta al GN a elaborar un Plan estratégico frente al Cambio Climático, que se concreta actualmente en una Hoja de Ruta frente al CC, cuya finalización se prevé para el año 2017<sup>23</sup>. Su objetivo es adoptar políticas de futuro para la mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub>, la adaptación de sectores vulnerables, la implantación de buenas prácticas y la comunicación de estas acciones y sensibilización sobre este problema.

La UE **se encuentra en el buen camino hacia la consecución de los objetivos**<sup>24</sup> de la Estrategia Europa 2020 y de los objetivos del Protocolo de Kioto. En 2014, las emisiones totales de GEI de la UE cubiertas por el paquete de medidas sobre energía y cambio climático hasta 2020 se situaron un 23% por debajo del nivel de 1990, mientras que el PIB combinado de la UE aumentó un 46 % logrando la disociación continuada entre actividad económica y emisiones. La previsión es que con las medidas existentes en los Estados miembros en 2015, en 2020 las emisiones serán un 24 % inferiores a las de 1990. Sin embargo, para 2030 las emisiones totales de GEI de la UE serán un 27% inferiores a las registradas en 1990. Por ello el informe de situación de la acción por el clima concluye con la **necesidad de adoptar medidas suplementarias para que la UE cumpla el objetivo de reducir a nivel interno las emisiones de gases de efecto invernadero en 2030** en un 40 % respecto a 1990.

Entre las medidas contempladas por la Comisión para ello está el apoyo a la **gestión adecuada de los suelos y de su uso para reducir las emisiones** antropogénicas de GEI, por ejemplo gracias al almacenamiento del carbono a través de la agricultura y al fomento de las actividades que generan pocas emisiones. Dentro de este objetivo se encuentra en fase de acuerdo la Estrategia temática para la protección del suelo.

Tal y como se muestra en el Cuadro 4, la **Estrategia Navarra frente al Cambio Climático de Navarra 2010-2020** también reconoce la **necesidad de acciones de gestión de tierras** agrícolas. La gestión agrícola, junto a la silvicultura, son en Navarra **sumideros de carbono considerados en la contabilización del protocolo de Kioto**<sup>25</sup>, aunque el protocolo establece restricciones en el caso de la gestión forestal.

**En relación a la adaptación al CC**, en 2013 la Estrategia Europea de Adaptación fijó 3 objetivos materializados en 8 acciones, que pretenden promover el establecimiento de estrategias de adaptación en los países miembros, la mejora de la toma de decisiones en esta materia y el fomento de la adaptación en los sectores más vulnerables. El Acuerdo del COP21 en materia de adaptación,

---

<sup>23</sup> El 27 de abril de 2016 el Gobierno de Navarra aprobó, “la hoja de ruta de Cambio Climático de Navarra 2016”. La Hoja de ruta se compone de 4 fases que incluyen un proceso de participación pública. En el 4º trimestre de 2016 se está abordando la Fase 2: Proyecciones 2020-2030-2050, en las que se analizarán las posibles medidas a aplicar, su potencial de reducción y el coste de su implementación (inversión € por Tn CO<sub>2</sub> evitada). Una vez identificadas las medidas se aplicarán técnicas de proyección temporal para evaluar su impacto real y su contribución a los objetivos perseguidos para cada periodo, y se concluirá con la necesidad o no de seguir prospectando nuevas medidas para alcanzar objetivos más ambiciosos que cumplan con los compromisos adquiridos. La Hoja de ruta culminará con la redacción y aprobación de la hoja de ruta de Cambio Climático.

<sup>24</sup> Según el Informe de situación de la acción por el clima (2015). Bruselas, 18.11.2015 COM(2015) 576 final. Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la acción por el clima.

<sup>25</sup> Con la contabilidad Kioto, el Plan de Acción por el Clima de Navarra 2010-2012 de la Estrategia Navarra frente al CC, preveía para 2010-2012 un efecto sumidero de la gestión de las tierras agrícolas del 0,50% del total de emisiones GEI en Navarra, y un 1,96% considerando también las actividades de gestión de los bosques y la forestación y reforestación que pueden contabilizarse en el protocolo de Kioto. En las tierras agrícolas, el sumidero adicional se centraba principalmente en el impulso de la agricultura ecológica.

también establece un objetivo global de aumento de la capacidad de adaptación y reducción de la vulnerabilidad.

Finalmente se señala **que la eficiencia energética es otro de los objetivos establecidos en la EU2020**, con la meta de reducción del 20% de consumo de energía mediante medidas de eficiencia energética, objetivo que el Marco 2030 aumenta al 27%.

Como puede deducirse de este apartado, el proyecto **Life Regadíos resulta muy oportuno y coherente en relación a los marcos normativos**. El proyecto aporta una importante base de conocimiento útil tanto para la elaboración de proyecciones, como para el diseño y la aplicación de políticas y acciones específicas.

## 2.2. La agricultura y el cambio climático

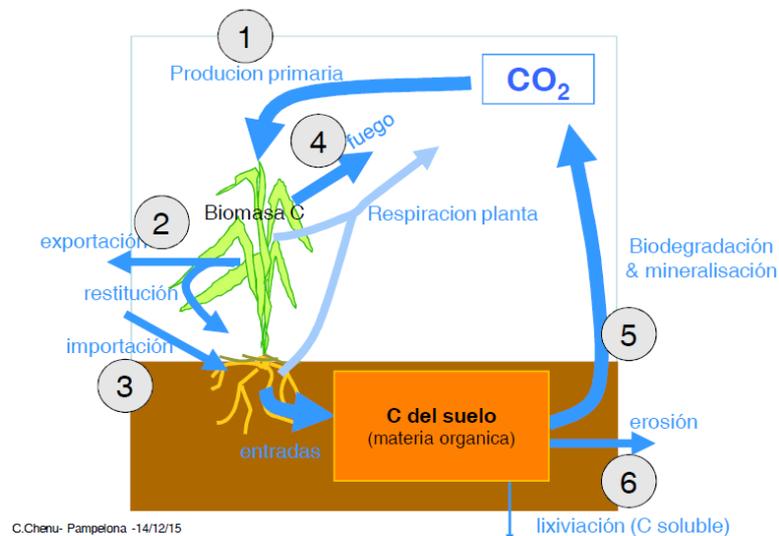
Por un lado, la producción agrícola de alimentos genera emisión de GEI a la atmósfera, pero por otro, la agricultura desempeña un papel importante como sumidero del CO<sub>2</sub> atmosférico, contribuyendo de esa forma a mitigar el efecto invernadero.

La agricultura  **fija el CO<sub>2</sub> atmosférico en el suelo en forma de carbono orgánico** (ver Figura 1). La parte de la producción agrícola que no es cosechada permanece en el suelo (generalmente, las raíces y una fracción de la parte aérea). Este material vegetal sufre diferentes procesos de degradación, que pueden devolver parte del C a la atmósfera como CO<sub>2</sub> generado en los procesos metabólicos de descomposición. Otra parte del C de los restos orgánicos de la cosecha puede ser fijada en el suelo de forma estable con la incorporación progresiva a la fracción orgánica del suelo según es procesada por los organismos del suelo.

En este proceso, la materia orgánica puede quedar protegida de la degradación total por diversos mecanismos, básicamente relacionados con su interacción con la fracción mineral del suelo. El resultado final, cuando las entradas anuales se mantienen constantes y los mecanismos de protección no se ven alterados, es **un almacenamiento de C de origen atmosférico en el suelo a largo plazo**. Cada tonelada de C estabilizada en forma de compuestos orgánicos del suelo significa una captura de 3,7 toneladas de CO<sub>2</sub> atmosférico.

La cantidad final de C secuestrado es limitado y reversible. Su permanencia en el suelo depende de los factores ambientales que regulan los procesos de incorporación y protección de los compuestos orgánicos de origen vegetal en el suelo: el clima (que se ve modificado con la implantación del regadío) y las características del suelo. También el tipo de cultivo implantado y la intensidad del manejo del suelo pueden interferir en estos ciclos, favoreciendo la pérdida de la materia orgánica incorporada, o modulando el ritmo de almacenamiento de la aportada por cada ciclo de cultivo.

Figura 1. Procesos del Carbono Orgánico del suelo



Fuente: Claire Chenu, presentación en Taller Life Regadíos, Pamplona

Las **mejores prácticas agrícolas para aumentar el almacenamiento de C en el suelo** son aquellas que aumentan las entradas de restos orgánicos en el suelo y/o aquellas que disminuyen la velocidad de descomposición de la fracción orgánica del suelo estabilizada. En este sentido:

- a) la transformación de secano a regadío supone un incremento de la biomasa total del cultivo y por tanto, también de la fracción que potencialmente puede permanecer en el suelo tras la cosecha, factor que podría potenciar a su vez, el efecto sumidero de C de la agricultura.
- b) La intensidad del laboreo es un factor que interviene sobre la estabilidad estructural y la porosidad del suelo, y por tanto sobre las condiciones para el desarrollo de los organismos del suelo que participan en la evolución de la materia orgánica y en la creación de porosidad, entre otros procesos. Las técnicas con poca perturbación del suelo favorecen la mineralización lenta de la materia orgánica, liberando sus elementos nutritivos, a la vez que su estabilización. La interacción entre la materia orgánica y la fracción mineral, que permite el desarrollo de una estructura más estable, así como la mayor presencia de restos de cultivo en la superficie, protegen al suelo de la erosión.

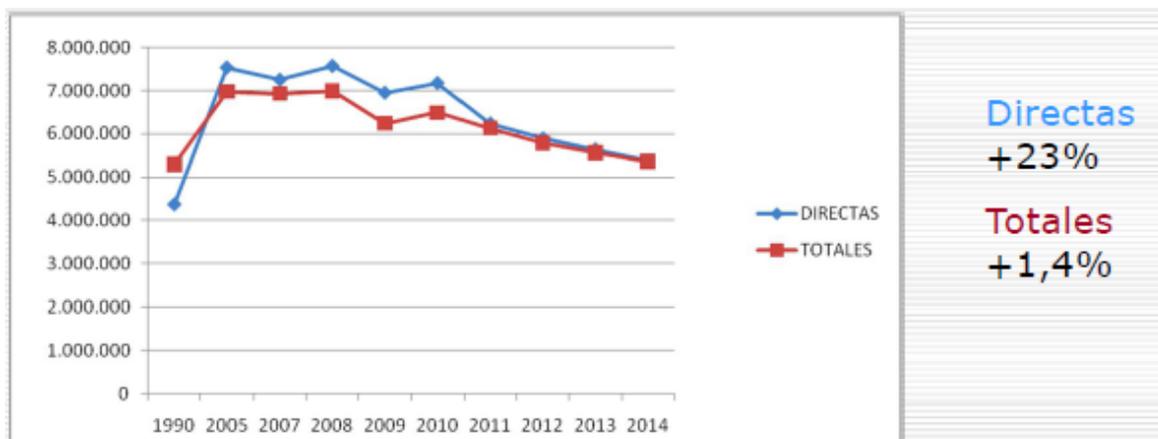
Durante el ciclo de vida de la planta, la producción de biomasa supone una captura neta de  $\text{CO}_2$  (balance entre el  $\text{CO}_2$  atmosférico transformado en compuestos orgánicos con la fotosíntesis y la emisión de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera a través de la respiración). El secuestro por producción de biomasa se estima entre el 45-50% del peso seco de la planta, sin embargo dado que una parte de esa biomasa (la cosecha) es exportada, este proceso no se contabiliza dentro del C fijado. El efecto sumidero provocado por los cambios en el stock de C orgánico del suelo es el único que supone una captura del  $\text{CO}_2$  atmosférico a largo plazo.

### 2.2.1. Emisiones de GEI de Navarra

El Inventario de Emisiones de GEI<sup>26</sup>, que recoge las emisiones a nivel del conjunto de la actividad económica y a nivel sectorial, calcula para el año 2014 unas emisiones directas de GEI de la economía navarra medidas en términos de CO<sub>2</sub> equivalente de 5,37 millones de toneladas.

Esto supone un incremento del 23% de las emisiones directas de 1990 (emisiones producidas en Navarra) y de un 1,4% si se contabilizan las emisiones totales (emisiones que tienen en cuenta la electricidad, sumando las generadas por la electricidad importada, como en 1990, o restando las de la exportada, a partir de 2005).

Figura 2. Evolución de las emisiones de GEI en Navarra



Fuente: Gobierno de Navarra, ponencia de César Pérez, de la Dir. Gral. de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, en el Seminario Final de Life Regadioux (25/11/2016)

Como referencia de la situación de Navarra en relación a los objetivos de la UE del Paquete Energía y Cambio Climático (reducción con respecto a 2005 del 10% de emisiones en los sectores difusos y del 21% en los regulados, ver Apartado 2.1)<sup>27</sup>, puede señalarse que Navarra ha logrado en el año 2014 una reducción respecto a 2005 del 41% reducción en los sectores regulados y del 21% de los sectores difusos.

<sup>26</sup> El Inventario de GEI recopila la información relativa a las emisiones y sumideros de gases de efecto invernadero según lo previsto por la Convención Marco de NNUU sobre Cambio Climático (UNFCCC) y su Protocolo de Kioto, así como por el Reglamento 525/2013 de la UE de notificación de emisiones de gases de efecto invernadero.

<sup>27</sup> Se trata de una referencia, ya que el objetivo no es traducible a escala regional. Los objetivos se contemplan a nivel UE y en el caso de los sectores regulados y difusos a nivel estatal. La reducción del 20% frente a 1990 de la UE equivale al objetivo del Paquete Energía y Cambio Climático de reducción en Europa del 14% en 2020 respecto a 2005 a través de una reducción del 10% en los sectores difusos y del 21% en regulados respecto a 2005. El objetivo se traslada a 2005 por ser el de implantación del régimen del comercio de derechos de emisión (ETS), que diferencia ambos sectores.

Las emisiones que el Inventario de Emisiones de GEI contabiliza como sector agrícola son las derivadas de los siguientes procesos:

- A. Fermentación entérica en ganado doméstico (CH<sub>4</sub>)
- B. Gestión de estiércoles, que recoge el metano generado a partir de los estiércoles animales por descomposición anaeróbica (dependiente del sistema de gestión del estiércol) y el óxido nitroso que proviene del almacenamiento, la gestión y el tratamiento del estiércol, antes de su aplicación en los campos.
- C. Suelos agrícolas (N<sub>2</sub>O): emisiones directas por aplicación de fertilizantes sintéticos, de orgánicos en abonados y pastoreo, de lodos y compost; por fijación biológica y por residuos de cultivos, y emisiones indirectas por deposición atmosférica, lixiviación y escorrentía.
- D Cultivo de arroz (CH<sub>4</sub>).

Estos procesos representan la gran mayoría de emisiones de la agricultura, aunque no consideran lo siguiente:

- a) las emisiones por uso de maquinaria agrícola y forestal, que se contabilizan en el Inventario como parte del sector “energía combustión de transporte”,
- b) las emisiones derivadas del uso de combustibles en agricultura, que se contabilizan como combustiones del sector residencial y servicios.
- c) las emisiones por consumo de electricidad (caso del riego), que no se disponen desglosadas por sectores.

El **Inventario Nacional** de Emisiones muestra para el año 2014 **al sector agrícola y ganadero como responsable del 11% del total de las emisiones de GEI en España**<sup>28</sup>. Este sector ha incrementado a nivel nacional un 3,8% sus emisiones de GEI respecto a 2013<sup>29</sup>. Dentro del sector, destacan las emisiones de los suelos agrícolas, que suponen el 37% de las emisiones del sector agrícola español, las derivadas de la fermentación entérica (31%) y la gestión de estiércoles (27%).

**En Navarra**, el sector agrícola supone en 2014 una emisión de GEI de 1.444 miles de t de CO<sub>2</sub>eq, **el 27% del total de las emisiones GEI** regionales (ver Figura 3). Este peso asciende al 29% si se considera también las emisiones GEI generadas por el uso de maquinaria agroforestal y por procesos de combustión en las explotaciones<sup>30</sup>. Su tendencia es moderadamente ascendente desde el año 2008 (ver Figura 4), al contrario que las emisiones del conjunto de la economía de Navarra, que descienden de forma continuada<sup>31</sup>. En 2014 el incremento del sector primario era del 15% respecto a 1990.

<sup>28</sup> Fuente: Inventario de Gases de Efecto Invernadero de España. Serie 1990-2014. Informe Resumen. MAGRAMA

<sup>29</sup> Debido principalmente al incremento en la cabaña ganadera (2% de media) y al consumo de fertilizantes inorgánicos (incremento del 14.6% respecto a 2013)

<sup>30</sup> El Inventario lo calcula en base al consumo sectorial de combustible y aplicando a cada tipo de combustible factores de emisión.

<sup>31</sup> En el descenso de las emisiones en Navarra tiene un peso importante el comportamiento del sector de la Energía, con caídas de la producción de energía eléctrica de los ciclos combinados (con utilización de gas natural), aunque de manera

Figura 3. Contribución sectorial a las emisiones totales por categoría (Fuente: Inventario de Emisiones de GEI. Navarra 2014. Resumen. Gobierno de Navarra)

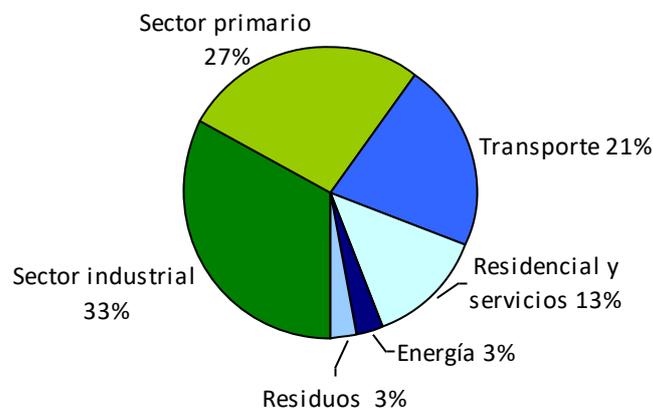
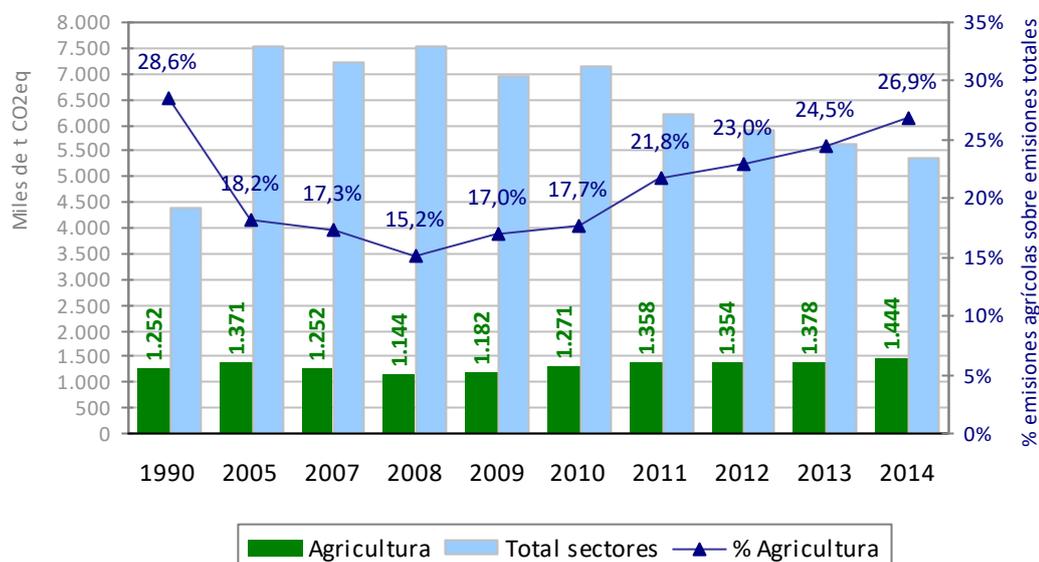


Figura 4. Evolución de las emisiones directas de GEI en Navarra (emisiones consecuencia de la actividad en Navarra)



Al igual que en el ámbito nacional, en Navarra **las emisiones de los suelos agrícolas son las que concentran mayor peso, el 39%** de las emisiones del sector (ver Tabla 1). Las emisiones por gestión de estiércoles y las derivadas de la fermentación entérica suponen el 27% y el 25% respectivamente, mientras que la combustión por uso de maquinaria representa alrededor del 8% en 2014.

general se ha producido un descenso en el resto de sectores, debido a la situación de crisis actual, tanto a nivel nacional como internacional.

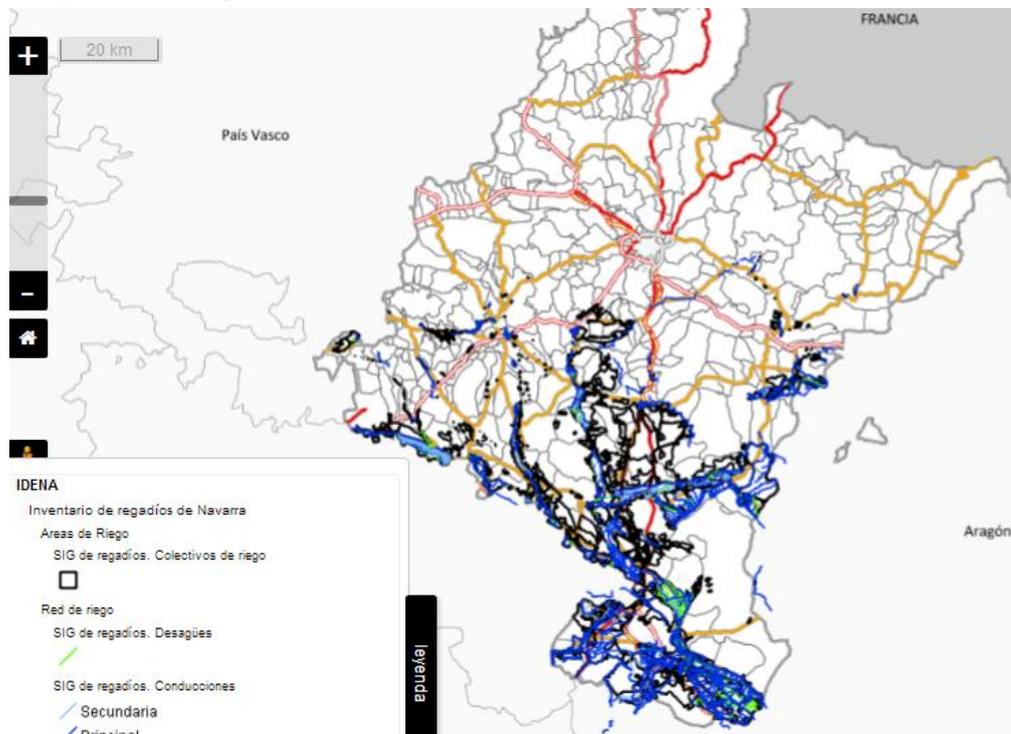
Tabla 1. Emisiones GEI procedentes de la agricultura Navarra. Inventario de Emisiones GEI de Navarra. Año 2014

	t CO <sub>2</sub> eq	%
Suelos agrícolas (N <sub>2</sub> O).	619.490	39,3%
Gestión de estiércoles (CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O)	431.234	27,3%
Fermentación entérica en ganado doméstico (CH <sub>4</sub> )	386.677	24,5%
Otros Modos de Transporte y Maquinaria Móvil: maquinaria agroforestal	128.513	8,1%
Cultivo de arroz (CH <sub>4</sub> ).	6.859	0,4%
Combustión en sectores no industriales correspondiente a plantas en agricultura, silvicultura y acuicultura	4.166	0,3%
<b>Total procesos de la agricultura</b>	<b>1.576.939</b>	<b>100,0%</b>

### 2.2.2. El regadío en Navarra

La superficie en regadío de Navarra se localiza principalmente en la zona sur (ver Mapa siguiente) y es en 2015 de 106.468 hectáreas<sup>32</sup>, el **32% del total de tierras de cultivo** de Navarra. Esta superficie asciende a 116.530 ha si se contabiliza la superficie regable<sup>33</sup>.

Mapa 1. Mapa zonas de regadío en Navarra

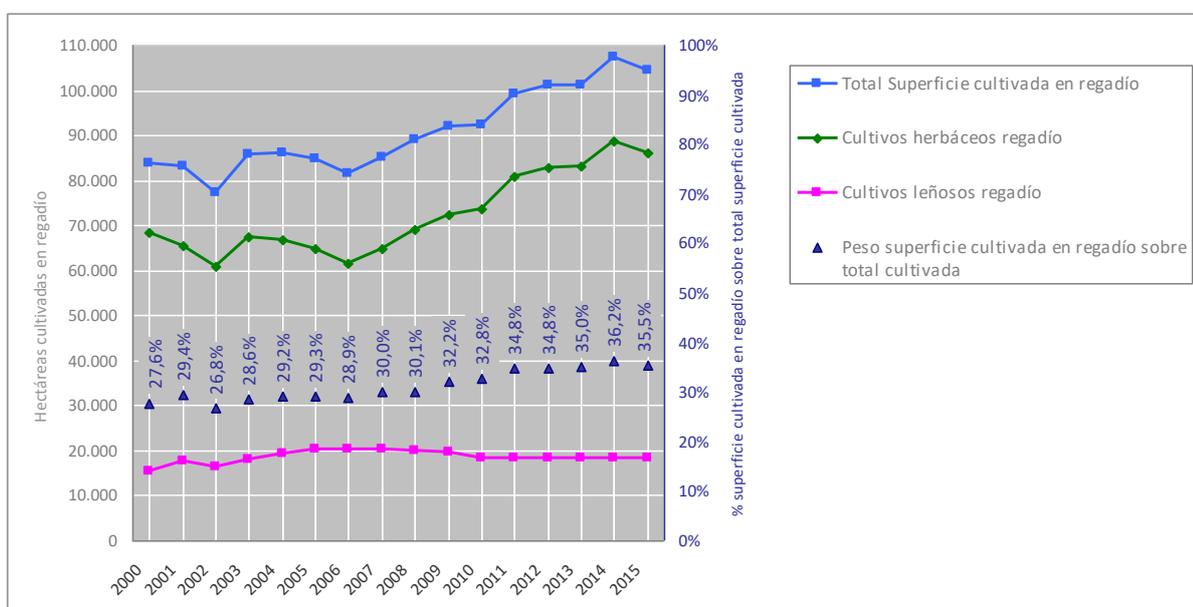


<sup>32</sup> Fuente: Negociado de Estadística. Departamento de Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración Local. Distribución de las tierras de cultivo.

<sup>33</sup> Según el Servicio Oferta Agroindustrial-Estadísticas INTIA, S.A, para la Superficie de Regadío (suma de las hectáreas de cada una de las parcelas que constituyen las zonas regables) en el año 2015, tras las finalización de la Fase I del Canal de Navarra.

En los últimos 15 años (periodo 2000-2015), **la superficie de cultivo en regadío se ha incrementado un 22,6%**, con la puesta en riego de 19.611 hectáreas (ver Figura 5). La construcción del Canal de Navarra ha supuesto un impulso en la transformación al regadío. Su construcción estaba prevista en dos fases para una zona regable de 53.125 ha. La primera fase ha transformado casi 22.500 ha (el 19% de la superficie regable actual), la segunda está actualmente en periodo de consulta y planificación debido a cambios políticos. Entre ambas fases, en el año 2014 se puso en marcha una ampliación de la Fase I que cubre 15.275 hectáreas, cuya finalización está prevista para 2018. Esta superficie comprende superficie de secano a transformar (47%), que incrementará la superficie regable en alrededor de 7.200 nuevas hectáreas, riegos tradicionales a modernizar (27%) y superficie de eficiencia energética, es decir, de riegos a presión que reducirán sus necesidades de bombeo (26% de la superficie de ampliación).

Figura 5. Evolución de la superficie de cultivo en regadío por tipo de cultivo



Fuente: Elaborado con información del Negociado de Estadística. Departamento de DRMAyAL

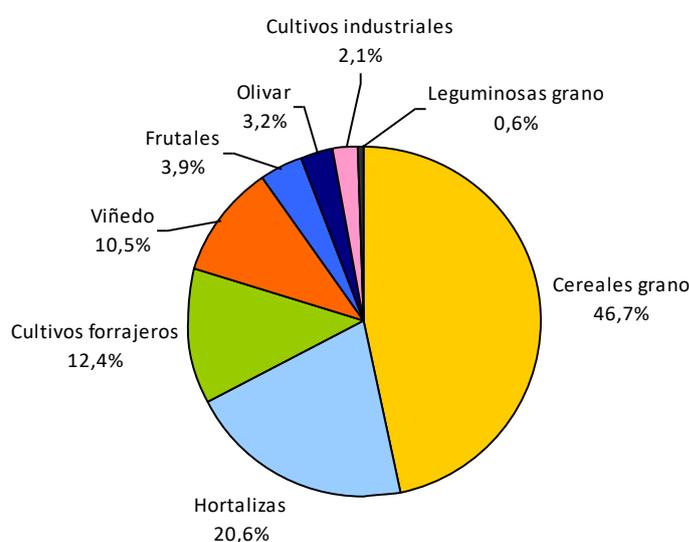
El aprovechamiento del regadío navarro es **principalmente en base a cultivos herbáceos** (ver Figura 5). En los últimos 10 años la superficie de riego ocupada por herbáceos oscila entre el 76% y el 83% (82% en 2015) mostrando una tendencia ascendente (incremento del 33,1% entre 2005 y 2015). Por el contrario, los cultivos leñosos se han reducido en un 9%, principalmente entre 2005 y 2010 tras un incremento importante del quinquenio anterior (aumento del 31,4% entre 2000 y 2005). Las nuevas zonas regables se ocupan principalmente con cultivos herbáceos.

Las estadísticas indican que una parte considerable de la superficie de regadío (alrededor de 9.800 hectáreas en 2015 y de 8.600 en 2014), **es ocupada con más de un cultivo anual**. Esto supone un

porcentaje medio de aprovechamiento de dobles cosechas<sup>34</sup> del 11-13% sobre la superficie de regadío con cultivos herbáceos, aunque en algunas zonas el peso es mayor<sup>35</sup>.

La figura siguiente muestra la **distribución por grupos de cultivos de la superficie de cultivo**. Destacan los cereales grano como grupo principal (46,7%), seguido de hortalizas (20,6%), cultivos forrajeros (12,4%) y la viña, que es el cultivo leñoso de mayor peso. Entre los cereales grano, el maíz predomina con algo más de 20.200 hectáreas (42% de la superficie de cereal), seguido del trigo blando y cebada, ambos con alrededor de 10.000 hectáreas respectivamente.

Figura 6. Aprovechamiento del regadío de Navarra por grupos de cultivo (media del periodo 2013-2015)



Fuente: Elaborado con datos del Negociado de Estadística, Departamento de DRMAyAL

En **términos de producción de alimentos, el regadío tiene también un peso elevado**. La producción de cultivos agrarios en regadío, supone el **63,7% de las toneladas totales** producidas en Navarra en 2015<sup>36</sup> y ha ascendido 13 puntos porcentuales desde el año 2000. El regadío proporciona prácticamente el 100% de las producciones típicas asociadas al riego (cultivos hortícolas y fruta fresca), pero también es importante en producciones tradicionales de zonas de secano (65% de la oliva para aceite y 58,% de la de uva para vinificación).

El **sistema de riego más utilizado es el tradicional** (riego a manta o tablas), que se aplica en el 60% de la superficie de regadío (ver Figura 7). El 40% restante es riego a presión, mayoritariamente aspersión. El 53% de la superficie con riego a presión (24.585 ha) requiere bombeo, es decir, energía

<sup>34</sup> La Superficie de Dobles Cosechas (SDC) es la diferencia entre la Superficie Cultivada (suma de las hectáreas de todos los cultivos que se han cultivado cada año) y la Superficie de Cultivo (superficie obtenida de restar a la Superficie Útil las hectáreas de Barbecho y Abandonada).

<sup>35</sup> Un estudio del Servicio de Oferta Agroindustrial, Balance global 2014, que cubre el 56% de la superficie cultivada (59.530 hectáreas) indica un peso del 16%. En regadíos con necesidad de bombeo este peso es mayor.

<sup>36</sup> Elaboración con datos del Negociado de Estadística Agraria y Estudios Agrarios. Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente. No se han considerado las praderas naturales.

para su funcionamiento. Son principalmente las zonas más antiguas, mientras que la gran mayoría de las nuevas zonas operativas del Canal de Navarra no necesitan bombeo.

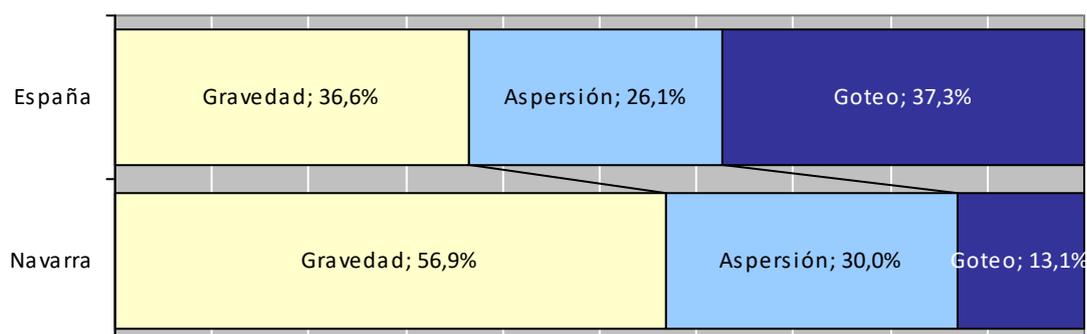
Figura 7. Caracterización de los sistemas de riego en Navarra

Superficie regable en Navarra (116.530 hectáreas)			
<b>60%</b> <b>Sistema de riego por gravedad</b> (70.432 hectáreas)	<b>40%</b> <b>Sistemas de riego a presión</b> (46.098 hectáreas)		
	<table border="1"> <tr> <td><b>47%</b> <b>Sin bombeos</b> (21.513 hectáreas)</td> <td><b>53%</b> <b>Con bombeos</b> (24.585 hectáreas)</td> </tr> </table>	<b>47%</b> <b>Sin bombeos</b> (21.513 hectáreas)	<b>53%</b> <b>Con bombeos</b> (24.585 hectáreas)
<b>47%</b> <b>Sin bombeos</b> (21.513 hectáreas)	<b>53%</b> <b>Con bombeos</b> (24.585 hectáreas)		

Fuente: Informes Experiencia B5. INTIA. Valores para 2014 y 2015.

El consumo de agua en el riego está estrechamente vinculado al sistema utilizado y el consumo total por cada sistema se corresponde aproximadamente con la superficie (ver Figura 8). La encuesta sobre el uso del agua del sector agrario muestra un consumo en Navarra de agua para riego de 481.048 miles de m<sup>3</sup> (promedio 2013-2014). Un 57% de este consumo es en riegos por gravedad, aspecto que resta eficiencia al uso del agua, especialmente si se compara con el peso en España de los riegos localizados (63,4%). En Navarra se ha promovido la eficiencia hídrica con la modernización de regadíos tradicionales, aunque en algunas zonas ha conllevado un aumento del consumo energético.

Figura 8. Volumen de agua consumido en el regadío por sistema de riego



Fuente: Encuesta sobre el uso del agua en el sector agrario, INE (media de los años 2013-2014)

### 2.2.3. Consumo de energía en la agricultura navarra

La agricultura concentra en el año 2015 el 6% del consumo energético total de Navarra (ver Tabla 2). En los últimos 10 años el consumo de energía se ha reducido tanto en el conjunto de sectores (-9,4%) como en el agrícola (-38,5%), principalmente fruto de la crisis económica a partir del año 2010. El descenso del consumo en la agricultura es mucho más acusado que el del conjunto de la economía, debido a los importantes incrementos experimentados a finales de los años 90<sup>37</sup>.

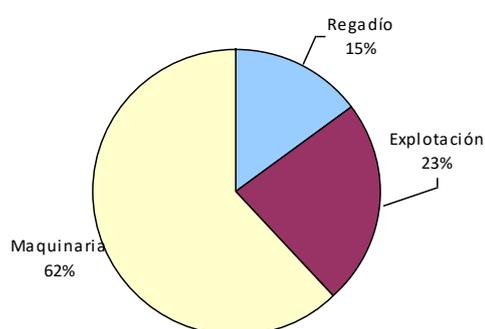
Tabla 2. Consumo de energía final en Navarra (TEP) 2005-2015

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Total sectores	2.041,54	2.042,38	2.070,53	2.132,45	1.913,66	2.028,79	1.970,60	1.895,07	1.822,94	1.793,61	1.849,312
Agricultura	182,747	168,800	164,789	181,125	159,305	161,867	141,782	118,896	120,340	106,635	112,457
% agricultura sobre total	9,0%	8,3%	8,0%	8,5%	8,3%	8,0%	7,2%	6,3%	6,6%	5,9%	6,1%
Tasa de variación											
	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15	2005-15
Total sectores	0,0%	1,4%	3,0%	-10,3%	6,0%	-2,9%	-3,8%	-3,8%	-1,6%	3,1%	-9,4%
Agricultura	-7,6%	-2,4%	9,9%	-12,0%	1,6%	-12,4%	-16,1%	1,2%	-11,4%	5,5%	-38,5%

Fuente: Balances energéticos de Navarra 2006-2015, Gobierno de Navarra

En la agricultura española, el regadío representa el 15% del consumo de energía (ver Figura 9). Este peso en Navarra es probablemente muy inferior, de alrededor del 3%<sup>38</sup>.

Figura 9. Usos de la Energía en la Agricultura española (Fuente: IDAE, año 2010)



<sup>37</sup> La agricultura casi triplicó su consumo energético final desde 1995, de manera especial entre los años 1998 y 2004, aunque posteriormente moderó su crecimiento. El diagnóstico del Plan Energético de Navarra 2020 lo atribuye a la extensión del regadío y a las crecientes necesidades energéticas de la ganadería intensiva frente a la tradicional ganadería extensiva.

<sup>38</sup> Estimado en base a la superficie que requiere bombeo (24.585 ha) y a un consumo medio de energía de 1.543 Kwh/ha/año (datos 2009), sobre el total de energía consumida en agricultura en 2015.

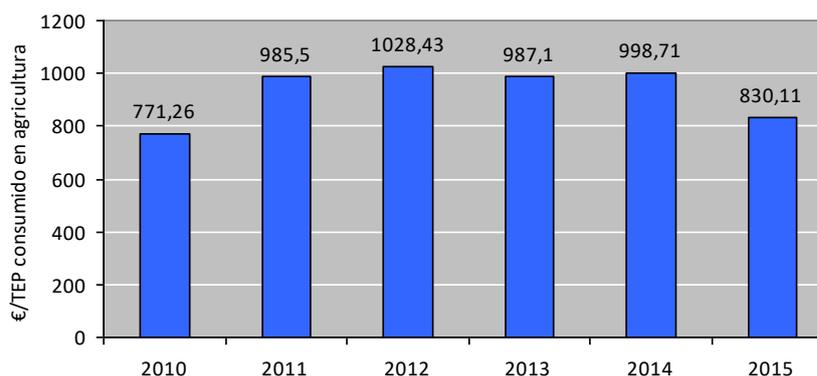
Las fuentes de energía utilizadas para el riego son electricidad y gasoil, mientras que en el conjunto de la agricultura navarra (ver Tabla 3), el petróleo y derivados representan el 85% seguido de la electricidad (9%) y del gas natural (5%)<sup>39</sup>.

Tabla 3. Balance energético en Navarra para la Agricultura. Utilización de energía TEP por tipo de fuente

Año	Petroleo y derivados	Gas Natural	Electricidad	Biomasa	Solar Térmica	Total
2011	119.981	11.063	10.130	607	1	141.782
2012	94.640	12.879	10.773	603	1	118.896
2013	96.975	13.045	9.507	812	1	120.340
2014	92.302	2.764	10.847	721	1	106.635
2015	99.493	1.048	11.143	772	0	112.457
Media 2013-15	96.257	5.619	10.499	768	1	113.144
% Variación 2011-2015	-20,6%	-955,6%	9,1%	21,4%	--	-26,1%

La dependencia energética y el incremento del precio de la energía (con una tasa media anual del 1,53% entre 2010 y 2015, ver Figura 10), especialmente el de la tarifa eléctrica, supone un incremento de los costes del regadío, que influyen en la rentabilidad de las explotaciones. No obstante, tras el pico alcanzado en 2012, los costes se han reducido ligeramente en los últimos años.

Figura 10. Coste de los combustibles empleados en el consumo de energía final en la agricultura de Navarra en 2010-2015 por sectores (euros corrientes/TEP).

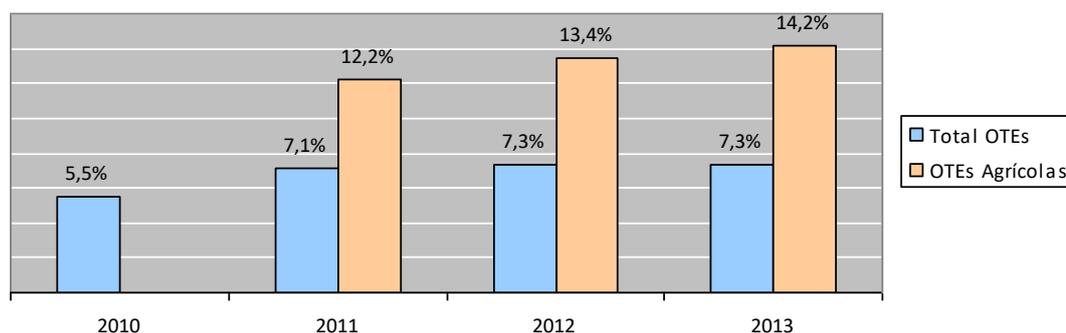


Fuente: Elaboración a partir de datos del Balance Energético de Navarra. Coste de los combustibles empleados en el consumo de energía final en Navarra en 2010-2015 por sectores (euros corrientes/TEP).

<sup>39</sup> Fuente: Balance Energético de Navarra. Promedio de los años 2013 a 2015.

El incremento del coste energético ha supuesto una subida del peso de los costes de la energía en las explotaciones agrícolas de 2 puntos porcentuales, hasta alcanzar el 14,2% de los gastos totales (ver figura siguiente). Así, las medidas de ahorro que se pueden adoptar para reducir su consumo son clave para aumentar la rentabilidad de las explotaciones de los sistemas de regadío preservando su viabilidad a futuro.

Figura 11. Evolución del Peso del gasto en energía sobre el gasto total de las explotaciones agrarias de Navarra 2011-2013 (último año disponible)



Fuente: Elaboración a partir de la Red Contable Agraria de Navarra.

Nota: OTE (Orientación Técnico Económica de las Explotaciones)

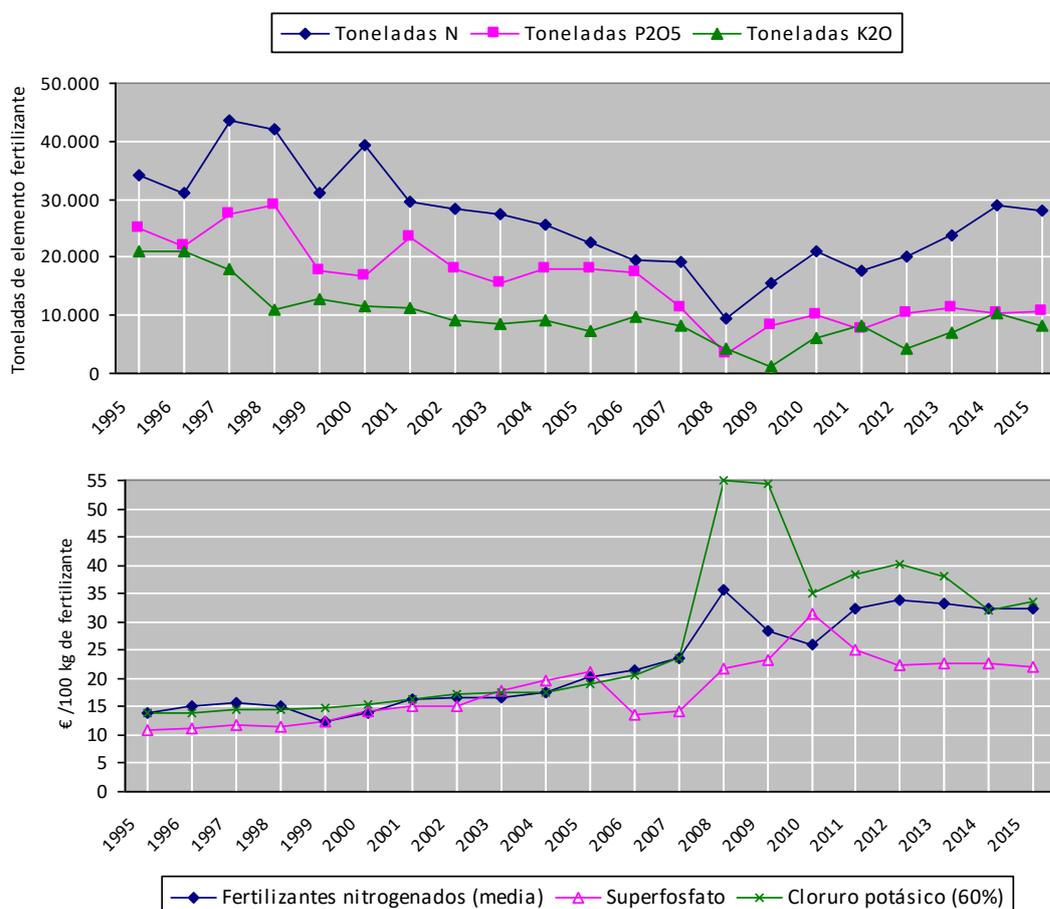
#### 2.2.4. Consumo de fertilizantes en la agricultura navarra

La fertilización es una de las **principales causas de emisión directa e indirecta de GEI en la agricultura**, tanto por el proceso de aplicación de fertilizantes, como por los procesos de éstos en el suelo. La nitrificación o desnitrificación genera compuestos nitrogenados que se volatilizan, se pierden por lixiviación o escurrimiento hasta capas de agua, también se emite CO<sub>2</sub> por aplicación de urea<sup>40</sup>, etc... En relación a la aplicación, en los países desarrollados el consumo energético asociado al uso de fertilizantes alcanza el 40% del consumo energético del sector agrícola, tanto vinculado a la maquinaria agrícola, como a la fabricación de los fertilizantes sintéticos (emisiones indirectas).

Navarra muestra desde el año 2008 un crecimiento en el consumo de fertilizantes que invierte la tendencia decreciente de principios de siglo, iniciada tras un pico elevado a finales de los años 90 (ver Figura 12). En los últimos años las tasas medias anuales se acercan al 30% en los fertilizantes nitrogenados y fosfatados y al 14% en los potásicos. Este comportamiento es similar al nacional, y está relacionado tanto con el aumento de la superficie de regadío, como con la evolución del precio de los fertilizantes.

<sup>40</sup> En el suelo, la urea (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) se convierte en amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), ión hidroxilo (OH<sup>-</sup>), y bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en presencia de agua y de enzimas de ureasa, mientras que el bicarbonato que se forma se convierte en CO<sub>2</sub> y agua.

Figura 12. Evolución del consumo de fertilizantes y de sus precios en Navarra



El consumo medio es en Navarra de **91,4 kg de UF de nitrógeno por superficie**, 36,9 de fósforo y 28,9 de potasio<sup>41</sup>. Aunque el uso de fertilizantes depende de la tipología de los cultivos, si se toma como referencia el nivel nacional, Navarra cuenta con un nivel de consumo de fertilizantes de nitrógeno y de fósforo ligeramente por encima de la media nacional.

El **balance bruto de nitrógeno** proporciona una **estimación del excedente potencial de nitrógeno en las tierras agrícolas** (kg/ha) en base a la información estadística sobre las cantidades de fertilizantes aplicados, el nitrógeno fijado en el suelo, la deposición atmosférica de compuestos de nitrógeno, semillas y material de plantación, y cantidades de las cosechas y forraje. Para el año 2013 (último disponible), **Navarra tiene un balance total excedentario de 24,3 kg/ha de UF de N<sup>42</sup>, un excedente mayor que** la media nacional (14,1). La Tabla 4, con el balance total y para algunos grupos de cultivo, refleja que el exceso de N se ha incrementado un 55,8% en los últimos años, con tasas de crecimiento superiores al ámbito Estatal.

<sup>41</sup> Promedio del periodo 2013-2015 considerando el total de superficie cultivada en Navarra y la estadística sobre consumo de fertilizantes de cada tipo.

<sup>42</sup> Balance de Nitrógeno en la Agricultura Española, calculado por el MAGRAMA

Aunque no existe información desagregada para el regadío, la eficiencia de la fertilización en Navarra parece inferior a la del conjunto de España si consideramos las hortalizas y los cereales. Esto supone también una fuente de contaminación de las capas freáticas de agua.

Tabla 4. Evolución del Balance de Nitrógeno por grupos de cultivo 2009-2013 (MAGRAMA)

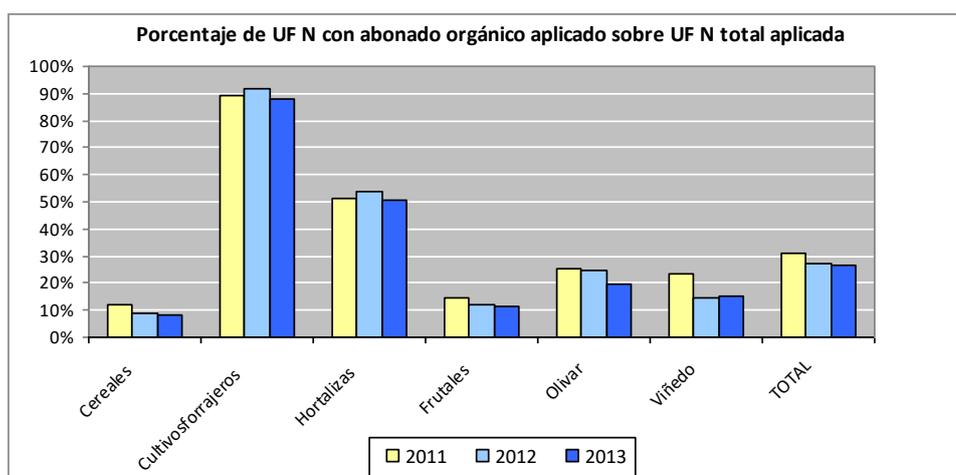
		Balance kg UF N / ha			
NAVARRA	Año	Total Cultivos	Cereales	Hortalizas	Frutales
	2009	15,6	5,9	128,3	49,8
	2010	16,7	8,6	159,7	63,5
	2011	19,1	9,0	152,8	42,6
	2012	22,0	18,2	150,3	38,8
	2013	24,3	18,9	164,1	56,5
	% variación 2009-13	55,8%	220,3%	27,9%	13,5%

		Total Cultivos	Cereales	Hortalizas	Frutales
ESPAÑA	Año	11,3	13,8	116,0	68,2
	2013	14,1	12,4	145,2	67,0
	% variación 2009-13	24,8%	-10,1%	25,2%	-1,8%

La principal fuente de fertilización nitrogenada utilizada en Navarra es la mineral, que supone el 72% de las unidades fertilizantes aplicadas (media de 2011-2013)<sup>43</sup>, mientras que el abono orgánico aporta el 28% de las UF de N totales (ver Figura 13). El peso de la fertilización orgánica es superior en cultivos herbáceos (29%) que en leñosos (18%). Este porcentaje se sitúa algo más de un punto porcentual por debajo de la media española.

Figura 13. Peso en Navarra de la fertilización orgánica nitrogenada sobre la total



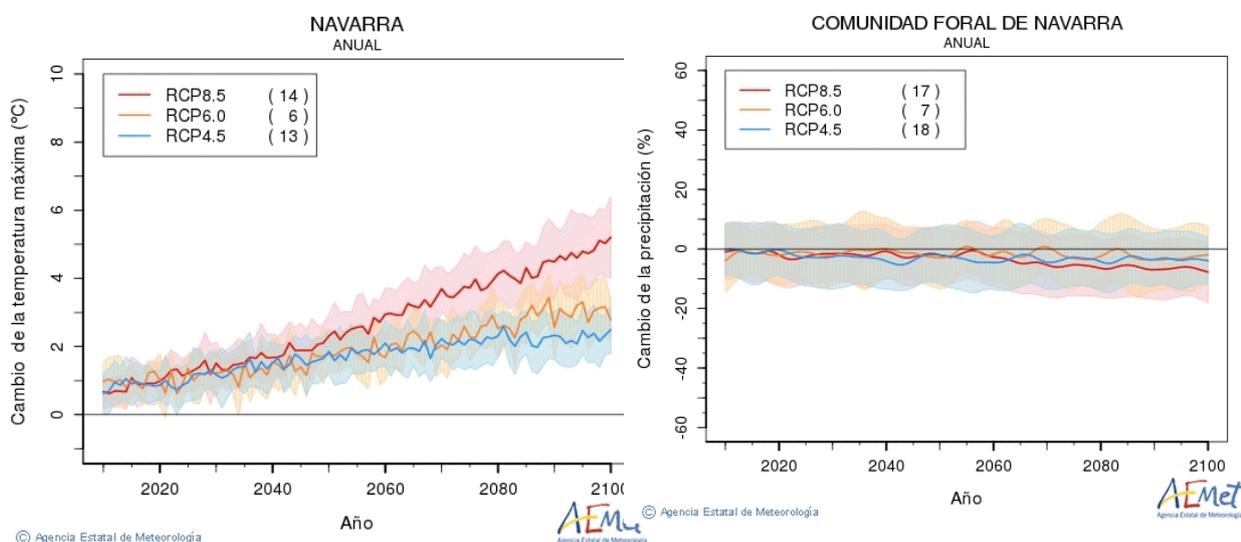
<sup>43</sup> Estimación con información del Balance de Nitrógeno del MAGRAMA teniendo en cuenta el total de unidades fertilizantes aplicadas (fertilización mineral y fertilización orgánica). No se consideran en este porcentaje otras entradas de Nitrógeno: excrementos de pastoreo, fijación biológica, semillas, ni deposición atmosférica.

El balance estadístico de nitrógeno<sup>44</sup> indica que en Navarra no hay exceso de purines (toda la cantidad producida se consume), aunque hay un excedente de estiércol de algo más de 2.300 t de N, que se aplica tanto en cultivos herbáceos como en leñosos. Así, existe margen para una mayor aplicación de abono orgánico en sustitución el abonado mineral, pero se ve limitado por problemas de acceso debido a la ubicación en la zona norte de buena parte de los centros de producción del estiércol y en la zona sur de Navarra de la demanda.

### 2.2.5. Efectos esperados del Cambio Climático sobre la agricultura de regadío en Navarra

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) predice para Navarra en el año 2100, un aumento de la temperatura máxima entre los 1,5 y los 2°C, y cambios en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones, que pueden suponer una pérdida en el aporte de agua de alrededor del 9%.

Figura 14. Proyecciones climáticas para Navarra en función de distintos modelos climáticos. AEMET.



En el sector agrícola de regadío las variaciones climáticas supondrán **principalmente un aumento de las demandas hídricas del regadío** por un mayor déficit hídrico, e impactos en la **afección de plagas** y enfermedades y en los suelos. A continuación se resumen los principales impactos previstos:

<sup>44</sup> Año 2012. Esta información no se detalla en el informe del balance del año 2013.

- El Informe sobre los efectos potenciales del cambio climático en las demandas de agua y estrategias de adaptación<sup>45</sup>, estima un **incremento de las necesidades netas de agua de riego de maíz para la cuenca hidrográfica del Ebro del 3-8%**<sup>46</sup> para el periodo 2011-2040 (2-9% para el tomate). En los cultivos permanentes de regadío, en la variación de las necesidades de agua de riego además de la temperatura influirá la precipitación, dado que el periodo de desarrollo vegetativo es mayor que en los cultivos anuales, estimándose incrementos de las necesidades del 8-12% para la alfalfa, del 9-24% para la vid y del 9-18% para el olivo. Esto requerirá incrementar las dotaciones netas medias de agua de riego para el periodo 2011-2040 en el rango del 3 al 6% (estimación realizada para cinco cuencas entre las que no se incluye la del Ebro).
- El control natural de plagas por las heladas y bajas temperaturas del invierno podría disminuir y precisar una adaptación de las secuencias de los cultivos. También puede producirse un desplazamiento a latitudes mayores de algunas enfermedades. Actualmente ya nos encontramos ante determinados patógenos, que han sido previstos y controlados, pero que muestran comportamientos inesperados.
- Otro factor a tener en cuenta es la respuesta de los cereales ante ciclos cada vez más cortos de invierno.
- Es posible que el CC repercuta sobre las características de los suelos agrícolas y en consecuencia sobre los rendimientos de los cultivos. Se estima que, en promedio, por cada aumento de temperatura de 1°C la pérdida de carbono orgánico en el suelo puede ser del 6-7 %, valor que puede aumentar o disminuir según sea el cambio en la precipitación y también según las características propias del suelo y sus usos<sup>47</sup>. En el regadío de Navarra supondría una pérdida de contenido en carbono de los suelos, que afectaría de forma negativa a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos.
- Finalmente es importante señalar la influencia que el cambio climático tendrá sobre fenómenos meteorológicos inesperados que conlleven siniestros agrícolas relacionados con inundaciones, sequías u otros desastres naturales. Los seguros agrarios están actualmente diseñados en base a series históricas, pero si hay siniestros que no responden a éstas, el mecanismo del seguro no funciona. Así, el CC afectará también a la concepción y replanteo de estas herramientas que reducen el riesgo económico de las explotaciones.

---

<sup>45</sup> Presentado en 2011 y elaborado por el CEDEX. Está disponible en [http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/ImpactoCCDemandas\\_tcm7-310163.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/ImpactoCCDemandas_tcm7-310163.pdf)

<sup>46</sup> Valores máximos de los límites del intervalo de incrementos de necesidades netas de riego en porcentaje sobre distintos modelos climáticos y escenarios que los proporcionan, para el periodo 2011-2040 en relación al de control.

<sup>47</sup> Fuente: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.

### 3. CONTRIBUCIÓN DE LIFE REGADIOX A LA MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

El objetivo del proyecto es diseñar un modelo innovador de gestión agrícola en sistemas de regadío para promover la adaptación y mitigación del cambio climático. Como resultado para el ámbito del regadío de Navarra, desde una escala territorial y con un enfoque ligado a la superficie, se ha logrado lo siguiente:

- a) cuantificar el efecto mitigador sobre el CC del cambio del uso de suelo secano-regadío;
- b) cuantificar el efecto mitigador sobre el CC de prácticas de manejo agrícolas en regadío;
- c) en infraestructuras hidráulicas en parcela y redes colectivas, cuantificar para distintas alternativas de diseño, implantación y de explotación, el potencial de reducción de GEI en relación al gasto energético y a la huella de carbono del equipamiento.

En cada manejo se ha obtenido un balance orientativo de las emisiones de GEI que genera, teniendo en cuenta tanto la fijación de Carbono orgánico en el suelo, como las emisiones derivadas del proceso productivo. Los resultados se han medido utilizando los indicadores siguientes:

Indicador	Unidad de medida	Experiencias
1. Variación de Secuestro de C atmosférico	t CO <sub>2</sub> eq/ha x año	B1, B2, B3, B6
1.1 Stock de carbono orgánico en el suelo (en perfil 0-30 cm)	t CO <sub>2</sub> eq/ha	B1, B2, B3, B6
2. Variación de CO <sub>2</sub> eq emitido	t CO <sub>2</sub> eq/ha x año	B1,B2, B3, B4, B5, B6

A continuación se detallan los resultados organizados en función del foco de mitigación que se estudia:

- El efecto sobre el CC del cambio de uso del suelo de secano a regadío
- Prácticas de manejo del suelo en cultivos herbáceos de regadío para potenciar la captura y estabilización de C en el suelo y mejorar el balance de emisiones.
- Prácticas en cultivos permanentes de regadío con uso de cubiertas vegetales encaminadas a mejorar la fijación de C y el balance de emisiones.
- Sustitución de una parte de la fertilización mineral con fertilizantes orgánicos.
- Diseño y manejo de sistemas de riego teniendo en cuenta la variable de emisión de GEI.

Finalmente el último punto del Apartado 3 muestra una visión global del modelo y estima el resultado potencial de las experiencias demostrativas sobre Navarra.

### 3.1. Efecto sobre el CC del cambio de uso del suelo secano-regadío

#### 3.1.1. Objetivos y metodología específica

Para obtener una evaluación medioambiental conjunta del proyecto, este apartado considerará las Acciones B1, B2 y B6. La Acción *B1 Experiencias demostrativas de cambio de uso del suelo secano-regadío para fijación de carbono* es la que dirige de forma específica a **valorar en qué grado el regadío mejora frente al secano el C orgánico fijado en el suelo**, teniendo también en cuenta el **balance de emisiones de GEI** del cultivo en ambos sistemas de secano y regadío. Se parte de la hipótesis de que la mayor productividad que genera el regadío (incremento de la biomasa aérea), aumenta las entradas de C orgánico en el suelo (incremento de biomasa en el suelo) y su estabilización como stock de C orgánico.

Las acciones *B2. Experiencias demostrativas de laboreo reducido en cultivos herbáceos de regadío, encaminadas a la mayor fijación de carbono y balance de emisiones* y *B.6 Experiencias piloto a gran escala implantadas en parcelas agrícolas profesionales*, aunque tienen otros objetivos específicos, amplían con sus resultados la información disponible, aspecto que permite unas conclusiones más sólidas.

El diseño para **cuantificar** la captura adicional de CO<sub>2</sub> como stock de C orgánico en el suelo, del cultivo en regadío en relación al secano, ha considerado: dos zonas agroclimáticas<sup>48</sup>, distintas condiciones edáficas, zonas del regadío de distinta antigüedad para valorar las diferencias en el ritmo de secuestro. Cada zona homogénea de regadío y suelo cuenta con una parcela<sup>49</sup> de secano con manejo tradicional que actúa como testigo y con parcelas en regadío con distintos manejos agrícolas consolidados en relación al suelo, teniendo en cuenta los cultivos más extendidos. El Cuadro 5 muestra las parcelas utilizadas en las Acciones B1, B2 y B6.

Cuadro 5. Parcelas de las acciones B1 Cambio de uso del suelo secano-regadío para fijación de carbono, B2 Manejos en cultivos herbáceos y B6 Experiencias a gran escala

Zona de riego y Agroclimática <sup>50</sup>	Miranda de Arga Mediterráneo templado	Funes Mediterráneo templado	Valtierra Estepario templado
Antigüedad del regadío	6 años	13 años	20 años
MANEJOS	IDENTIFICACIÓN DE LAS PARCELAS SELECCIONADAS (parcela + cultivos en año ER)		
Secano	M11 Cebada	F11 Cereal año y vez	V11 Trigo V12 Cebada (con enmiendas orgánicas)
Regadío intensidad baja	MB21 Alfalfa	--	--
Regadío intensidad media	MB12 Maíz dulce MB22 Maíz grano MB61 Maíz grano	F21 Maíz forrajero F22 Maíz Grano FB61 Maíz Grano FB62 Maíz Grano	V13 Maíz Grano
Regadío intensivo	M13 Maíz grano + habas	F23 Pimiento	V14 Brócoli + maíz dulce

<sup>48</sup> Una zona semi-árida y una zona más húmeda, que implica un incremento de la precipitación natural por el regadío en distinta proporción (el "cambio climático" provocado por el riego es mayor en la zona más árida).

<sup>49</sup> Ver Apartado 1.3.2 Metodología del proyecto, donde se explica que la selección se realiza con el concepto de Unidad de Gestión de Cultivo.

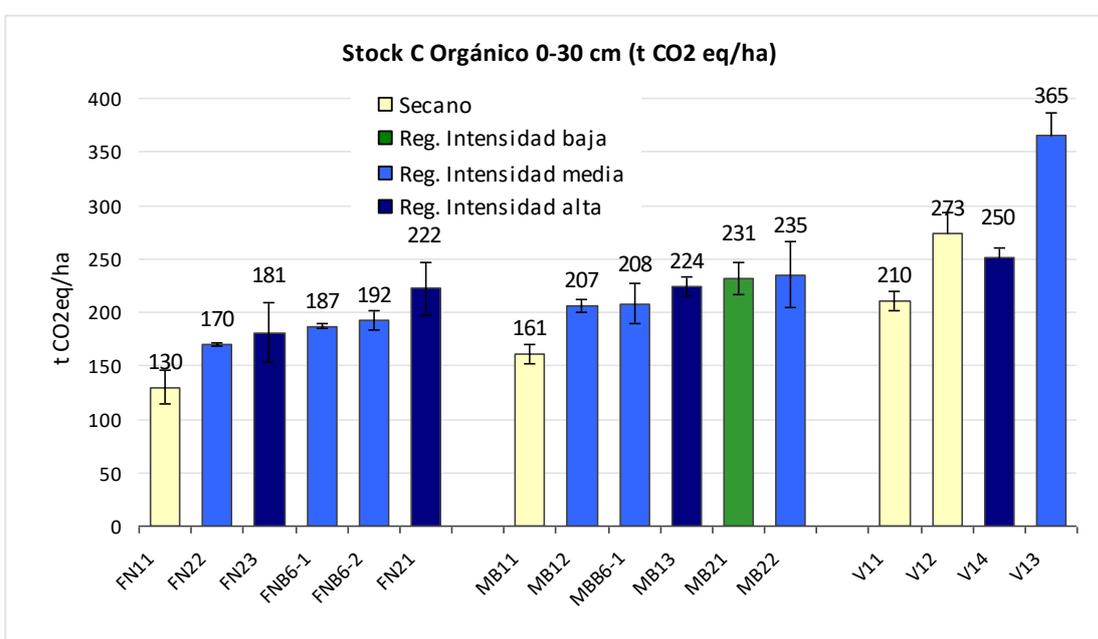
<sup>50</sup> Según clasificación de Papadakis

### 3.1.2. Resultados

#### A) Sobre el stock de carbono orgánico secuestrado en el suelo

Para cada zona estudiada, **el regadío siempre supone un stock de carbono orgánico superior al del secano tradicional** (ver Figura 15). El cambio de uso ha mostrado incrementos significativos del stock de carbono, aunque muy variables, oscilando en una **horquilla del 19-74%**.

Figura 15. Stock de materia orgánica (t CO<sub>2</sub>eq/ha) de las distintas zonas analizadas. Las barras indican el error estándar.



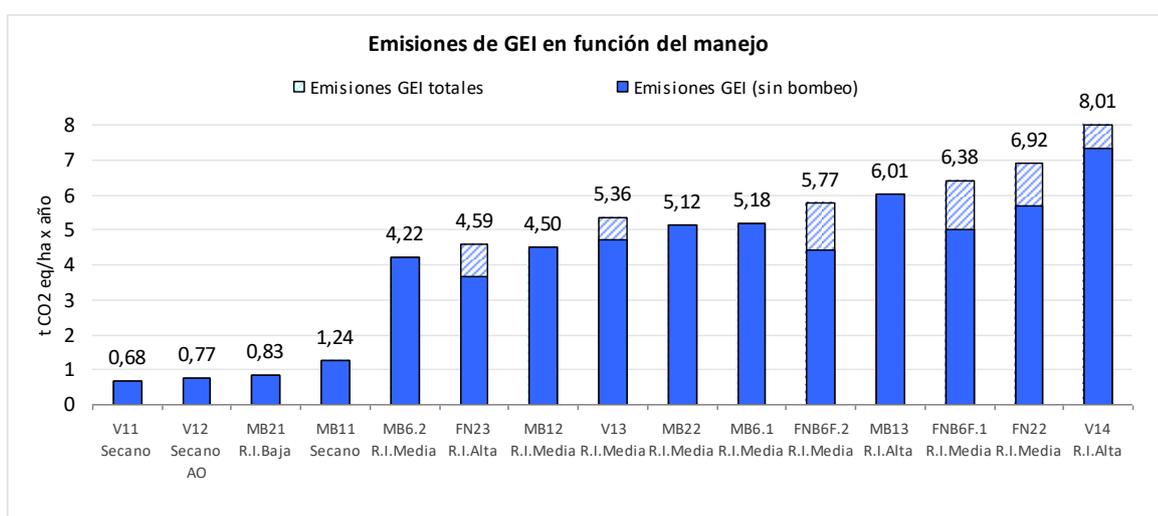
La antigüedad del regadío podría estar relacionada con las diferencias entre los rangos de secuestro de carbono entre zonas, especialmente para el valor más elevado. El regadío de Miranda, con 6 años de antigüedad, muestra un aumento del 28-46% en relación al secano de referencia, el de Funes, con 13 años, un stock superior al secano entre un 31 y un 71%, y finalmente en Valtierra, con 20 años de antigüedad, se ha registrado un incremento del 19-74%. También esta última zona es la de mayor variabilidad.

En la zona de Valtierra se analizaba el efecto de la aportación de enmiendas orgánicas en secano durante un periodo prolongado. Se ha observado un nivel de materia orgánica un 30% mayor que en el secano tradicional, por encima del de algunas parcelas de regadío en la zona.

## B) Sobre la emisión de GEI de los sistemas secano-regadío

Los resultados de secuestro de carbono en el suelo se completan con el análisis de emisiones de GEI que conllevan los distintos sistemas de manejo en secano y en regadío para un año de cultivo. Se aplica un **enfoque territorial basado en la superficie, que indica en general un mayor nivel de emisiones por hectárea en el regadío** (ver Figura 16). Las emisiones medias de las parcelas de secano han sido de 0,9 t CO<sub>2</sub>eq/ha, mientras que el promedio de las parcelas de regadío ha sido de 4,73 t CO<sub>2</sub>eq/ha, es decir el regadío ha generado un promedio de 3,83 t CO<sub>2</sub>eq/ha por encima del secano. No obstante, el manejo de regadío de baja intensidad, genera un nivel de emisiones similar al secano, incluso inferior (para la producción de alfalfa, emisión de 0,83 t CO<sub>2</sub>eq/ha).

Figura 16. Balance total de GEI por hectárea en cultivos de secano y regadío



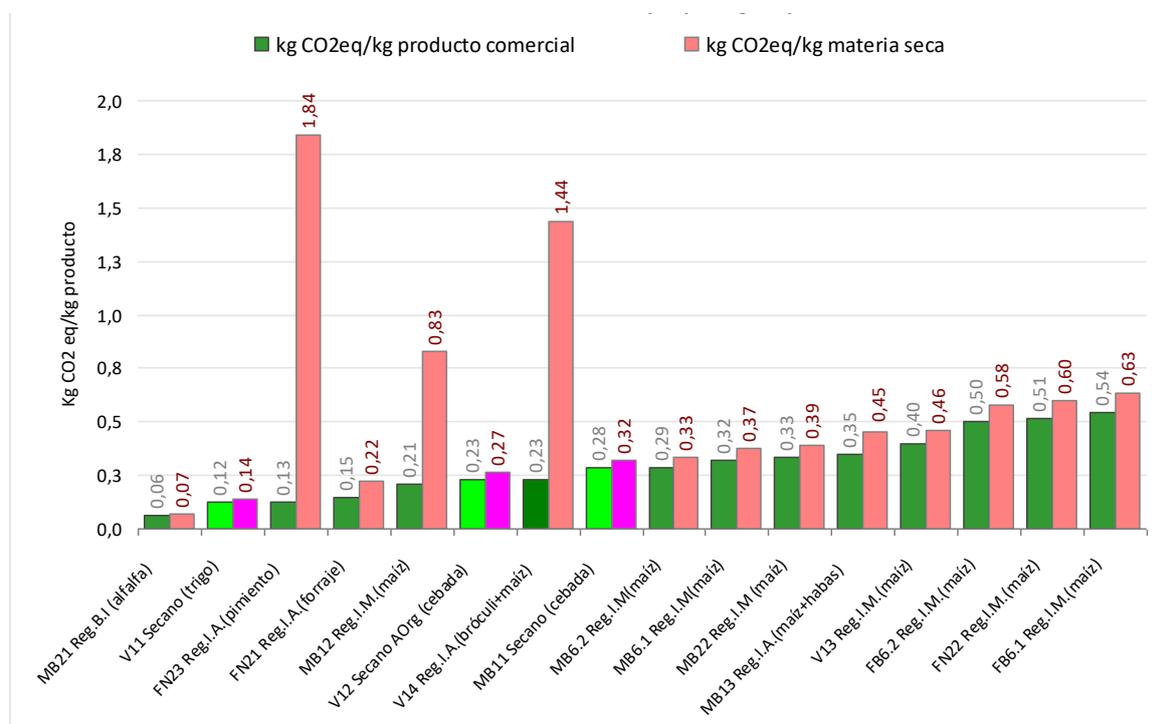
Nota: En las parcelas de riego dependientes de bombeo, el gráfico refleja la emisión de GEI con y sin bombeo, para su comparación con las parcelas de riego a presión sin bombeo (que son el 47% de los riegos a presión de Navarra).

Desde un **enfoque estratégico** (teniendo en cuenta las toneladas producidas para abastecer la demanda de producto), **las emisiones de GEI por unidad de producto siguen siendo inferiores en secano que en los manejos intensivos de regadíos con 2 cosechas anuales** (ver Figura 17 y Tabla 5), **pero las diferencias entre cultivos de secano y regadío se reducen en la mayoría de manejos.**

Las diferencias en las emisiones de GEI generadas entre secano y regadío se reducen si se utiliza el indicador de emisiones por unidad de producto frente a emisiones por unidad de superficie. Sólo con el fin de ofrecer una visión conjunta comparativa de los enfoques territorial y estratégico, la Tabla 5 muestra valores promedios de las emisiones por tipos de manejo, si bien la comparación es a nivel sólo aproximativo debido a las limitaciones metodológicas<sup>51</sup>. En promedio el regadío ha generado unas emisiones de GEI medias por kilo de producto comercial un 46% mayor que el secano, pero las diferencias se localizan en el manejo de intensidad media. Por el contrario, el regadío de baja intensidad conlleva emisiones medias por kg muy inferiores al secano y el intensivo similares.

<sup>51</sup> Esta comparación no es estrictamente correcta, ya que el enfoque estratégico promedia toneladas de distintos productos (lo correcto sería comparar el mismo producto en secano y en regadío, pero el proyecto no lo permite). Existe bibliografía que estima equivalencias entre productos, aunque no suficientemente sólida para nuestro ámbito territorial.

Figura 17. Comparativa de las emisiones de GEI por unidad de producto en seco y regadío



Nota: El gráfico muestra también el indicador de emisiones de GEI por unidad de materia seca producida porque nos ha parecido de interés reflejar las diferencias con el indicador de peso seco. No obstante, en la práctica consideramos que el análisis debe centrarse en las emisiones por peso comercial dado que los alimentos hay que producirlos como peso fresco.

Tabla 5. Comparación aproximativa de emisiones medias de GEI por unidad de producto y superficie

**Promedio de resultados en experiencias de referencia (EERR)**

	t CO2eq/ha*año	kg CO2eq/ kg	kg CO2eq/kg materia seca	Nº de parcelas analizadas
Secano	0,89	0,21	0,24	3
Regadío	5,41	0,31	0,63	13
Regadío Intensidad Baja	0,83	0,06	0,07	1
Regadío Intensidad Media	5,43	0,39	0,53	8
Regadío Intensidad Alta	6,51	0,21	0,99	4

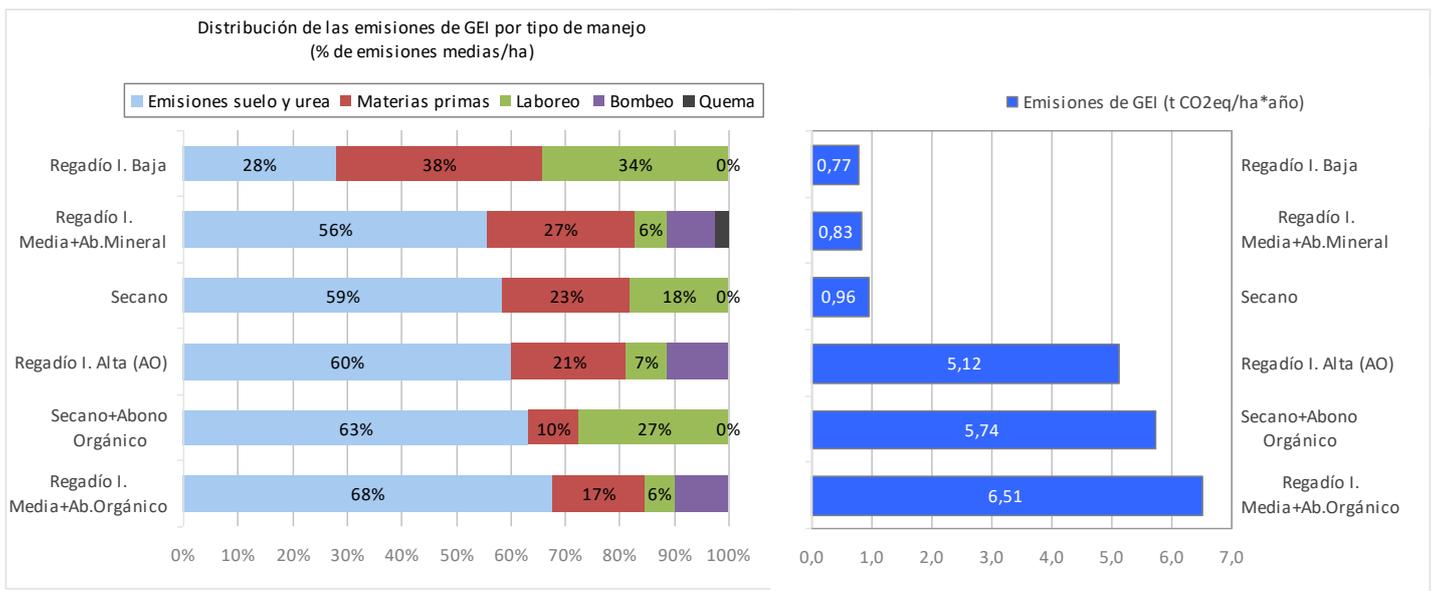
**Ratio secano/regadío (Promedio secano=100)**

	t CO2eq/ha*año	kg CO2eq/ kg	kg CO2eq/kg materia seca
Secano	100	100	100
Regadío	604	146	262
Regadío Intensidad Baja	93	30	30
Regadío Intensidad Media	607	182	217
Regadío Intensidad Alta	728	101	409

Desde una perspectiva global, la mayor emisión del regadío no supone necesariamente un impacto negativo. Como señala Paustian et al. Nature<sup>52</sup>, hay que considerar el beneficio global que aportan los manejos de riego y fertilización por incrementar el rendimiento de la producción: si bien pueden suponer un aumento de las emisiones de GEI por kilo de producto, el mayor rendimiento evita en otro lugar el cambio de superficies a uso agrícola.

La Figura siguiente muestra que **la principal fuente de emisiones de GEI en la actividad agraria son el suelo y la urea**, con excepción de la experiencia de regadío de baja intensidad (en nuestro caso una leguminosa). En general, esta fuente supera el 50% de emisiones totales de GEI tanto en cultivos de secano como en regadío, y dentro de un mismo manejo su peso tiende a incrementarse con la aplicación de abonos orgánicos. La fabricación o producción de materias primas es la segunda causa de GEI en los manejos de regadío (con un peso entre el 17-38%).

Figura 18. Emisiones GEI totales para cada manejo analizado (sin considerar energía consumida en bombeo), por fuentes de emisión. A la derecha peso de cada fuente



Nota: Una de las tres zonas de regadío no requiere bombeo, dado que el Canal de Navarra suministra suficiente presión

<sup>52</sup> Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P. 2016. Climate-smart soils. Nature 532:49-57. "Other practices to increase C inputs include irrigation in water-limited systems and additional fertilizer input to increase productivity in low-yielding, nutrient-deficient systems. Although additional nutrient and water inputs to boost yields may increase non-CO2 emissions, the emissions intensity of the system (GHG emissions per unit yield) may decline, providing a global benefit if the yield increase avoids land conversion for agriculture elsewhere."

### C) Sobre el balance de GEI (captado/emitado) por los sistemas secano-regadío

Finalmente se muestran los balances globales de los manejos teniendo en cuenta tanto el efecto sobre el secuestro de C orgánico en el suelo, como el las emisiones de GEI del proceso productivo de los manejos de cultivo.

El balance se estima a nivel de parcela restando a las emisiones de GEI generadas, el carbono secuestrado en el suelo. Con objeto de estimar el balance anual entre secuestro y emisiones, se utiliza el indicador “Valor medio anual de secuestro”<sup>53</sup>. Si el balance es negativo, el manejo es mitigador de CO<sub>2</sub> atmosférico, mientras que un balance positivo representa que la captación de carbono en el suelo no compensa las emisiones generadas en la producción.

La Tabla 6 refleja un **balance negativo o mitigador en la mayoría de las parcelas** (UGC) analizadas (54%), es decir un nivel de captación de CO<sub>2</sub> atmosférico en el suelo superior a las emisiones generadas. Pero en conjunto el **rango de resultados es amplio**, de un balance mitigador de 10,90 t CO<sub>2</sub>eq/ha anuales a uno que emite 6,00 t CO<sub>2</sub>eq/ha y año.

Tabla 6. Balance de Emisiones GEI por hectárea en las tres zonas regadío analizadas

Parcela	Manejo	Valor medio anual de secuestro (1) (*) (t CO <sub>2</sub> eq/ha*año)		Emisiones de GEI (t CO <sub>2</sub> eq/ha*año) (*) (2)	Balance de GEI anual por hectárea (2) – (1)
V11	Secano (referencia)**	0,00		0,67	0,67
V14	Regadío I. Alta	2,02	±0,50	8,02	6,00
V12	Secano A.orgánico	3,15	±1,01	0,77	-2,38
V13	Regadío I. Media	7,76	±1,03	5,36	-2,40
FN11	Secano (referencia)*	0,00		0,67	0,67
FN22	Regadío I. Media	3,07	±0,12	6,91	3,85
FN23	Regadío I. Alta	3,94	±3,37	4,59	0,65
FN21	Regadío I. Alta	7,09	±1,94	7,44	0,35
MB11	Secano (referencia)*	0,00		1,24	1,24
MB12	Regadío I. Media	7,61	±0,99	4,50	-3,11
MB13	Regadío I. Alta	10,50	±1,47	6,01	-4,49
MB22	Regadío I. Media	12,35	±5,20	5,12	-7,24
MB21	Regadío I. Baja	11,73	±2,47	0,83	-10,90
<b>Secano</b>		<b>0,00</b>		<b>0,67 – 1,24</b>	<b>0,67 – 1,24</b>
<b>Regadío</b>		<b>2,02 a 11,73</b>		<b>0,83 a 8,02</b>	<b>6,00 a -10,99</b>

(\*) Valor promedio y tasa de error. En los datos de “secuestro” se dispone de la variabilidad (se ha trabajado con repeticiones), esta información indica que cuando la variabilidad es grande las diferencias “netas” entre sistemas no son tan pronunciadas. En el caso de las emisiones de GEI no se dispone de al variabilidad, al ser estimaciones a partir de los datos de inputs de cada parcela en un año. Por eso no podemos tener una idea real de cómo de significativas respecto a la referencia (secano) son los valores de los balance.

(\*\*) Se considera el secano de cada zona como referencia, por lo que se considera una tasa media anual de secuestro nula.

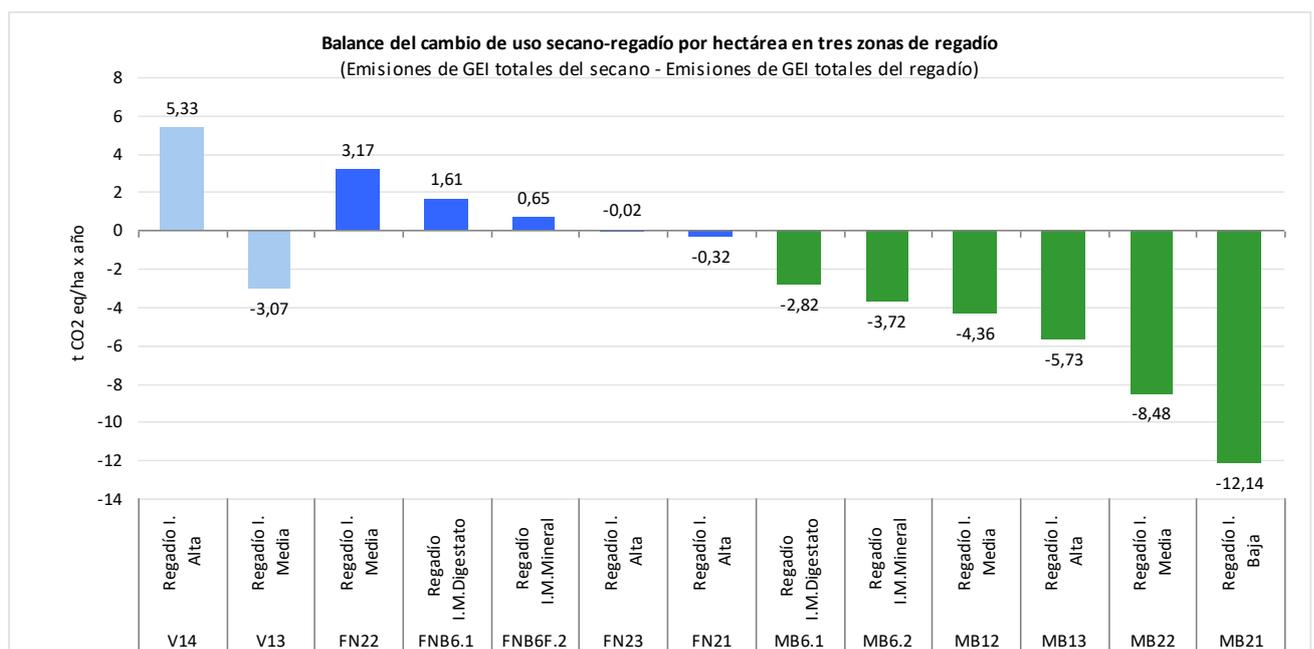
<sup>53</sup> Transforma el stock de carbono orgánico adicional secuestrado en el suelo (respecto al secano de la misma zona), en una tasa media anual teniendo en cuenta los años de transformación del regadío. Se trata de una diferencia media anual de cantidad de SOC. Podría ser que todo lo que se ha ganado hubiera sido en los dos primeros años, e incluso que desde entonces hubiera habido pérdidas, pero como sólo tenemos el dato inicial (estimado a partir del secano) y final (medido), sabemos realmente la diferencia neta, y sabiendo el tiempo transcurrido, estimamos un promedio anual de esta diferencia, sin saber si es una “tasa” (kg ganado por tiempo) o un valor medio de la diferencia neta.

En conjunto puede observarse varios factores de influencia:

- Se ha obtenido un balance positivo (emisor) en todas las parcelas de la zona de Funes, un regadío de antigüedad media con elevado gasto energético (las emisiones de GEI por bombeo son alrededor del 20% de las emisiones totales).
- En el regadío de Miranda de Arga, el balance obtenido es negativo (mitigador) en todas las parcelas de la zona. Este es un regadío que no requiere gastos adicionales de bombeo y al mismo tiempo, el más reciente de los monitorizados, con un valor medio del secuestro anual elevado. El Informe Final de las Acciones B1, B2 y B3 concluye que no existe una correlación clara entre la antigüedad de la puesta en regadío y la magnitud del secuestro de carbono, aunque observa que el valor medio anual de secuestro es, en general, menor en los regadíos antiguos que en los más recientes, lo que posiblemente indica que el ritmo de secuestro no es sostenible en el tiempo.
- El manejo específico del cultivo tiene una elevada influencia en el nivel de emisiones, especialmente en relación al tipo de abono utilizado (orgánico / inorgánico) y a las dosis utilizadas. Los apartados siguientes analizarán los resultados en función de la intensidad de laboreo y de las enmiendas orgánicas.

El **cambio de uso a regadío de superficies actualmente en secano** teniendo en cuenta tanto las emisiones de GEI que se evitan (al sustituir la producción en secano), como las generadas por el nuevo cultivo en regadío, supondría desde una emisión adicional de 5,33 t CO<sub>2</sub>eq/ha y año a una mitigación de hasta 12,14 t CO<sub>2</sub>eq/ha año (ver Figura 19). Es decir, en función del manejo, el cambio puede generar mayores emisiones de GEI o compensarse con el mayor almacenamiento de C atmosférico en el suelo, obteniendo un resultado mitigador adicional al secano.

Figura 19. Balance del cambio de uso secano-regadío en las tres zonas de regadío analizadas



Este resultado debe matizarse con una perspectiva temporal. Con el tiempo, una vez el secuestro se ha “amortizado”, el regadío será siempre netamente emisor (igual que el seco). Las parcelas más “secuestradoras” (las del final de la gráfica) son las más “jóvenes”. En parte este efecto “mitigador” lo deben a que están más lejos de su nuevo equilibrio, pero no hay nada que permita pensar que cuando lleven 20 años en regadío no tendrán un balance como las de Valtierra equivalentes a ellas en manejo.

En manejos en las que las emisiones adicionales no se compensan, se requiere fomentar estrategias que optimicen el “capital” que ofrece el almacenamiento de C atmosférico en el suelo. El elevado peso de las emisiones de GEI ligadas a la fertilización y el manejo del suelo, presenta cierto margen al respecto, actuando sobre el control de prácticas relacionadas.

## 3.2. Prácticas de manejo del suelo en cultivos herbáceos de regadío para potenciar la captura y estabilización de C en el suelo

### 3.2.1. Objetivos y metodología específica

El proyecto analiza las prácticas de manejo del suelo mediante la acción B2 “Experiencias demostrativas de laboreo en cultivos herbáceos de regadío encaminado a la mayor fijación de carbono”, cuyo objetivo es la evaluación de diferentes sistemas de producción en cultivos herbáceos de regadío. No obstante, la evaluación utilizará también resultados de las experiencias B1 y B6 para ratificar las conclusiones obtenidas.

Se persigue conocer el potencial de mejora del balance de emisiones de GEI con prácticas que mejoren la capacidad del suelo para almacenar carbono y que también reduzcan las emisiones de la actividad agraria, obteniendo en los balances de GEI de los cultivos capturas adicionales de C. Teniendo en cuenta los manejos habituales del suelo en el regadío de Navarra, se analizan tres sistemas de producción o prácticas de manejo, que incluyen técnicas de agricultura convencional y técnicas de agricultura de conservación:

- a) cultivos con baja intensidad de laboreo: cultivo forrajero con 3-4 años de permanencia.
- b) cultivos de intensidad media: un laboreo profundo al año, para maíz en el proyecto; y
- c) cultivos de intensidad alta: más de un laboreo profundo al año, en nuestro caso combinación de maíz y hortícolas, o de cultivos forrajeros;

En los tres sistemas se ha estimado el stock de C orgánico asociado, una tasa media anual de secuestro, y las emisiones de GEI.

Estudios previos en Navarra han mostrado que las prácticas de laboreo reducido en cultivos herbáceos aumentan las tasas de secuestro de C atmosférico en el suelo, aunque la variabilidad es elevada y el efecto muy dependiente del tipo de suelo, del cultivo y del clima. El incremento del stock (almacenamiento) de C orgánico en el suelo se debe a que reduce la mineralización de la materia orgánica por dotarla de mayor protección física en forma de agregados (los agregados se deshacen con el laboreo y se exponen a las precipitaciones cuando el suelo está desnudo), así como

por unas condiciones más frías y húmedas en la capa superficial del suelo. También logra reducir las pérdidas de C orgánico por erosión.

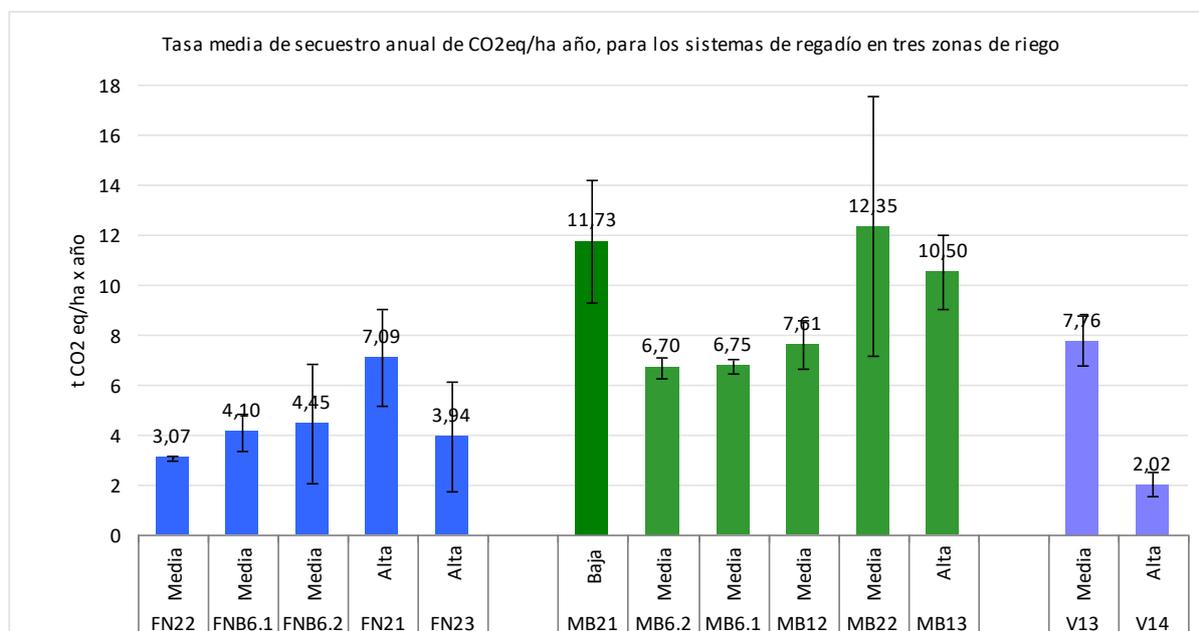
Podrían existir otros efectos sobre las emisiones de GEI. Una reducción del laboreo puede incrementar las emisiones de  $N_2O^{54}$  de forma ligera pero significativa, dado que una estructura más compacta y húmeda de la capa superficial genera condiciones de anoxia, que favorecen la desnitrificación. Por otro lado, el laboreo reducido conlleva un menor consumo de gasoil, pero puede suponer un mayor uso de herbicidas.

### 3.2.2. Resultados

#### A) Sobre el stock de carbono orgánico secuestrado en el suelo

El manejo del suelo puede aumentar el secuestro de carbono, aunque no se han observado diferencias claras entre los distintos sistemas (ver Figura 20 y Tabla 7). El manejo de baja intensidad ha obtenido un valor medio de secuestro anual de 11,73 t  $CO_2eq/ha$ , el de media valores entre 3,07 y 12,35; y las parcelas con intensidad alta, valores que oscilan entre 2,02 y 10,50 t  $CO_2eq/ha$ . Esto indica **cierta tendencia a que la tasa máxima se dé en el laboreo de baja intensidad y la mínima en los cultivos intensivos**. Esto se observa especialmente en el regadío de Valtierra, donde el manejo correspondiente a intensidad media se trata de un cultivo de maíz con laboreo reducido.

Figura 20. Valores medios de secuestro de  $CO_2eq/ha$  y año para distintos manejos en tres zonas de riego (las barras de error muestran la variabilidad)



<sup>54</sup> Se considera que el laboreo reducido no influye significativamente en otras emisiones de GEI.

Los valores obtenidos, incluso en los manejos de regadío más intensivos, son en general superiores a la bibliografía disponible de tasas de secuestro por implantación del no laboreo en secano<sup>55</sup> y en regadío.

Siguiendo el documento de aplicación del proyecto, en la evaluación se ha analizado la eficacia de dos indicadores de intensidad de cultivo para estimar de forma indirecta el SOC adicional presente en cada parcela: “intensidad de laboreo (definido como nº de labores/año)” e “intensidad de rotación (porcentaje de tiempo con suelo cubierto)”. Sin embargo ninguno de los indicadores resulta válido, dado que la correlación entre los valores medios de secuestro y estos indicadores es muy débil<sup>56</sup>.

Tabla 7. Resultados de secuestro de C orgánico en el suelo, emisión de GEI y balance de GEI de los sistemas de manejo

Parcela (UGC)	Manejo Regadío	Tasa media anual de secuestro (1) (*) (t CO <sub>2</sub> eq/ha*año)		Emisiones de GEI (t CO <sub>2</sub> eq/ha*año) (2)	Balace de GEI anual por hectárea (2) – (1)
<b>a) INTENSIDAD BAJA</b>		<b>11,73</b>		<b>0,83</b>	<b>-10,90</b>
MB21	Intensidad Baja	11,73	±2,47	0,83	-10,90
<b>b) INTENSIDAD MEDIA</b>		<b>3,07 a 12,35</b>		<b>4,22 a 6,91</b>	<b>+3,85 a -7,24</b>
FN22	Intensidad Media AO	3,07	±0,12	6,91	3,85
FNB6.1	Intensidad Media AO	4,10	±0,76	6,38	2,29
FNB6.2	Intensidad Media AM	4,45	±2,41	5,77	1,32
MB12	Intensidad Media AO	7,61	±0,99	4,50	-3,11
MB22	Intensidad Media AM	12,35	±5,20	5,12	-7,24
MB6.1	Intensidad Media AO	6,75	±0,30	5,18	-1,58
MB6.2	Intensidad Media AM	6,70	±0,42	4,22	-2,47
V13	Intensidad Media AM	7,76	±1,01	5,36	-2,40
<b>c) INTENSIDAD ALTA</b>		<b>2,02 a 10,50</b>		<b>4,59 a 8,02</b>	<b>+6,00 a -4,49</b>
FN21	Intensidad Alta	7,09	±1,94	7,44	0,35
FN23	Intensidad Alta	3,94	±2,17	4,59	0,65
MB13	Intensidad Alta	10,50	±1,47	6,01	-4,49
V14	Intensidad Alta	2,02	±0,50	8,02	6,00

(\*) Valor promedio y tasa de error

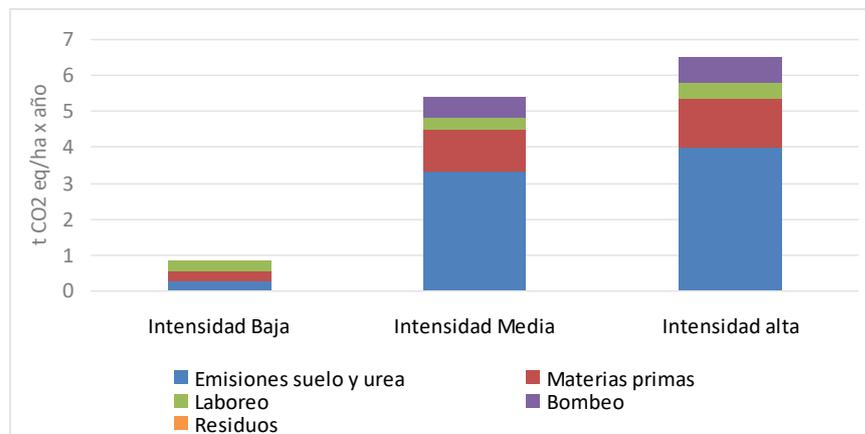
<sup>55</sup> El no laboreo frente a laboreo tradicional, supone en secano en España un aumento medio de de 0,59-1,47 tCO<sub>2</sub>eq/año cuando el no laboreo tiene una antigüedad superior a 10 años, y un valor medio de 3,11 para antigüedad inferior (González-Sánchez et al. (2012) Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture). Si se consideran experiencias previas en Navarra, el valor adicional es de 2,05-3,12 tCO<sub>2</sub>eq/año (para Olite, regadío de 12 años y Santacara, regadío de 7 años respectivamente).

<sup>56</sup> La curva de regresión realizada entre los resultados de Incremento de SOC/ha (respecto a parcela de referencia) para el indicador “intensidad de laboreo” muestra una R<sup>2</sup>=0,079 y para el de “intensidad de la rotación” una R<sup>2</sup>= 0,019, es decir en ambos casos, los indicadores explicarían menos del 10% de los valores del SOC adicional de cada parcela debido al sistema de cultivo.

## B) Sobre la emisión de GEI de los sistemas de cultivo

La emisión de GEI en regadíos **de intensidad baja es muy inferior a la de los otros sistemas** (0,83 t CO<sub>2</sub>eq/ha frente a 5,43 y 6,52 para el regadío de intensidad media y alta respectivamente), mientras que las parcelas con sistemas de intensidad media y alta no presentan emisiones significativamente diferentes. En la variabilidad entre parcelas influyen otros aspectos no relacionados con la intensidad del laboreo, especialmente el tipo y dosis de fertilización, de fitosanitarios y el bombeo para riego.

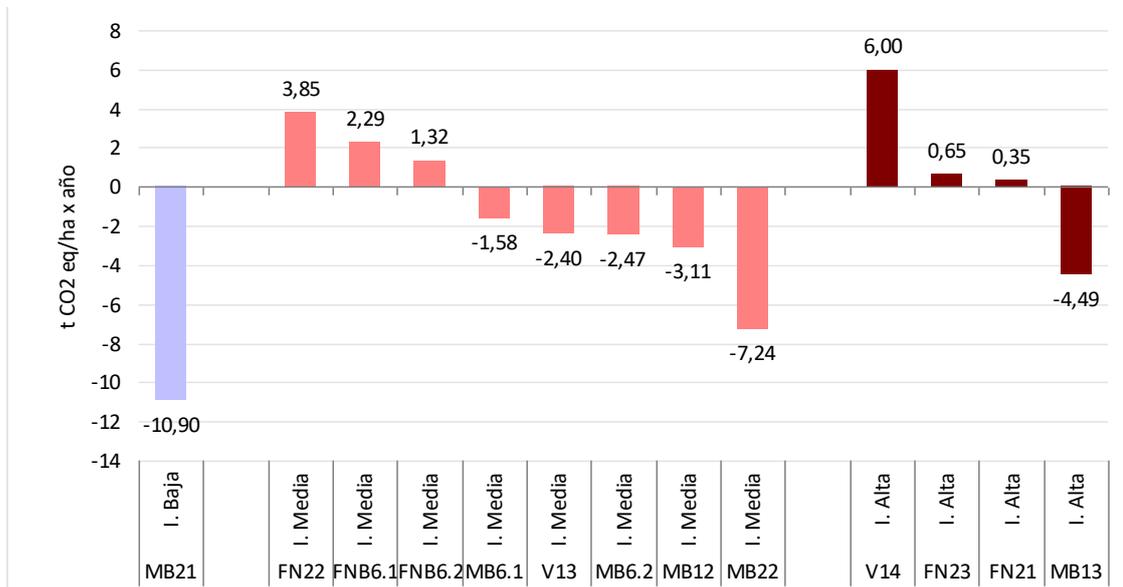
Figura 21. Distribución por fuentes de las emisiones de GEI/hectárea para los manejos de cultivos analizados (valores promedios de cada manejo)



## C) Sobre el balance de GEI (captado/emitado)

El resultado global del balance entre secuestro y emisiones de GEI subraya el carácter “mitigador” del laboreo de intensidad baja (mitigación de 10,90 t CO<sub>2</sub> eq/ha año), debido tanto a un secuestro elevado como a un nivel bajo de emisiones de GEI en la producción (ver Figura 22). Sin embargo, los sistemas de intensidad media y de intensidad alta, obtienen balances tanto “emisores” como “mitigadores”. En los primeros, las tasas medias de secuestro no compensan el nivel de emisión de GEI.

Figura 22. Balance de Emisiones GEI de cada UGC en función de la intensidad del regadío (emisión de GEI en la producción menos tasas anuales de secuestro de C orgánico en el suelo)



Los balances unitarios permiten estimar la variación del CO<sub>2</sub> atmosférico derivado de la adopción de las prácticas a nivel de cada zona de riego (ver Tabla 8). **El cambio a un manejo con laboreo de intensidad baja tiene siempre un efecto mitigador, mientras que el sustituir manejos de intensidad alta por media tiene efectos variables**, los resultados tanto mitigadores como emisores indican la necesidad de controlar otros factores de manejo distintos del laboreo.

Tabla 8. Valoración del efecto sobre el CC del cambio de manejo de suelo (valor mínimo y máximo)

Zona de Regadío	Variación en el balance que supone el cambio de manejo (t CO <sub>2</sub> eq/ha/año)		
	De Intensidad media a Intensidad baja	De Intensidad alta a intensidad baja	De Intensidad alta a intensidad media
Miranda de Arga	Mitigación de 7,78 a 3,66	Mitigación de 6,41	Mitigación de 2,75 a emisión de 1,38
Funes	(1)	(1)	Mitigación de 2,16 a emisión de 3,20
Valtierra	(1)	(1)	Mitigación de 8,40
Total Regadiox	Mitigación de 3,66 a Mitigación de 7,78	Mitigación de 6,41	Mitigación de 8,40 a emisión de 3,20

(1) No se dispone de información sobre el regadío de intensidad baja en estas zonas de riego.

### 3.3. Prácticas en cultivos permanentes de regadío con uso de cubiertas vegetales encaminadas a mejorar la fijación de C y el balance de emisiones

#### 3.3.1. Objetivos y metodología específica

La acción B3 tiene como objetivo **cuantificar el efecto del uso de cubiertas vegetales en cultivos leñosos de regadío, sobre el stock de C orgánico y el balance de emisiones en parcelas**. La implantación de cubiertas verdes en regadío<sup>57</sup> incrementa las entradas de C orgánico en el suelo al aumentar la materia orgánica aportada con los residuos y raíces de las cubiertas. Asimismo también pueden modificar las emisiones de GEI durante la fase productiva: por un lado, las cubiertas comportan una mayor fijación de nitrógeno en el suelo que puede reducir las emisiones de N<sub>2</sub>O<sup>58</sup>, por otro, el manejo exige prácticas mecánicas para su control (cortes o pase de picadora) frente a otros laboreos del suelo desnudo (subsulado), que afectan a las emisiones directas por laboreo.

El proyecto se ha centrado en los cultivos permanentes en regadío más representativos en la zona, el olivo y la viña. En cada uno, la implantación de cubiertas se orienta hacia objetivos específicos, que requieren una gestión distinta del riego (dosis, y periodos de riego) y del manejo del suelo, lo que genera variabilidad en la cubierta. Hay que señalar que las cubiertas en el regadío tienen diversos objetivos agronómicos<sup>59</sup>.

La experiencia B3 ha seleccionado para las dos zonas agroclimáticas principales del regadío navarro, parcelas en regadíos de diferente antigüedad con viña y olivo que mantienen el sistema de cubierta al menos durante la duración del Proyecto (ver Cuadro 6). La comparación de stock de C adicional que supone la cubierta se calcula en relación a la situación sin cubierta (suelo desnudo) de parcelas con suelo de características similares<sup>60</sup>.

---

<sup>57</sup> Estas prácticas también se utilizan en algunas zonas de secano, aunque con manejos adecuados para evitar la competencia por el agua entre la cubierta y el cultivo. No obstante, en el proyecto nos limitamos al estudio de cubiertas en regadío.

<sup>58</sup> En las experiencias que se analizan la fertilización no se modifica con las cubiertas. Podría darse el caso de una mayor emisión de N<sub>2</sub>O en manejos de cubiertas que requieren una mayor aplicación de fertilizantes.

<sup>59</sup> Entre los más destacables, facilita las operaciones de cultivo con suelo húmedo, aumenta la biodiversidad del suelo y del agrosistema (especialmente valorado en producciones ecológicas e integradas), y en la viña se utiliza para controlar el desarrollo del propio cultivo.

<sup>60</sup> La comparación se realiza entre Unidades de Gestión de Cultivo

Cuadro 6. Parcelas de las acciones B3 Uso de cubiertas vegetales encaminadas a mejorar la fijación de C y el balance de emisiones

Zona Agroclimática		Estepario templado		Mediterráneo templado	
Antigüedad de la cubierta		15 años	8 años	6 años	2 años
Zona de regadío		Fontellas/Ribaforada	Cascante	Miranda de Arga	Olite
MANEJOS		IDENTIFICACIÓN DE LAS PARCELAS SELECCIONADAS (parcela + cultivos en año ER)			
Olivo	Sin cubierta	F33	--	M11 Cereal secoano <sup>61</sup>	--
	Con cubierta	F31	--	MB31	--
Vid	Sin cubierta	--	C31	--	O32
	Con cubierta	--	C32	--	O31

### 3.3.2. Resultados

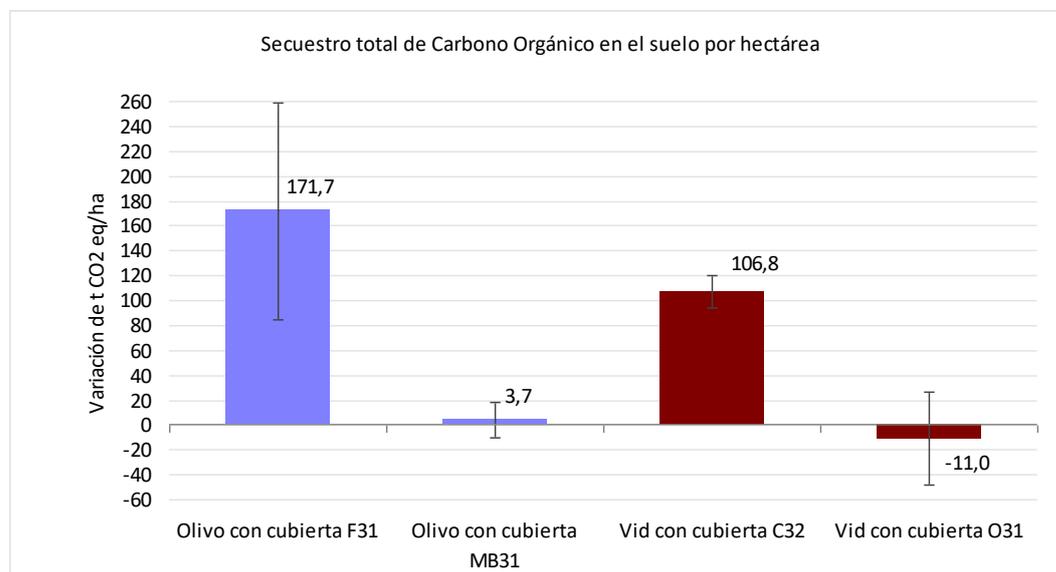
#### A) Sobre el stock de carbono orgánico secuestrado en el suelo

La implantación de cubiertas favorece el almacenamiento de C en el suelo, cuando las cubiertas se mantienen en el tiempo, es decir en los regadíos más antiguos (ver Figura 23). En olivo, el stock adicional acumulado es de 171,7 tCO<sub>2</sub>eq/ha tras una permanencia de 15 años, y en viña, de 106,8 en un regadío de 12 años, un nivel similar al de otros estudios de olivar para España. Sin embargo, en regadíos recientes no se observan incrementos de secuestro significativos (ver Figura 23 parcelas MB31 y O31, con implantación de 6 y 2 años respectivamente).

Se señala que en la experiencia de Olite (cubierta de 2 años), aunque el valor del secuestro sea negativo, éste no es significativamente distinto de cero. En este sentido hay que considerar que el sistema de riego empleado en los cultivos leñosos (localizado), determina en estas zonas agroclimáticas un potencial bajo de producción de biomasa en la cubierta. Aun así, a medio plazo, la ausencia de labores y la incorporación de restos vegetales en las zonas con cubierta implican en general aumentos significativos del stock de C orgánico.

<sup>61</sup> El olivo con cubierta se compara con cereal de secoano por no disponer de una parcela sin cubierta en la misma UGC. No obstante, esta comparación nos plantea dudas por lo diferente de los sistemas y la distancia entre parcelas aunque estén en unidades taxonómicas similares.

Figura 23. Secuestro total de carbono (SOC) por hectárea de las cubiertas, tomando como testigo el stock de Carbono en cultivos sin cubierta. Las barras de error indican la variabilidad dentro de las parcelas.

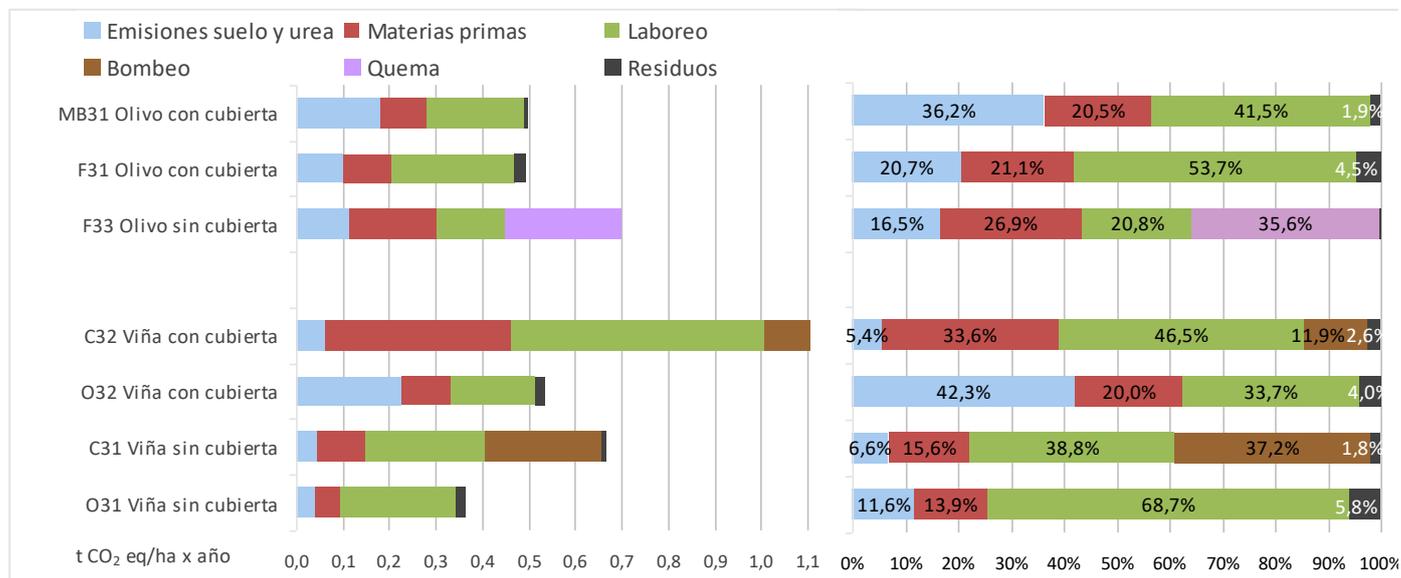


## B) Sobre la emisión de GEI de los sistemas de cultivo

En conjunto, las emisiones medias anuales de GEI por superficie derivadas del proceso de producción **en las parcelas con cubierta superan un 15%** a las de sin cubierta (emisión media de 0,68 t CO<sub>2</sub>e/ha año con cubierta y de 0,58 sin ésta). No obstante, el nivel de emisiones es similar y está muy relacionado con otras variables de manejo (necesidad de bombeo, quema de residuos de poda).

En las parcelas de viña, las cubiertas han supuesto un 66% más de emisiones medias (un incremento de 0,34 t CO<sub>2</sub>e/ha año ha), mientras que por el contrario, las parcelas de olivo con cubierta generan un 29% menos de emisiones de GEI (el nivel de emisiones desciende 0,2 t CO<sub>2</sub>e/ha año ha). La Figura siguiente muestra la variabilidad entre parcelas analizadas y las fuentes de emisiones.

Figura 24. Distribución por fuentes de las emisiones de GEI/hectárea para los manejos con y sin cubierta. A la derecha, peso porcentual de cada fuente.



En el olivo la emisión menor de GEI en la parcela con cubierta se debe a al picado los residuos de poda, frente a la quema en la parcela sin cubierta (la quema supone el 36% de las emisiones). Si no se consideran estas fuentes, ambos manejos obtienen emisiones parecidas. Esto indica el interés de promover manejos vinculados al tratamiento de los residuos para reducir las emisiones.

En la experiencia de vid de Olite, en la que los manejos comparados difieren únicamente en el factor cubierta, se ha obtenido **un incremento del 47% de emisiones de GEI por uso de cubierta, aunque supone sólo una emisión de 0,17 t CO<sub>2</sub>eq/ha y año superior** (Ver tabla siguiente). El aumento se debe principalmente a las emisiones del suelo, dado que la cubierta maneja una mayor cantidad de nitrógeno aportado por los residuos. Por el contrario las emisiones por laboreo asociadas a la cubierta son ligeramente inferiores.

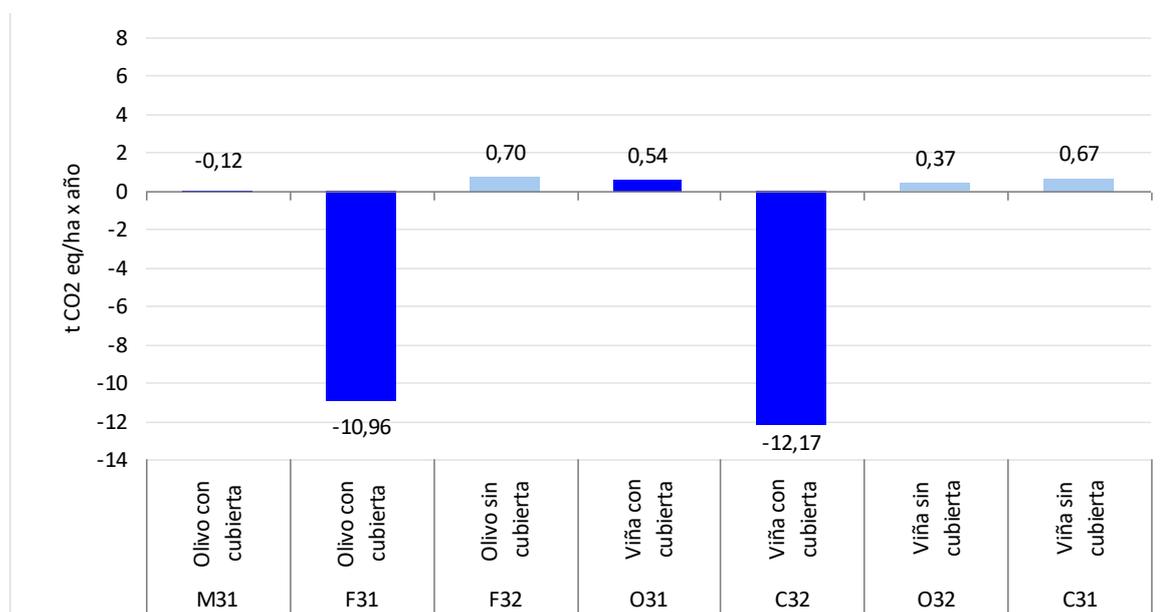
Tabla 9. Distribución en viña con y sin cubierta, de las emisiones de GEI por fuentes. Regadío de Olite

Manejos	Fuentes de Emisión de GEI (t CO <sub>2</sub> eq/ha año)				
	Suelo y abonado	Materias primas	Laboreo	Residuos	Total
O31 Viña sin cubierta	0,04	0,05	0,25	0,02	0,37
O32 Viña con cubierta	0,23	0,11	0,18	0,02	0,54
Diferencia con - sin	0,18	0,06	-0,07	0,00	0,17

### C) Sobre el balance de GEI (captado/emitado)

El balance de las emisiones GEI y del valor medio anual de secuestro de C orgánico en el suelo, muestra que **las cubiertas vegetales en cultivos permanentes comportan efectos positivos sobre la mitigación del cambio climático a medio y largo plazo** (ver Figura 25).

Figura 25. Balance de Emisiones GEI en función del uso de cubiertas en cultivos leñosos de regadío (emisión de GEI en la producción menos tasas anuales de secuestro de C orgánico en el suelo)



- En olivo, al contrario que en la situación sin cubierta, las parcelas con cubiertas han obtenido balances “mitigadores”, con un secuestro de 0,12 a 10,96 t CO2e/ha año, en función de la antigüedad de la cubierta. El resultado refleja el secuestro adicional de C orgánico en el suelo y un menor nivel de emisiones GEI.
- En la viña el balance en parcelas con cubiertas que se mantienen en el tiempo, es también un balance mitigador de CO2 (secuestro de 12,17 t CO2e/ha año). El secuestro del suelo compensa sobradamente las emisiones generadas en el proceso productivo, sólo ligeramente superiores respecto a la situación sin cubierta. Sin embargo los efectos no se observan a corto plazo.

El cambio de manejo, es decir la implantación de las cubiertas), significa a largo plazo el evitar la emisión de más de 11,6 t de CO2 eq/ha y año si se considera tanto el balance mitigador de las cubiertas como las emisiones anuales que evitamos del cultivo sin cubierta (ver Tabla 10).

Tabla 10. Balance del cambio de manejo a uso de cubierta vegetal en cultivos leñosos de regadío

	Antigüedad de la cubierta	OLIVO (t CO <sub>2</sub> eq/ha)	VID (t CO <sub>2</sub> eq/ha)
Diferencia de los balances de GEI a nivel de parcela: CON cubierta - SIN cubierta	Consolidada (1)	-11,66	-12,84
	Reciente (2)	-0,82	0,17

(1) 15 años en olivo y 12 en viña

(2) 6 años en olivo y 2 en viña

### 3.4. Sustitución de una parte de la fertilización mineral con fertilizantes orgánicos.

#### 3.4.1. Objetivos y metodología específica

La evaluación valora los impactos de la experiencia *B4 Eficiencia del uso del nitrógeno en fertilizantes orgánicos frente a fertilizantes inorgánicos*, cuyo objetivo es cuantificar la reducción de emisiones de GEI con la sustitución de fertilizantes orgánicos por inorgánicos en cultivos herbáceos de regadío. También se analiza la Acción *B6 Experiencias piloto a gran escala implantadas en parcelas agrícolas profesionales*, que ha aplicado los resultados de la Acción B4, y asimismo se considera información de las acciones B1 y B2, que aunque se dirigen a otros objetivos, disponen de datos que completan las conclusiones.

En la Acción B4, el potencial de reducción se asocia a las emisiones indirectas generadas por la fabricación de los abonos<sup>62</sup>. Se asume que la obtención de fertilizantes orgánicos no emite GEI, dado que provienen de residuos, si bien en ocasiones es necesario realizar tratamientos previos<sup>63</sup> que el proyecto no tiene en cuenta. Por el contrario, la aplicación de los residuos y los procesos posteriores que tienen lugar en el suelo, podrían generar un incremento considerable de las emisiones.

Una parte del nitrógeno del fertilizante orgánico se pierde tras su aplicación por volatilización y lixiviación, mientras que la parte presente como nitrógeno orgánico no está disponible para el cultivo. Por ello, para calcular la dosis de fertilizante inorgánico que se puede sustituir por otro orgánico en el abonado de fondo, es necesario **determinar la eficiencia en el uso del nitrógeno del fertilizante orgánico**, es decir el porcentaje que los cultivos aprovechan realmente. La Acción B4 ha analizado en parcelas piloto con cultivo de maíz, la eficiencia del nitrógeno aportado por los residuos orgánicos durante el año de aportación, y tras el segundo año. Para ello se ha estudiado el efecto sobre la producción de maíz de **5 fertilizantes orgánicos de composición conocida y de un testigo sin abono orgánico (AO)**. El informe Final de la Acción B4 detalla la metodología empleada (diseño del ensayo).

<sup>62</sup> El proceso de obtención del amonio, base de los fertilizantes minerales nitrogenados, requiere temperaturas y presiones elevadas, de forma que para generar 1 tonelada de urea se emiten 1,04 toneladas de CO<sub>2</sub>.

<sup>63</sup> En el caso de algunos fertilizantes orgánicos se hace algún tratamiento térmico (el digestato de vacuno) para esterilizarlos y que habría que contabilizar.

La eficiencia de cada fertilizante orgánico se calcula mediante el valor de sustitución del fertilizante nitrogenado mineral, o coeficiente de equivalencia con la urea del nitrógeno del abono orgánico. Los ensayos permiten obtener para la parcela testigo sin AO, la ecuación que relaciona el rendimiento del maíz y las unidades fertilizantes de nitrógeno.

En cada AO el coeficiente es el porcentaje entre las unidades fertilizantes de nitrógeno (UFN) necesarias para la producción de maíz obtenida sin la aportación de nitrógeno mineral y las UFN de abono realmente aplicadas. Para ello el dato de producción de maíz obtenida sin la aportación de nitrógeno mineral se introduce en la ecuación de la parcela testigo (que relaciona el rendimiento y la dosis de nitrógeno mineral aportado). El valor de dosis de nitrógeno mineral calculado de esta manera en la ecuación se compara con las unidades fertilizantes de nitrógeno realmente aportadas con el AO, obteniendo el coeficiente de equivalencia del nitrógeno<sup>64</sup>.

**Para valorar las emisiones de GEI asociadas a la sustitución** de abono inorgánico por orgánico, la segunda parte de la Acción B4 puso en práctica un plan de abonado en 10 parcelas considerando el coeficiente de equivalencia en un purín de porcino. El análisis del contenido en nitrógeno del purín y el registro de datos de la aplicación en las parcelas, permitió establecer el plan de abonado para satisfacer las necesidades del cultivo con las aportaciones del abono orgánico como fondo (antes de la siembra) complementadas con la aplicación de dosis adecuadas de urea en cobertera. **Para valorar las emisiones de GEI en una situación de referencia** en la que todo el nitrógeno se aporta con fertilizante mineral (en fondo y en cobertera), en cada parcela se ha realizado una simulación testigo de abonado.

La Acción B6 ha analizado en cultivos de maíz la aplicación de un fertilizante orgánico (digestato de vacuno) en relación a parcelas testigo con el mismo tipo de suelo<sup>65</sup> y abono exclusivamente mineral. El tratamiento se ha realizado en las zonas de regadío de Funes y Miranda de Arga, de 13 y 6 años de antigüedad respectivamente, ambas localizadas en la misma zona agroclimática (tipo mediterráneo templado).

### 3.4.2. Resultados

#### A) Sobre el stock de carbono orgánico secuestrado en el suelo

La Acción B1 incluye en la zona de Valtierra, dos parcelas comparables en secano en las que puede valorarse el secuestro de carbono orgánico con y sin fertilización orgánica (parcela con un manejo tradicional con abono inorgánico y parcela en la que se ha aplicado estiércol de ovino durante 18 años). Los resultados muestran **un nivel de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo mayor cuando se aplica abono orgánico de forma continuada**. El incremento obtenido en la parcela con

---

<sup>64</sup> Como ejemplo, el digerido líquido de vacuno dio un rendimiento  $y=7144$  kg/ha de maíz en ausencia de abono mineral. Ese valor se introduce en la ecuación  $y = -0,02x^2 + 40,916x + 3845$  (calculada con datos del ensayo testigo) obteniendo que para ese rendimiento hacen falta una  $x=84$  UFN aportadas con nitrógeno mineral. La dosis de digerido líquido de vacuno realmente aplicada fue de 178 UFN, por lo que el coeficiente de equivalencia expresado en porcentaje es 47% ( $84 \cdot 100 / 178$ ). Esto significa que con la aplicación de esa cantidad de nitrógeno con el digerido líquido de vacuno podemos dejar de aplicar el 48 % de fertilizante nitrogenado mineral, para conseguir el mismo rendimiento.

<sup>65</sup> En cada Unidad de Gestión de Cultivo se analizó el stock de carbono antes del abonado de fondo (abril) y tras la cosecha (diciembre).

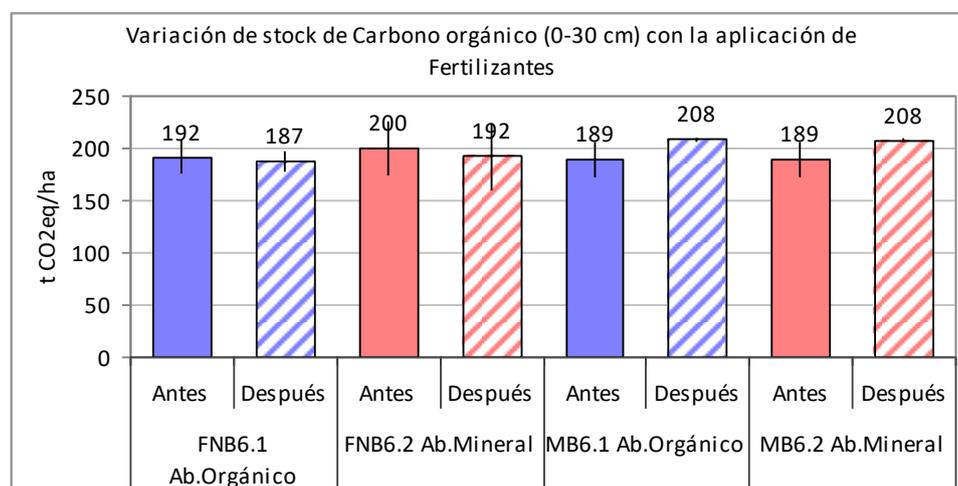
enmiendas orgánicas es de 63,03 (51,78-74,28) tCO<sub>2</sub>eq/ha, **un 30,0% por encima del manejo tradicional**. Esto supone una tasa media anual de secuestro adicional de +3,5 (±1,1 t CO<sub>2</sub>eq/ha y año), un valor relevante teniendo en cuenta el bajo nivel de materia orgánica del suelo en la situación de secano sin enmienda.

No obstante, este resultado positivo no tiene en cuenta la cantidad de C aplicada para el aumento, de manera que el balance se modifica si se considera que una parte de las toneladas aplicadas se almacena, pero el resto se emiten como CO<sub>2</sub> por mineralización.

En la Acción B6, las parcelas con fertilizante orgánico y las testigo con abono mineral **no muestran diferencias significativas en su nivel de stock de carbono** (ver Figura 26). En la zona de Miranda de Arga, la fertilización produce incrementos en el stock de carbono del suelo, pero el aumento en la parcela con abono orgánico es igual al de la parcela con fertilizante mineral (19,2 y 18,8 t CO<sub>2</sub>eq/ha respectivamente). En la zona de Funes, tras el cultivo se ha reducido el nivel de carbono tanto en la parcela con abono orgánico, como en la testigo (-4,6 y -7,5 t CO<sub>2</sub>eq/ha respectivamente). Hay que señalar que en ambas la variabilidad dentro de la parcela es elevada.

En consecuencia, el diseño de las experiencias a partir de **un año de cultivo, no es suficiente para permitir observar si la fertilización orgánica conlleva variaciones** significativas del secuestro de carbono.

Figura 26. Comparativa del Stock de materia orgánica (t CO<sub>2</sub>eq/ha) con la aplicación de fertilizantes orgánicos y minerales. Las barras indican el error estándar.



## B) Sobre la emisión de GEI de la práctica de cultivo

Los coeficientes de equivalencia del nitrógeno aportado por los cinco tipos de fertilizantes orgánicos analizados en relación a la urea **oscilan entre el 26 y el 47%**, con un valor medio del 35%. Esto significa que **con las dosis aplicadas de abono en fresco** (que en la experiencia son los valores máximos permitidos), **se puede dejar de aplicar un porcentaje de unidades fertilizantes de**

**nitrógeno con abono mineral igual al coeficiente** para obtener el mismo rendimiento del cultivo. La tabla siguiente presenta los coeficientes obtenidos de la combinación de los resultados de las dos campañas que se ha realizado el ensayo.

Las **dosis de todos los abonos orgánicos aplicadas** (equivalentes a 250 UFN) **cubren las necesidades de fósforo del cultivo, y la mayoría de fertilizantes orgánicos también las de potasio** (no se cubren con el lodo EDAR y la fracción líquida de digerido de vacuno). No obstante, los suelos de Navarra presentan niveles altos de potasa y en general no es necesario aplicarla.

Tabla 11. Coeficientes de equivalencia del N total de los abonos orgánicos respecto a la urea (46% UFN).

Tipo abono orgánico	Coeficiente de equivalencia del Nitrógeno del abono orgánico (%)		Valores en la bibliografía
	Año tras el aporte(1)	2 años tras el aporte	
Purín de porcino	38-43	--	Entre el 50-60%
Estiércol de pollo	29	--	Entre el 50-60%
Fracción sólida de digerido vacuno	33	15	30%
Fracción líquida de digerido vacuno	31-47	--	30-40%
Lodo EDAR F2	26	7	30%
Media	31,4%	14,5	

(1) Los ensayos se hicieron en 2014 y en 2015. La columna contiene 2 valores si los resultados anuales han sido diferentes. En los abonos sólidos se ha analizado también el segundo año tras el aporte.

La aplicación de un plan de abonado en parcelas de agricultores profesionales considerando el coeficiente de equivalencia de un purín de porcino, ha mostrado que **las emisiones de GEI asociadas al manejo del cultivo de maíz con aplicación de fertilizante orgánico son ligeramente superiores (+2,1%)** a las emisiones asociadas a un manejo con fertilizante inorgánico (urea) exclusivamente. La diferencia ha sido de 92 kg CO<sub>2</sub>eq/ha (ver Tabla 12).

Tabla 12. Emisiones medias de GEI por hectárea en maíz, comparación de una fertilización con abono orgánico (purín de porcino) con otra mineral. Promedio de 10 parcelas.

Tipo de emisiones	EMISIONES (kg CO <sub>2</sub> equivalente/ha)		
	N aplicado con Abono Orgánico (fondo) y mineral (cobertera) (1)	N aplicado con abono mineral (2)	Diferencia (1)-(2)
Directas de N <sub>2</sub> O (inorgánico)	874	1.398	-524
Directas de N <sub>2</sub> O (orgánico)	1.062	0	1062
Directas residuos agrícolas	411	411	0
Indirectas (inorgánico+orgánico)	828	547	281
Aplicación urea al suelo (CO <sub>2</sub> )	298	403	-105
Fabricación-transporte urea	678	920	-242
Fabricación-transporte otras mppp	46	471	-425
Laboreo (*)	297	253	44
Residuos	1	1	0
Total	4.497	4.405	92

(\*) Incluye aplicación y desplazamiento del purín desde el punto de aprovisionamiento

El mayor nivel se debe a que el cálculo de emisiones de GEI contabiliza todo el nitrógeno aplicado, sea en forma orgánica o inorgánica, se utilice o no por el cultivo. En la experiencia B4 las parcelas con purín han recibido un 38% más de UF de N totales (113 UFN, ver Tabla 13), una parte de las cuales no son eficientes para el cultivo. Esto incrementa considerablemente las emisiones de GEI, dado el elevado peso de las emisiones de suelo sobre las emisiones totales (61% en las parcelas con enmiendas orgánicas y 44% en las testigo).

La aplicación de purín ha evitado la emisión de 667 kg de CO<sub>2</sub>eq/ha asociadas a la fabricación de abono mineral que se deja de aplicar al ser sustituido. Sin embargo esta cantidad no ha sido suficiente para compensar las emisiones superiores de N en el suelo.

Tabla 13. Dosis de fertilizantes aplicadas para unas necesidades de UF de N del maíz de 300 UF N por hectárea, con un coeficiente de eficiencia del purín del 50%.

Fertilizante aplicado	Kg de Unidades Fertilizantes de Nitrógeno por hectárea		
	Parcelas con Abono Orgánico (fondo) y mineral (cobertera) (1)	Parcelas con la simulación de abono mineral (2)	Diferencia (1)-(2)
Total Purín de porcino (fondo)	227	0	227
Total Abono mineral	186	300	-114
Fertilizante 9-23-30 (fondo)	0	50	-50
Urea (46%) (cobertera)	186	250	-64
Total	413	300	113

El consumo total de gasoil, incluyendo laboreo, transporte y aplicación de fertilizantes, ha resultado también algo mayor en las parcelas con purín y laboreo, pero la diferencia es baja (44 kg de CO<sub>2</sub>eq/ha), inferior al 1% de las emisiones totales en las experiencias con abono orgánico. Hay que señalar que el análisis no contabiliza las emisiones por desplazamiento desde el punto de fabricación de los fertilizantes inorgánicos y el punto de aprovisionamiento del agricultor (cooperativa). Es probable que dichas emisiones superaran entonces las diferencias totales entre ambos manejos<sup>66</sup>.

Los resultados de las acciones B6 y B1-B2, ratifican el mayor nivel de emisiones de GEI del cultivo de maíz con manejo de fertilización orgánica, aunque el incremento en estas experiencias es más pronunciado<sup>67</sup>. En la experiencia a gran escala, el manejo con abonos orgánicos en maíz incrementa un 19% el nivel de emisiones totales de GEI por hectárea<sup>68</sup>, lo que significa una emisión adicional de

<sup>66</sup> La diferencia entre manejos, 92 t CO<sub>2</sub> eq/ha equivale a la emisión de GEI por consumo de 34 litros de gasoil.

<sup>67</sup> Se atribuye a que en las acciones B6, B1 y B2, cada agricultor ha seguido el plan de fertilización que usa habitualmente para el manejo con o sin abono orgánico, mientras que la acción B4 ha elaborado un plan de fertilización con el objetivo de lograr 300 UFN/ha y ha mantenido constantes el resto de factores del cultivo.

<sup>68</sup> Diferencia entre el promedio de 5 parcelas de maíz con fertilizantes orgánicos en fondo y mineral en cobertera (parcelas MB12, FN21, FN22, FB6.1 y MB6.1) y el promedio de 4 parcelas de maíz con fertilizantes minerales únicamente (V13, MB22, FB6.2, MB6.2)

963 kg CO<sub>2</sub>eq/ha. En las experiencias piloto B6 el aumento oscila entre el 11% para Funes (+611 kg CO<sub>2</sub>eq/ha) y el 23% para Miranda (953 kg CO<sub>2</sub>eq/ha).

La Figura 27 y la Tabla 14 muestran la importancia de las distintas fuentes de emisión de GEI para cada manejo. Los factores “emisiones del suelo y urea” y “materias primas” son los que principalmente varían con el manejo. Si tomamos los valores medios, el nivel de emisiones producido por el suelo y la urea se incrementa un 42% (1,19 t CO<sub>2</sub>eq/ha) con el abono orgánico, mientras que las emisiones por materias primas se reducen un 27% (-0,37 t CO<sub>2</sub>eq/ha).

Figura 27. Distribución por fuentes de las emisiones de GEI/hectárea para los manejos con abonado orgánico (AO) y con fertilización únicamente mineral (AM)

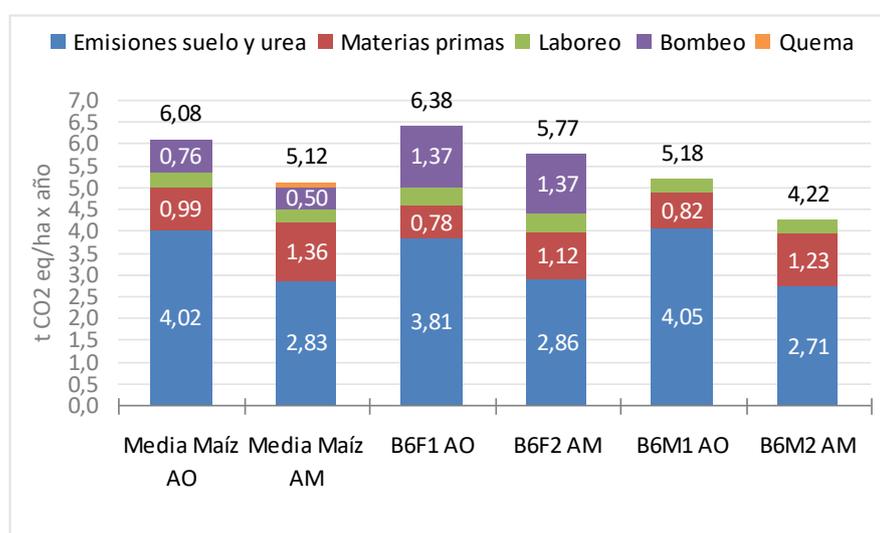


Tabla 14. Resultados de la Acción B6 sobre las emisiones de GEI por manejo con fertilización orgánica en relación a la fertilización exclusivamente mineral

Manejo	UF de Nitrógeno/ha		Emisiones de GEI (t CO <sub>2</sub> eq/ha*año)				
	Total	Eficientes	Suelo y urea	Materias primas	Laboreo	Bombeo	Totales
FN Abono orgánico (AO)	466,4	334,4	3,81	0,78	0,42	1,37	6,38
FN Abono Mineral (AM)	317,9	317,9	2,86	1,12	0,42	1,37	5,77
Dif. AO-AM	148,5	16,5	0,95	-0,34	0,00	0,00	0,61
% Var.sobre AM	47%	5%	33%	-30%	0%	0%	11%
Miranda Abono orgánico (AO)	475,6	335,68	4,05	0,82	0,31	0,00	5,18
Miranda Abono Mineral (AM)	280,5	280,5	2,71	1,23	0,28	0,00	4,22
Dif. AO-AM	195,1	55,18	1,34	-0,41	0,03	0,00	0,95
% Var.sobre AM	70%	20%	49%	-34%	11%	0%	23%

### C) Sobre el balance de GEI (captado/emitado)

El apartado A) concluye que a corto plazo (1 año), el abonado orgánico no muestra efectos significativos sobre un mayor stock de carbono orgánico en el suelo (experiencia B6). Sin embargo, la aportación continuada en el tiempo ha permitido observar en un manejo de secano un incremento significativo del C almacenado, equivalente a un valor medio anual de secuestro de +3,5 t CO<sub>2</sub>eq/ha.

El apartado B) recoge para la experiencia B6 unas emisiones de GEI en manejos de fertilización orgánica superiores en 0,61-0,95 t CO<sub>2</sub>eq/ha año, aunque si se aplica un plan de fertilización adecuado (Acción B4), las diferencias pueden reducirse a 0,092 t CO<sub>2</sub>eq/ha año.

El balance, con una perspectiva de medio y largo plazo podría considerar que el manejo con fertilización orgánica produce un secuestro adicional de carbono orgánico en el suelo, aunque también debería cuantificar el C que se emite por mineralización del fertilizante orgánico aportado para el conjunto de años de la práctica. Por ello **los análisis realizados no permiten concluir si el manejo genera o no un balance “mitigador” de CO<sub>2</sub> atmosférico.**

## 3.5. Diseño y manejo de sistemas de riego teniendo en cuenta la variable de emisión de GEI.

### 3.5.1. Objetivos y metodología específica

Con la finalidad de reducir o evitar la necesidad de bombeo (y del consumo energético asociado), la Acción B5 **ha analizado alternativas de diseño** de riego a presión con aspersión<sup>69</sup> considerando que deben lograrse asimismo parámetros adecuados de eficiencia en el uso del agua (uniformidad y calidad del riego). El **objetivo es** cuantificar para las alternativas analizadas (variantes de diseño, de implantación y de explotación), el potencial de reducción de GEI en relación al gasto energético (a los requerimientos de presión) y a la huella de carbono de las infraestructuras en la fase de parcela y de distribución.

La experiencia se organiza en tres ámbitos:

A1) **Parcela**, que analiza diseños de equipamiento que reduzcan la presión de funcionamiento en las instalaciones manteniendo la eficiencia en el uso del agua. Se estudian las siguientes alternativas.

1a) La sustitución del marco de riego actual más frecuente 18x15T en los nuevos regadíos por aspersión de Navarra, por un marco 12x15T que cumple la condición preferente de mantener la distancia entre calles.

---

<sup>69</sup> El sistema de riego por goteo es el que demanda menor presión de consigna (los goteros requieren una presión de alimentación de 10-15 m.c.a. para un correcto reparto del agua, frente al doble o triple de los aspersores convencionales), además de contar con la ventaja de no ser afectados por el viento. Sin embargo, el goteo presenta inconvenientes en cultivos herbáceos extensivos: los ramales emisores tienen una menor vida útil (unos 10 años en caso de estar enterrado), implicando un coste de reposición, los laboreos se limitan a una profundidad máxima de 30 cm, hay mayor riesgo de obstrucciones y puede generar problemas en la nascencia del cultivo. También la falta de tradición provoca resistencia por parte de los agricultores a adoptar este sistema.

1b) Uso de diferentes cabezeras<sup>70</sup> en las instalaciones de riego.

1c) La utilización de materiales y conexiones con pérdidas de carga reducidas, para valorar la necesidad energética y la huella de carbono en función de los materiales empleados.

1d) Ensayo de collarines<sup>71</sup> de toma desde tuberías secundarias para cuantificar la influencia del caudal y de la presión sobre la pérdida de carga.

A2) **Red Colectiva de Riego**, que analiza la influencia del diseño considerado en el ámbito parcela sobre el diseño de la red colectiva, debida a los menores requerimientos de presión y a los cambios en el funcionamiento. El proyecto estudia con un programa de simulación, la huella de carbono (emisiones GEI) del material necesario para: una consigna de presión de 54 metros en todos los hidrantes (situación actual), para una presión de 49 metros exclusivamente en los hidrantes desfavorables de la red y para una presión de 49 metros en todos los hidrantes.

A3) **Ámbito global**, que integra los resultados de parcela y red colectiva para determinar el diseño global más eficiente en función de la Huella de Carbono del conjunto y del gasto energético.

Una vez definidos los diseños, el proyecto **compara la Huella de Carbono** de los materiales utilizados en los sistemas hídricos estudiados, a partir del tipo y la cantidad (kilos) de materiales que intervienen y de factores de emisión unitarios<sup>72</sup>.

### 3.5.2. Resultados

#### A) resultados en el ámbito parcela: huella de carbono de los diseños y materiales analizados

La Acción B5 ha estudiado sistemas de riego en parcela con siete alternativas de materiales para los marcos 18x15T y 12x15T. El resultado muestra **un nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> ligeramente mayor en el marco 12x15T para todas las alternativas, una media de 9,8 kg CO<sub>2</sub>eq/ha/año** (ver Tabla 15) que representa un **incremento entre el 4,7-5,0%**. Esto se debe a que el diseño del marco 12x15T supone el mismo número de sectores que el marco 18x15T y una cantidad de material PE similar. Aunque en el 12x15T los diámetros de tuberías bajan ligeramente, el número de aspersores, cañas y chapas de sectoriales aumentan notablemente.

---

<sup>70</sup> Se entiende por cabezera la distancia mínima entre el aspersor circular y el sectorial de la misma línea (último de la línea).

<sup>71</sup> Son las piezas especiales junto con las "T" o codos de latón, empleadas para la conexión entre las tuberías terciarias de polietileno y las tuberías secundarias de PVC

<sup>72</sup> La fuente utilizada para los factores es el Banco BEDEC del ITEC (Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña)

Tabla 15. Comparativa de la Huella de carbono del marco de riego 18x15T versus 12x15T, analizando 7 alternativas de materiales. Se considera una vida útil de 30 años.

Huella de carbono (Kg CO <sub>2</sub> eq/ha y año) *	Marco 18x15T (1)	Marco 12x15T (2)	(2)-(1)
A2: HID DE 3" Y PE 125 mm	208,2	218,0	9,8
A4: HID DE 4" Y PE 125 mm	208,1	217,9	9,8
A1: HID DE 3" Y PE 110 mm	204,8	214,6	9,8
A3: HID DE 4" Y PE 110 mm	204,6	214,4	9,8
A7: HID DE 3" CON CALDERERIA DE 110 mm	198,8	208,6	9,8
A6: HID DE 4" CON CALDERERIA DE 110 mm	198,7	208,5	9,8
A5: HID DE 3" CON CALDERERIA DE 90 mm	196,9	206,7	9,8
<b>Promedio</b>	<b>202,86</b>	<b>212,67</b>	<b>9,8</b>

(\*) La letra A identifica el número de alternativa analizada. Las alternativas se han ordenado con criterio decreciente para el Marco 12x15T. Cada alternativa analiza un tipo de conexión de hidrante (HID) y un tipo de nudo de válvula de sector superficial.

## B) Resultados en el ámbito de la red colectiva

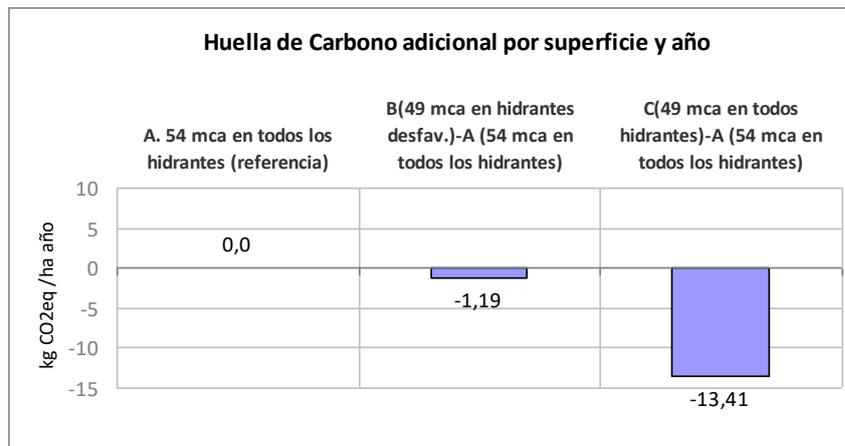
El **reducir el valor de consigna** del hidrante en el ámbito parcela desde 54 m.c.a. (situación actual en el Canal de Navarra Fase I) a una presión de 49 m.c.a. **disminuye la huella de carbono de la red de riego colectiva** (ver Tabla 16). La reducción de la presión de consigna en 5 m.c.a. en todos los hidrantes, **reduce la Huella de Carbono un 10,09% de media** respecto a la emisión de CO<sub>2</sub> de la situación de referencia. Si la presión de consigna se modifica 5 metros sólo en la presión de los hidrantes desfavorables, no se consiguen reducciones significativas en la emisión de CO<sub>2</sub> (inferiores al 1%).

Tabla 16. Comparativa de la Huella de carbono generada por el dimensionamiento y el material de las alternativas analizadas en el Ámbito Red Colectiva

Alternativas del Ámbito 2) Red Colectiva	Kg de CO <sub>2</sub> eq/ha	Kg de CO <sub>2</sub> eq/ha y año	% respecto a Alt. A)
A. 54 mca en todos los hidrantes	3.988,0	132,9	--
B. 49 mca (-5) en hidrantes desfavorables	3.952,4	131,7	-0,89%
C. 49 mca (-5) en todos los hidrantes	3.585,5	119,5	-10,09%

La Alternativa C de 49 m.c.a. en todos los hidrantes es la más adecuada desde el punto de vista de Huella de Carbono, y supone **evitar una emisión de 402,76 kg/CO<sub>2</sub> ha en relación al diseño actual, o de 13,41 kg/CO<sub>2</sub> ha anuales** considerando una vida útil del sistema de riego de 30 años (ver Figura 28).

Figura 28. Comparativa de huella de carbono en Red Colectiva



El escenario del estudio ha sido el Canal de Navarra, Fase I, que proporciona una presión de consigna de 54 mca, y en la mayoría de hidrantes no requiere energía adicional. No obstante, **en redes dependientes de la energía para su funcionamiento**, disminuir la altura de bombeo en 5 metros implica también un ahorro en la emisión de GEI. En redes dependientes de energía de Navarra, teniendo en cuenta la superficie que requiere bombeo y la Hmedia de 94 mca, **el ahorro por reducción de 5 mca en consigna sería de 18,28 Kg de CO<sub>2</sub>eq/ha año.**

La **reducción de la presión de consigna también mejora el funcionamiento de la red colectiva** por responder mejor a la demanda (en condiciones de simultaneidad del 30%). La alternativa B, que disminuye la presión de consigna en un pequeño número de hidrantes desfavorables, consigue eliminar una media del 35% de los casos críticos en los que se producen alarmas (rango entre el 1-85% de las alarmas); y cuando la rebaja se hace en todos los hidrantes (alternativa C) los casos críticos se reducen en promedio un 90% (rango entre el 72-100%).

### C) Resultados globales (ámbitos parcela y red colectiva)

El ámbito 1) Parcela ha mostrado el marco de aspersión 12x15T como una alternativa de diseño que reduce el requerimiento de presión en 5mca respecto al marco 18x15T, y eficiente desde el punto de vista de la uniformidad y calidad del riego. También se han mostrado para un diseño hidráulico eficiente, alternativas de cabezales, materiales (conexiones y válvulas) y criterios en relación a los collarines. Sin embargo, la huella de carbono del sistema hídrico con el marco 12x15T ha resultado algo superior a la del marco 18x15T.

La implantación generalizada del marco 12x15T implica en la Red Colectiva una reducción de la presión de consigna 5 mca en la totalidad de hidrantes. El diseño de una Red Colectiva con este requerimiento ha resultado positivo para reducir la huella de carbono. En caso de redes con requerimientos de bombeo, el ahorro se incrementa notablemente.

Los resultados globales (ver Tabla 17) indican desde el punto de vista exclusivamente de materiales, que el cambio de un marco de riego 18x15T a un marco 12x 15T, considerando conjuntamente los

ámbitos parcela y red colectiva supone **un ahorro de 3,6 kg CO<sub>2</sub>eq/ha y año**. En infraestructuras que **no requieren bombeo, el cambio en parcelas es eficaz únicamente si se hace extensivo a la red colectiva**. Por el contrario, en redes dependientes de energía **puede suponer un ahorro de hasta 21,88 kg CO<sub>2</sub>eq/ha y año**.

Tabla 17. Emisión de GEI ((Kg de CO<sub>2</sub>eq/ha año) en las alternativas analizadas, considerando una vida útil de 30 años para las infraestructuras de riego.

Ámbitos estudiados	Situación actual:Marco 18x15T y 54 mca (Columna 1)	Alternativa Regadiox: Marco 12x15T y 49 mca (Columna 2)	Diferencia Alternativa – Situación actual Columnas (2) – (1)
A) Ámbito parcela: instalación	202,9	212,7	+9,8
B) Ámbito Red colectiva: infraestructura (Ver Nota 1)	132,9	119,5	-13,4
C) A)Parcela + B) Red colectiva	335,8	332,2	-3,6
D) Energía de bombeo en redes dependientes de energía de Navarra (Ver Nota 1)	365,91	347,41	-18,28
C) + D)	701,71	679,61	-21,88

Nota 1: Considerando el consumo medio por hectárea en Navarra (1.543 Kwh/ha año y un ahorro de un 5%, que es lo que supone reducir 5 mca de presión sobre la altura de bombeo promedia en Navarra, 94 mca).

### **C.1) Telecontrol para reducir la huella de carbono mediante el manejo**

El telecontrol para automatizar la red de riego permite optimizar el consumo energético e hídrico, y puede implantarse a varias escalas y en distintas partes de la instalación. Se diferencian 2 niveles, el primero en redes colectivas con objeto de gestionar y controlar cada hidrante; y el segundo a nivel de parcela, para la programación y seguimiento de los riegos. A continuación se resumen los resultados potenciales del telecontrol identificados en Regadiox.

- En el nivel 1, la gestión de las redes colectivas se organiza para proporcionar la presión de consigna en el hidrante más desfavorable, independientemente de si está regando. El telecontrol permite la gestión en función de la demanda real, y el consiguiente ahorro de energía en redes dependientes de energía, por ajustar la altura de bombeo en el punto de alimentación para asegurar la presión del hidrante más desfavorable que se encuentre regando en un instante determinado.
- En los niveles 1 y 2, el telecontrol evita la emisión de GEI debido a la reducción de desplazamientos para la gestión en la red colectiva y para la programación en la parcela.
  - Se ha estimado que el telecontrol en la red colectiva de la Fase I del Canal de Navarra, permite ahorrar un 5% de los desplazamientos anuales por mantenimiento al emitir avisos directos del sistema (alarmas a través del correo electrónico y SMS

dirigidos a teléfonos portátiles). En total se consideran evitados 270.000 km al año que suponen un **ahorro de GEI de 1,19 kg CO<sub>2</sub>eq por hectárea**;

- La automatización del riego en parcela en un cultivo de maíz (24 semanas de riego), supone un ahorro potencial de 48 desplazamientos para la programación del hidrante. Estimando una distancia media de 20 km por desplazamiento (ida y vuelta), el telecontrol evitaría 960 km por campaña, que representa 15,32 kg CO<sub>2</sub>/ha (estimado con una media de 8 ha/hidrante).

En la Acción B6 se ha obtenido un ahorro real algo inferior al potencial, de alrededor de 8 kg CO<sub>2</sub>/ha, que se atribuye tanto al diseño de la experiencia (se aplicó en un cultivo de maíz de ciclo corto que requiere menos semanas de riego) como a los hábitos consolidados del agricultor. El usuario ha reducido sus desplazamientos relacionados con la programación y seguimiento del riego un 55%. No obstante no ha suprimido todos los desplazamientos, aunque con menor frecuencia, ha realizado visitas de control para valorar si todos los aspersores funcionan correctamente, especialmente en los momentos críticos del cultivo (nascencia).

Así, se estima que **la automatización de la programación del riego en parcela evita entre 8 y 15 kg CO<sub>2</sub>eq/ha y año**. Si añadimos el telecontrol en parcela a los niveles de ahorro de la Tabla 17, el ahorro de emisiones de GEI del marco 12x15T oscilaría entre **12 y 37 kg de CO<sub>2</sub>eq/ha y año**.

### 3.6. Potencial de las experiencias demostrativas sobre la mitigación del Cambio Climático

El objetivo de este apartado es dar una respuesta a la pregunta de evaluación **¿en qué medida el modelo de agricultura de regadío definido y testado contribuye a la mitigación del cambio climático?**, ofreciendo una visión conjunta de modelo de gestión y diseño estudiado y de su potencial sobre la agricultura de regadío en Navarra.

El modelo de gestión de regadío para promover la mitigación del cambio climático integra las prácticas de manejo analizadas en los apartados 3.1 a 3.4 y las pautas de diseño y manejo de los sistemas de riego analizadas en el apartado 3.5. Los resultados del modelo se resumen en el cuadro siguiente.

Cuadro 7. Potencial de mitigación unitario de los manejos promovidos por Life Regadiox (valores mínimos y máximos de las experiencias de la Acción A)

Prácticas agrarias analizadas	Valor medio anual de stock adicional de CO <sub>2</sub> eq en suelo (kgCO <sub>2</sub> eq/ha/año)	Emisiones de GEI (kgCO <sub>2</sub> eq/ha/año)	Balace por superficie (kgCO <sub>2</sub> eq/ha/año, valores negativos indican mitigación y positivos emisión)	Observaciones			
Cambio de uso del suelo de secano a regadío (Referencia: secano)	Respecto secano: De +2.020 a +12.354	Respecto secano: De -414 a +7.337	Respecto secano: De <b>-12.141 a +5.317</b>	Rango muy amplio en función del manejo del suelo			
Manejos poco intensivos del suelo en cultivos herbáceos	Respecto secano: <u>Intensidad baja</u> : +11.727 <u>Intensidad media</u> : de 3.070 a 12.354 <u>Intensidad alta</u> : de 2.020 a 10.500	Emisiones por manejo: <u>Intensidad baja</u> : 834 <u>Intensidad media</u> : de 4.496 a 6.915 <u>Intensidad alta</u> : de 4.591 a 8.007	<table border="1"> <tr> <td>De Intensidad media a baja (mitigación) de <b>-3.661 a -7.786</b></td> <td>De Intensidad alta a baja (mitigación) <b>-6.406</b></td> <td>De Intensidad alta a media (mitigación/emisión) de <b>-8.402 a +3.196</b></td> </tr> </table>	De Intensidad media a baja (mitigación) de <b>-3.661 a -7.786</b>	De Intensidad alta a baja (mitigación) <b>-6.406</b>	De Intensidad alta a media (mitigación/emisión) de <b>-8.402 a +3.196</b>	Sólo se dispone de un resultado de intensidad baja (alfalfa)
De Intensidad media a baja (mitigación) de <b>-3.661 a -7.786</b>	De Intensidad alta a baja (mitigación) <b>-6.406</b>	De Intensidad alta a media (mitigación/emisión) de <b>-8.402 a +3.196</b>					
Uso de cubiertas vegetales entre líneas en cultivos permanentes	Respecto a cultivo sin cubierta: <u>Olivo</u> : de 616 a +11.450 <u>Viña</u> : de 0 a +13.354	Respecto a cultivo sin cubierta Olivo: de -201 a -207 Viña: de +171 a +512	Respecto a cultivo sin cubierta: Olivo: de <b>-11.657 a -818</b> Viña: de <b>-1.284 a +171</b>	Requiere que las cubiertas se mantengan en el tiempo. No se observa en implantación reciente (2 años en viña y 6 en olivo)			
Sustitución de una parte de la fertilización mineral con fertilizantes orgánicos	Respecto a fertilización mineral: Secano: 3.502 Regadío: valor anual de secuestro adicional no observado en Regadiox	Respecto a fertilización mineral: Secano: +87 Regadío (maíz): +92 con plan de abonado controlado. De +611 a +953 en experiencias a gran escala.	Respecto a fertilización mineral: Secano <b>-3.065</b> Regadío no disponible	La duración del estudio de valoración del secuestro adicional (1 año) no ha permitido observar resultados.			
Sistema de riego con marco 12x15T frente a 18x15T y red colectiva	--	-22 a -4	<b>-22 a -4</b>	El valor -22 corresponde a redes dependientes de energía			
Programación automatizada del riego en parcela	--	-8 a -15	<b>-8 a -15</b>				

Puede observarse que **el diseño del sistema de riego es un elemento positivo para la mitigación, pero que los manejos son herramientas de un potencial mucho más elevado** para lograr reducir el nivel de emisiones de GEI. En la promoción de los manejos mitigadores a gran escala, debería considerarse lo siguiente:

- La elevada variabilidad de los resultados de los manejos, que para ser eficientes requieren planes específicos de gestión técnica.
- La dinámica del secuestro de carbono orgánico en el suelo, cuyos resultados requieren al menos una implantación a medio plazo. Hay que considerar también una estabilización de los procesos a largo plazo que reduciría el efecto mitigador.

### **Valoración del impacto actual del regadío sobre el Cambio Climático en Navarra**

En base a los resultados del proyecto, se estima que **el regadío navarro tiene un impacto mitigador sobre el cambio climático en relación a su uso previo de secano, de 300.000 t CO<sub>2</sub>eq/año**. Esta mitigación podría alcanzar las 540.000 t CO<sub>2</sub>eq/año si se considera en la estimación los valores de los balances más favorables (más mitigadores), **pero también podría tener un efecto emisor de 170.000 t CO<sub>2</sub>eq/año si no se controlan los factores de producción más emisores de GEI**. El valor mitigador medio, estimado de esta forma, equivale al 5,3% del total de emisiones de la economía navarra. No obstante, **este valor está sobreestimado**, ya que los coeficientes utilizados se aplican tanto a regadíos recientes, como a superficies de riego fuertemente consolidadas, en las que no se genera secuestro adicional por haberse llegado a una situación de “equilibrio” (aunque el abandono de riego podría revertir en una pérdida del carbono almacenado).

Tabla 18. Cuantificación del impacto del regadío de Navarra sobre la mitigación del Cambio Climático, basada en los resultados de la Acción B de Regadiox

Grupos de cultivos herbáceos	Superficie cultivada en Navarra en regadío (ha) según intensidad (1)				Balances unitarios utilizados (t CO <sub>2</sub> e/ha/año) (2)						t de CO <sub>2</sub> e/año emitidas (+) o mitigadas por los cultivos herbáceos de regadío en Navarra			
	Baja	Media	Alta	TOTAL	Inten. baja	Intensidad media			Intensidad alta			Valor máximo emisor	Valor máximo captador	Valor promedio
						Máx. emisor	Máx. mitigador	Promedio	Máx. emisor	Máx. mitigador	Promedio			
Cereales Grano	0	47.240	504	47.744	--	3,85	-7,24	-2,23	6,00	-4,49	0,63	184.666	-344.127	-104.855
Leguminosas grano	0	195	231	426	--	-2,40	-7,24	-2,23	6,00	-4,49	0,63	919	-2.445	-288
Tubérculos	0	288	0	288	--	3,85	-7,24	-2,23	6,00	-4,49	0,63	1.107	-2.084	-641
Cult. industriales	0	2.185	0	2.185	--	3,85	-7,24	-2,23	6,00	-4,49	0,63	8.402	-15.812	-4.865
Flores y ornamen.	0	30	0	30	--	3,85	-7,24	-2,23	6,00	-4,49	0,63	115	-217	-67
Forrajeros	9.725	0	1.851	11.576	-10,90	--	--	--	0,35	0,35	0,35	-105.330	-105.330	-105.330
Hortalizas	0	9.468	6.595	16.063	--	3,85	-7,24	-2,23	6,00	0,65	0,63	75.975	-64.238	-16.942
<b>TOTAL Regadío</b>	<b>9.725</b>	<b>59.405</b>	<b>9.180</b>	<b>78.310</b>								<b>+165.855</b> (5)	<b>-534.253</b> (5)	<b>-232.987</b> (5)

**Estimación de las emisiones totales si el uso de la superficie de cultivos herbáceos de regadío fuera secano**

Superficie Secano (3)	69.129	0,96 (4)	+66.593
-----------------------	--------	----------	---------

(1) Superficie cultivada en Navarra, promedio de los años 2014 y 2015. Fuente: Negociado de Estadística Agraria del DDRMA. La distribución por intensidad de cultivo se estima en función del tipo de cultivo y de si la superficie es de primera o segunda ocupación.

(2) Balances unitarios anuales (t CO<sub>2</sub>e emitidas por ha – tasa media anual de secuestro por ha). A cada intensidad de manejo se aplican los valores obtenidos en las experiencias de referencia. El valor máximo emisor es el de la parcela con un balance más positivo o emisor, el

valor máximo mitigador es el de la parcela con un balance más negativo o mitigador, y el valor promedio es la media de las parcelas consideradas para cada intensidad. En el manejo de intensidad baja se dispone únicamente de datos de una parcela.

(3) Total superficie con uso en regadío para una única ocupación del suelo.

(4) Balance de emisiones promedio para parcelas (UGC) de cereal de secano sin enmiendas orgánicas en las zonas de estudio.

(5) El valor máximo estima el total de t CO<sub>2</sub>eq/año mitigadas por los cultivos con manejo de intensidad baja, más el total de t emitidas por los manejos de intensidad media y alta con los balances más emisores. El valor mínimo estima este total de t CO<sub>2</sub>eq/año con los balances más mitigadores y el valor promedio utilizando los balances medios de las experiencias.

### **Valoración del impacto actual y potencial sobre el Cambio Climático del uso de cubiertas en cultivos leñosos de regadío en Navarra**

**En los cultivos leñosos**, el manejo con uso de cubiertas vegetales entre líneas, se ha mostrado una práctica con claro efecto mitigador a medio y largo plazo. A continuación se calcula el potencial mitigador de las cubiertas en el regadío de Navarra, señalando que el resultado debe ser únicamente considerado a grueso modo, dadas las limitaciones de la metodología de valoración aplicada.

Actualmente la superficie de leñosos con cubiertas se estima para Navarra en 4.894 hectáreas, y representa el 6% de la superficie de regadío, el 32% de olivar y la totalidad de frutales de pepita y hueso<sup>73</sup>. **El impacto de estas cubiertas es la mitigación adicional de entre 0 y un máximo de 60.500 t CO<sub>2</sub>eq/año** respecto a su manejo sin cubierta (el valor máximo considera que todas las cubiertas están consolidadas), cifra que representa el 1% del total de emisiones generadas por la economía navarra. **Esta valoración máxima está sobreestimada, pero da idea de la importancia de la práctica.** Por un lado, los coeficientes utilizados se han obtenido de zonas muy concretas de Navarra<sup>74</sup> y se han aplicado a toda la superficie potencial de viñedo, por otro no se considera la perspectiva temporal. Durante la implantación no se obtendría mitigación, y esta iría aumentando gradualmente hasta lograr de nuevo el equilibrio en cubiertas muy consolidadas (y el cese de la captación adicional).

La valoración del impacto potencial del uso de cubiertas en Navarra se calcula considerando la hipotética implantación del manejo en la superficie potencial, es decir en aquella superficie de viña y olivo que actualmente no tiene cubiertas de ningún tipo. Aunque la implantación de cubiertas puede realizarse tanto en secano como en regadío, en secano es más arriesgado porque el cultivo puede competir con la cubierta, por lo que el cálculo se ciñe al regadío. Sobre esta superficie potencial se tiene en cuenta otros efectos limitadores<sup>75</sup> aplicando un coeficiente de reducción del 60%.

En base a las hipótesis planteadas, la extensión **del uso de cubiertas en Navarra podría suponer frente a la situación actual sin cubiertas evitar un máximo de 109.000 t de CO<sub>2</sub> eq al año** (ver detalles del cálculo en la Tabla 19), cantidad similar al 1,9% de las emisiones totales de la

<sup>73</sup> Estimado con datos de las encuestas ESYRCE 2015 del MAGRAMA.

<sup>74</sup> El proyecto ha analizado los datos de “secuestro” de cubiertas y olivar en Cascante y Fontellas, donde el nivel de “base” (el C orgánico en el suelo sin cubiertas) es muy bajo.

<sup>75</sup> Factores agronómicos que no permiten el manejo, orografía, tamaño y pedregosidad de la parcela (dificultad de implantación de cubiertas y de realizar su mantenimiento debido a la pendiente, a ser tierras marginales de muy baja productividad) o con suelos pedregosos, o a una dimensión insuficiente para las labores mecanizadas de la parcela o de las calles (necesidad de una anchura de calle suficiente para el paso de la sembradora y la segadora). No se consideran factores relacionados con los medios de producción (como disponer de maquinaria).

economía navarra. De nuevo hay que matizar que se trata de una estimación sobredimensionada debido a las limitaciones de la metodología.

Tabla 19. Cuantificación del impacto potencial del uso de cubiertas en el regadío de Navarra sobre la mitigación del CC, basada en los resultados de la Acción B de Life Regadiox

GRUPOS DE CULTIVO LEÑOSOS	Superficie total en regadío (ha) (1)	Superficie con cubierta vegetal (1)	Superficie Potencial (ha) (60% de la sup sin cubierta)	Emisión actual de GEI de la sup. potencial (t CO <sub>2</sub> eq/año) (2)	Balances unitarios de la cubierta (t CO <sub>2</sub> eq/ ha año)	Emisión de la sup. potencial con cubiertas (t CO <sub>2</sub> eq/año)	Balances de cambio de manejo en Navarra (t CO <sub>2</sub> eq/año)
Viñedo	11.950	714	6.742	3.492	De -12,17 a 0	De -82.067 a 0	De -85.558 a 0
Olivar	4.947	1.604	2.006	1.405	De -10,96 a 0	De -21.976 a 0	De -23.381 a 0
TOTAL c. leñosos	18.961	4.894	8.747	4.897		De-104042 a 0	De -108.939 a 0

(1) Fuente: ESYRCE 2015 (MAGRAMA)

(2) Aplicando los balances medios unitarios de los manejos sin cubierta obtenidos en Regadiox

### **Valoración del impacto del uso de fertilizantes orgánicos sobre el Cambio Climático en Navarra**

En base a los resultados de la Acción B4 sobre las emisiones asociadas a la fertilización orgánica con un plan de abonado adecuado (emisión adicional de 0,092 t CO<sub>2</sub>eq/ha año), a modo aproximativo, se estima que la utilización actual de fertilizantes orgánicos supone en Navarra una emisión superior en 4,3 t de CO<sub>2</sub>eq/año frente al uso de abono mineral exclusivamente (tomando las unidades fertilizantes aplicadas en la agricultura navarra con fertilizantes orgánicos<sup>76</sup>). Si se consideran los resultados medios de las acciones B1, B2 y B6, este nivel adicional de emisiones puede incrementarse hasta 67 t CO<sub>2</sub>eq anuales.

El secuestro adicional de carbono orgánico en el suelo que se produce por la aplicación de fertilizante orgánico podría compensar estos valores a medio plazo, obteniendo balances mitigadores, aunque las experiencias realizadas en el marco de Regadiox no han permitido detectar secuestro adicional en regadío a muy corto plazo.

Por otro lado, merece la pena señalar que el manejo propuesto promueve el mantener los residuos cerca de su lugar de generación, aspecto importante por el ahorro de emisiones por transporte que eso supone a nivel regional (aunque este factor no se ha podido cuantificar en el análisis).

<sup>76</sup> Estimación realizada teniendo en cuenta las 10.511 t de UF de N aplicadas en Navarra en 2013 (fuente: Balances de nitrógeno, MAGRAMA) y una dosis de 227 UF de N/ha (aplicación de la Acción B4 con fertilizante orgánico), que supondría la aplicación de fertilizantes orgánicos en una superficie de 46.304 hectáreas.

### Valoración del impacto potencial en Navarra del diseño de uso de sistemas de riego eficientes desde el punto de vista energético

El capítulo 2.2.2 del informe mostró potencial para riegos eficientes desde el punto de vista energético, dado que el 53% de la superficie regada con riego a presión (24.585 ha) requiere en el año 2015, equipos de bombeo para su funcionamiento y una altura media de bombeo de 94 m.c.a.

El Canal de Navarra, la principal infraestructura que permite las nuevas transformaciones en regadío en los últimos años y en el futuro, se ha diseñado para proporcionar en las redes colectivas un valor de consigna de 54 m.c.a. que en general no requiere bombeos adicionales con el marco de riego usado más frecuente de 15x18T<sup>77</sup>. Esta infraestructura estaba prevista en dos fases para una zona regable de 53.125 ha. La primera fase ha transformado casi 22.500 ha y la segunda fase está actualmente en fase de consulta y planificación tras cambios políticos. No obstante, se ha proyectado una ampliación de la Fase I que cubre 15.275 hectáreas, cuya puesta en marcha se prevé para los años 2017 y 2018. Una parte de esta superficie (26%) actualmente ya dispone de riego a presión, pero el suministro desde el Canal de Navarra supondrá reducir sus necesidades de bombeo.

El **impacto potencial de Life Regadiox sobre los sistemas hidráulicos** se centra en la instalación del sistema diseñado en parcela con marco 12x15T frente al 18x15T y en la red colectiva del mismo, para las intervenciones a realizar a corto y medio plazo. Para ello se toma como horizonte el año 2020 y se considera la siguiente superficie potencial (ver Tabla 20):

- a) la superficie de la zona de ampliación de la Fase I del Canal de Navarra;
- b) la superficie de riego a presión instalada en Navarra desde 1987 que finaliza su vida útil (considerando 30 años de vida útil).

Tabla 20. Superficie con riego a presión en Navarra, año 2015 y proyección 2020 para valoración del impacto potencial de Regadiox

SUPERFICIE EN REGADÍO (ha)	Año 2015	Previsión Año 2020	Sup. potencial Regadiox (M12x15T en 2020)
Superficie Total	116.530	123.737	--
Riego por gravedad	70.432	66.304	--
Riego a presión	<b>46.098</b>	<b>57.433</b>	<b>20.392</b>
A presión sin bombeo	21.513	32.883	13.056
A presión con bombeo	24.585	24.550	7.336

Nota: se considera la superficie de la Ampliación de la Fase I del Canal de Navarra: 15.275 ha de las cuales el 26% son de eficiencia energética, el 27% de modernización y el 47% de nueva transformación. En conjunto 3.905 ha requerirán bombeo. También se considera una superficie de 5.117 ha de regadíos que finalizan su vida útil el año 2020 o antes<sup>78</sup>, de los cuales 3.431 requieren actualmente bombeo.

<sup>77</sup> Marcos de riego habitual en parcela de 18x15T (distancia de 18 m entre aspersores y 15 entre calles).

<sup>78</sup> Zonas de Cabanillas-Fustiñana, Fontellas-Caminos A y C, Murchante-La Torre, Sartaguda-Gobella, Cadreita-Valcaldera (2 sectores), Corella-Ombatillo, Funes-La Plana, Genevilla, Villafranca-Barranco de Agua Salada y Villafranca-Morante

La instalación del sistema de riego de 12x15T con material eficiente en su Huella de Carbono, frente al utilizado actualmente de 18x15T en la superficie potencial, supondría para el regadío navarro **un ahorro de 73 t CO<sub>2</sub>eq/año asociados a la instalación** en parcela y a la red colectiva. Además, en las superficies dependientes de bombeo se estima un **ahorro potencial de 134 toneladas anuales**. En total el efecto mitigador sería de **208 t CO<sub>2</sub>eq/año**.

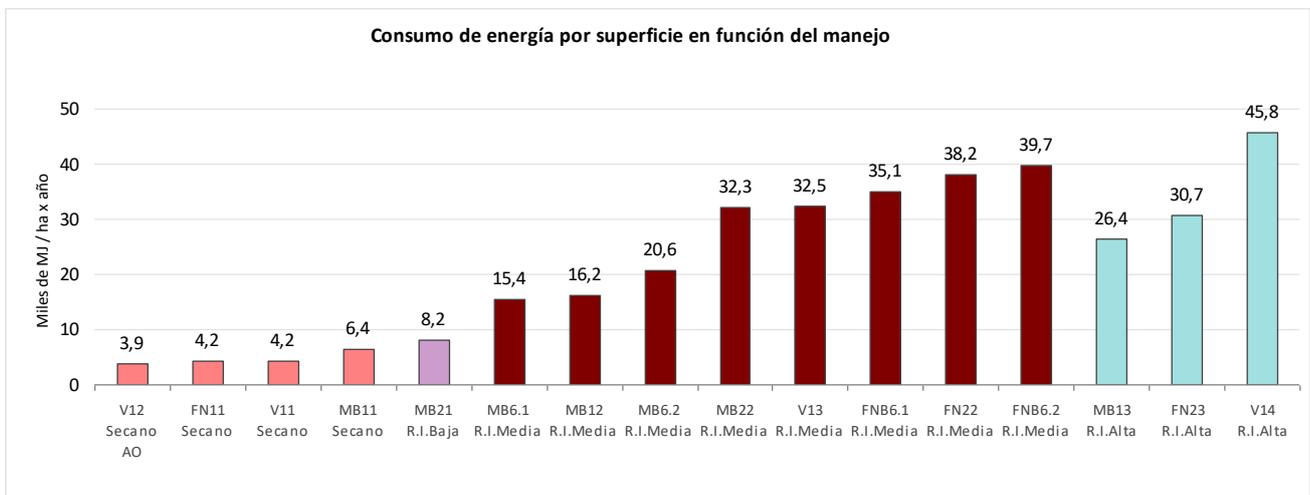
El manejo del riego a presión con la instalación de sistemas automáticos de programación del riego que permiten el telecontrol, supondría un ahorro máximo de emisiones en Navarra de **690 t CO<sub>2</sub>eq/año** para la superficie con riego a presión en 2015. Con las nuevas transformaciones previstas para 2020, el ahorro de emisiones se situaría en 860 toneladas.

## 4. CONTRIBUCIÓN DE LIFE REGADIOX A LA EFICIENCIA EN EL USO DE ENERGÍA

La evaluación del modelo de agricultura de regadío propuesto se dirige a valorar si los manejos culturales y el diseño y manejo de sistemas hidráulicos suponen un uso eficiente de la energía en relación a las prácticas tradicionales o de referencia mediante el indicador “energía consumida por unidad de superficie (MJ/ha).

Las repercusiones del cambio de uso secano-regadío sobre la variación de la eficiencia en el uso de la energía son **análogas a las conclusiones relacionadas con las emisiones de GEI** en un año de producción (ver apartado 3.1.2 Resultados del efecto sobre el CC del cambio de uso del suelo, sobre la emisión de los GEI de los sistemas de secano y de regadío). Se señala que el indicador de eficiencia (MJ consumidos /ha) se obtiene aplicando un factor de conversión sobre las emisiones de GEI unitarias en los procesos con consumo de energía<sup>79</sup>. En secano, la energía consumida ha oscilado entre 3,9 y 6,4 MJ/ha (ver Figura 29), mientras que en regadío el consumo ha sido siempre mayor, mostrando una gran variabilidad entre manejos (entre 8,2 y 45,8 MJ/ha).

Figura 29. Comparativa del consumo unitario de energía por superficie en manejos de secano y regadío

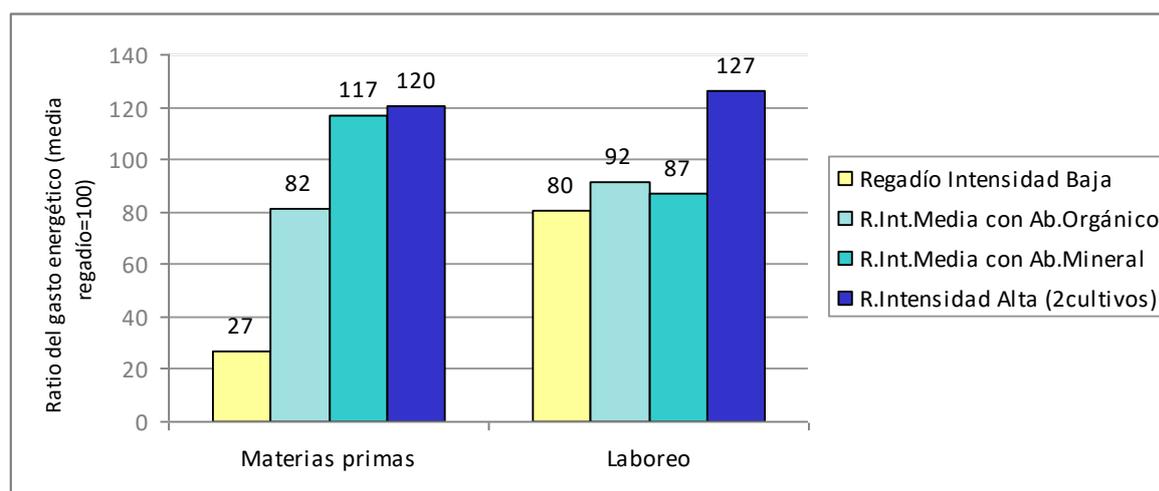


En el proceso de producción, el gasto energético directo se concentra en el laboreo y en el riego (cuando existe necesidad de bombeo), mientras que el indirecto se debe principalmente a la producción de materia prima. En los manejos analizados en Regadiox, el resultado sobre el gasto energético es el siguiente:

<sup>79</sup> Se considera que por cada kg de CO<sub>2</sub>eq de GEI emitido se consume 13,65 MJ de energía. Se aplica a las fuentes de emisión: materias primas, laboreo, bombeo, quema y residuos.

- El gasto energético **directo relacionado con el laboreo se reduce en los manejos de intensidad baja y media** en relación al gasto promedio del regadío (se sitúa entre el 80 y el 92%, ver Figura 30), mientras que en el manejo intensivo (2 cultivos anuales), el gasto energético por unidad de superficie se incrementa considerablemente (un 27% en relación a la media).
- El **gasto energético por bombeo** ha representado entre el 27 y el 53% del gasto energético total del proceso productivo. La necesidad de bombeo ha incrementado en la producción de maíz el consumo de energía en un 98% (94% si se considera el promedio de consumo de regadío con bombeo frente a sin él).
- El gasto energético **indirecto por consumo de materias primas (fertilizantes y fitosanitarios) es lógicamente mucho menor en manejos poco intensivos** de leguminosas (en alfalfa el gasto es inferior al 30% del gasto medio del regadío, ver Figura 30) y también **con el empleo de abonos orgánicos** (18% menor que en el manejo medio).

Figura 30. Eficiencia del gasto energético de distintas intensidades de manejo en cultivos herbáceos de regadío, en relación al gasto medio (ratio gasto energético medio del regadío=100)



- El uso de cubiertas en viña ha reducido el consumo energético directo por laboreo un 39% respecto al suelo desnudo y ha incrementado en un 53% el consumo indirecto de materias primas (por utilización de semillas). Pero en ambas fuentes las diferencias en valores absolutos son muy bajas (inferiores a 1 MJ/ha).

En la Acción B5, el diseño de sistemas de riego eficientes energéticamente ha obtenido los siguientes resultados:

- El marco de aspersión de 12x15T reduce la presión de consigna del hidrante en 5 m.c.a. frente al marco 18x15T con parámetros de uniformidad de riego y pluviometría similares para presiones de funcionamiento en aspersor desde 25 a 30 m.c.a. En redes dependientes de energía de

Navarra, teniendo en cuenta la Hmedia actual de 94 mca<sup>80</sup>, representa un **ahorro del 5,3% de la presión de consigna y evita un consumo medio de 82 Kwh/año x ha.**

El **impacto potencial del modelo**, considerando la superficie potencial aplicable en el año 2020 (ver Tabla 20 del apartado 3.6) y la altura media estimada de dicha superficie (105 mca), sería de aproximadamente **540.000 Kwh/año en Navarra** (1.940.477 MJ/año).

- Los estudios de materiales, cabeceras y collarines aconsejan **adoptar los siguientes criterios en el diseño de los sistemas en parcela, para optimizar la energía** con uniformidad de riego adecuada (por reducir las pérdidas de carga):
  - El **material de conexiones de hidrante y nudos** más eficiente es el PE 125 mm y las conexiones y nudos de calderería de 110 mm (4"). Para caudales por encima de 25 l/s, se alcanzan ahorros entre 1.5-2 m.c.a de presión frente a la siguiente opción eficiente, el PE 110.
  - En las **cabeceras**, en condiciones de no viento, se obtiene el valor más alto de uniformidad con cabecera a 10 metros (frente a 12 y 15 m). El uso de aspersores sectoriales con doble boquilla proporciona una uniformidad ligeramente mayor.
  - La instalación de **válvulas enterradas** sin acometidas baja la presión necesaria en cabecera al desaparecer las pérdidas de cargas en las subidas y bajadas a válvulas.
  - En los **collarines**, las pérdidas de carga dependen del caudal circulante (a más caudal mayores pérdidas de carga), pero no de la presión de entrada. La pérdida de carga del conjunto collarín puede reducirse en 5 m.c.a. sustituyendo el criterio actual de diseño de 5 aspersores circulantes por un máximo de 3 aspersores por collarín. Para un caudal determinado, las pérdidas de carga del conjunto collarín con codo y con T son similares, aunque ligeramente mayores en el conjunto collarín con codo.

---

<sup>80</sup> Fuente: Intia, de la información proporcionada por las Comunidades de regantes. De media, para las 24.585 hectáreas en Navarra de riego a presión que requieren bombeo, la potencia media instalada es de 1,54 Kw/ha y su consumo medio de energía de 1.543 Kwh/ha/año (datos 2009).

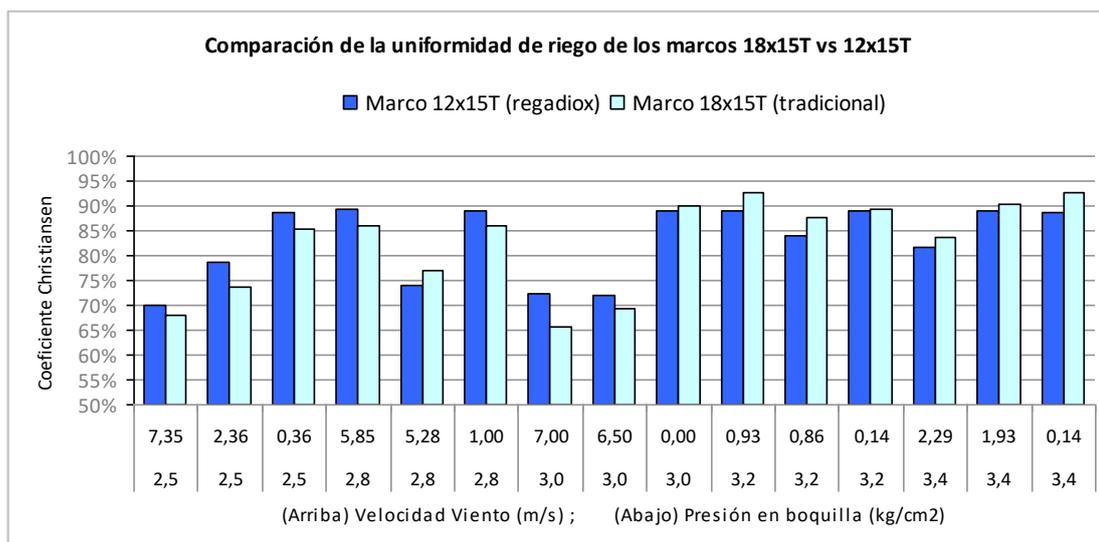
## 5. CONTRIBUCIÓN DE LIFE REGADIOX A LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Los resultados del proyecto permitirán anticiparse a los efectos adversos del cambio climático en la agricultura por reducción del nivel de precipitaciones y aumento de las temperaturas máximas. Los cambios climáticos tendrán repercusiones sobre el uso agrícola en secano, pero también sobre las dotaciones del regadío para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos<sup>81</sup>.

Para el secano las variaciones previstas son relevantes, de forma que la transformación al regadío analizada en la Acción B1 supone una importante acción de adaptación para prevenir y minimizar los efectos adversos. En regadío, el aumento de las necesidades netas de agua de riego, requiere la instalación de sistemas de riego eficientes desde el punto de vista hídrico.

Los estudios de Life Regadiox se han volcado en la eficiencia energética de los sistemas de riego (Acción B5), no obstante el diseño propuesto ha incorporado parámetros de uniformidad de riego, que garantizan **instalaciones de riego eficientes también desde el punto de vista del uso del agua**. Los resultados se han resumido al final del Apartado 4, por lo que en este punto únicamente se resalta la **adecuación del marco de aspersión de 12x15T para presiones de funcionamiento en aspersor desde 25 a 30 m.c.a.** por presentar valores de uniformidad elevados y más estables frente a las variaciones de presión que el marco 18x15T en condiciones de vientos débiles (ver Figura siguiente).

Figura 31. Resultados de los ensayos de uniformidad de los marcos de riego



<sup>81</sup> El apartado 2.2.6. recoge la previsión para Navarra para finales de siglo de un aumento de la temperatura máxima entre los 1,5 y los 2°C y una pérdida en el aporte de agua por precipitaciones de alrededor del 9%. Estos cambios generarán un incremento de las demandas de dotaciones netas medias de agua de riego suministradas por las infraestructuras agrarias para el periodo 2011-2040 en el rango del 3 al 6%.

Por otro lado, medidas propuestas como la automatización de los sistemas de gestión en redes colectivas y en parcela, conllevan resultados hacia la eficiencia en el uso del recurso agua. El telecontrol consigue satisfacer requerimientos de caudal y frecuencia de suministro y el control del agua aplicada. Permite asimismo la detección de fugas o problemas en el sistema.

En los suelos de regadío el aumento de temperatura puede tener efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y sobre el proceso de estabilización, y conllevar pérdidas del stock de C orgánico<sup>82</sup>. En este sentido, las prácticas agrarias de laboreo reducido y conservacionista, de cubiertas vegetales en cultivos leñosos y de utilización de fertilizantes orgánicos, constituyen asimismo acciones de resiliencia en el suelo por generar mayores niveles de almacenamiento de carbono orgánico. Cabe citar también los efectos sobre la prevención de la erosión del suelo, que se detallan en el apartado siguiente.

---

<sup>82</sup> La bibliografía consultada estima que cada incremento de 1°C puede suponer una pérdida de carbono orgánico en el suelo del 6-7 %, en función de las características propias del suelo y sus usos.

## 6. CONTRIBUCIÓN DE LIFE REGADIOX A AUMENTAR LA SOSTENIBILIDAD DE LA ACTIVIDAD AGRARIA

El modelo de gestión de regadío de Regadiox dirigido a la mitigación del cambio climático, genera asimismo impactos ambientales indirectos positivos, que mejoran la sostenibilidad ambiental de la actividad agraria. Los principales impactos son los siguientes:

- Identifica manejos que previenen la erosión del suelo agrario y tienen efecto positivo sobre la biodiversidad del suelo;
- Identifica manejos que previenen la contaminación por nitratos en aguas subterráneas y la valorización de residuos ganaderos como fertilizante.

### A) Manejos que previenen la erosión del suelo agrario

Las prácticas propuestas, aplicadas a escala regional, suponen una **gestión eficaz para la calidad del suelo** por su efecto positivo sobre los contenidos en materia orgánica, que asimismo repercute en el riesgo de erosión y en la mejora de la biodiversidad en el suelo.

En general, se observa una reducción del factor K de erosionabilidad de la ecuación USLE<sup>83</sup> ligado al aumento del stock de carbono orgánico en las parcelas de cultivos herbáceos regadío, lo que supone **un menor riesgo de erosión** (ver Figura 32). No obstante, las diferencias texturales entre distintos suelos pueden desempeñar un papel importante en la determinación de este valor (caso de Valtierra).

Figura 32. Factor K de erosionabilidad (Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) en cultivos herbáceos en las zonas de estudio

Manejo	Valtierra	Miranda de Arga	Funes
Secano	0,052 b	0,045 a	--
Secano enmiendas orgánicas	0,050 b	--	--
Regadío de intensidad baja	--	0,058 c	--
Regadío de intensidad media	0,044 a	0,050 b	0,062 b
Regadío de intensidad alta	0,049 b	0,056 c	0,057 a -0,060 b

Letras distintas entre valores de una misma columna indican diferencias significativas según Duncan (p<0,05).

<sup>83</sup> La Ecuación de la Pérdida Universal de Suelos (USLE) se expresa como:  $A = R * K * LS * C * P$ , donde: A = Pérdida estimada promedio de suelo en Ton/ha/año; K = Factor de erosionabilidad del suelo; L = Factor de longitud de la pendiente; S = Factor de inclinación de la pendiente; C = Factor de cobertura del suelo; y P = Factor de las prácticas de manejo. El factor K se puede calcular mediante la ecuación:  $100 K = 2.1 M^{1.14} (10^{-4})^{(12-a)} + 3.25(b-2) + 2.5(c-3) (5.6)$ , en donde: M = (% limo+arena muy fina)\*(100-%arcilla); a = % de materia orgánica; b= código de estructura de suelo; c= clase de permeabilidad (valor K en unidades inglesas). El factor C representa la relación entre la pérdida de suelo de una superficie sin vegetación, C=1, y la erosión con la cobertura en consideración.

En cultivos leñosos, el uso de cubiertas vegetales supone una clara disminución del factor de erosionabilidad en las parcelas con cubiertas consolidadas (Cascante y Fontellas, ver Figura 33). Esto indica que la implantación de cubiertas vegetales en cultivos herbáceos es **una medida eficaz contra la erosión** en cultivos con pendientes, siendo ya actualmente una práctica obligada por el código de buenas prácticas agrarias en Navarra exigibles para la condicionalidad<sup>84</sup>.

Figura 33. Factor K de erosionabilidad (Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) en cultivos leñosos

Manejo	Miranda de Arga (1) (cubierta reciente)	Olite (cubierta reciente)	Cascante (cubierta consolidada)	Fontellas (cubierta consolidada)
Cultivo leñoso sin cubierta	0,045 a	0,046 a	0,053 b	0,060 b
Cultivo leñoso con cubierta	0,054 b	0,047 a	0,049 a	0,053 a

(1): La parcela de referencia no es un cultivo leñoso sin cubierta sino un cultivo herbáceo de secano.

Letras distintas entre valores de una misma columna indican diferencias significativas según Duncan ( $p < 0,05$ ).

El estudio de **la biodiversidad en el suelo para los cultivos permanentes** para cuantificar los efectos sobre la actividad biológica que genera el uso de cubiertas vegetales, **no ha mostrado diferencias significativas asociadas a la implantación de cubiertas**. No obstante, se observó un efecto de la localización geográfica y el tipo de manejo en el parámetro analizado (biodiversidad funcional a partir de los tests EcoPlate® de BioLog®). Las condiciones climáticas y edáficas de Miranda de Arga y Olite favorecieron poblaciones microbianas más diversas. La respuesta a la cubierta en cada localización fue heterogénea.

## B) Manejos que previenen la contaminación por nitratos en aguas subterráneas

En el manejo de la fertilización, la sustitución de abono mineral por fertilizantes orgánicos, junto a la implantación de planes de fertilización supone una gestión eficaz para la calidad de las aguas subterráneas.

Los ensayos de la Acción B4 para un cultivo de maíz con riego por aspersión con distintos fertilizantes orgánicos conducen a las siguientes conclusiones:

- En los cinco fertilizantes orgánicos analizados, el máximo rendimiento se obtiene con una dosis de nitrógeno mineral aportada en fondo de entre 240 y 300 UFN/ha. Las UFN aplicadas por encima de esa dosis no son aprovechadas por el maíz y son sensibles de perderse por lixiviación, volatilización, etc.
- Las dosis aplicadas de abono en fresco (aplicando el máximo permitido 250 UFN), permite dejar de aplicar un porcentaje de unidades fertilizantes de nitrógeno con abono mineral igual al **coeficiente de equivalencia con la urea** del nitrógeno del abono orgánico. La utilización del

<sup>84</sup> En base a la Orden Foral 110/2015, que establece entre las normas de condicionalidad de cobertura mínima de el suelo, cubierta vegetal en parcelas de cultivos leñosos con una pendiente media igual o superior al 15%, salvo que la pendiente real de el recinto esté compensada mediante terrazas o bancales, y para parcelas de superficie mayor a una hectárea.

coeficiente en el cálculo de planes de abonado ajusta las dosis a las necesidades del cultivo, minimizando las pérdidas por volatilización y lixiviación. Los coeficientes de equivalencia del nitrógeno aportado por los cinco tipos de fertilizantes orgánicos en relación a la urea oscilan entre el 26 y el 47% para el estudio realizado, con un valor medio del 35%.

La puesta en práctica de las conclusiones de la experiencia B4 en parcelas de agricultores ha logrado **reducir un 38% las UF de N aplicadas con abono mineral en un cultivo de maíz y ha supuesto evitar 113 UF de abono mineral**. Estas unidades fertilizantes se han aportado en el abonado de fondo mediante purín de porcino. La dosis de purín se ha aplicado teniendo en cuenta las dosis máximas permitidas de fertilizantes orgánicos, mientras que la dosis de abono orgánico ha considerado el coeficiente de equivalencia del N calculado para el purín (50%), de manera que **en total se han aplicado 414 UF N/ha** para lograr 300 UF de N eficientes (aprovechables por el cultivo).

Sin embargo, del 50% del nitrógeno del purín que no se ha aprovechado, una parte se mantiene en forma orgánica en la campaña siguiente y sucesivas, siendo aprovechable. Otra parte de ese nitrógeno es susceptible de perderse por volatilización o de lixiviarse, pero también contribuye a incrementar el stock de carbono orgánico del suelo.

Los datos de abonado de las experiencias demostrativas B1, B2 y B6 en parcelas con cultivo de maíz permiten también las siguientes conclusiones (ver Tabla 21):

- En las experiencias B1 y B2, en las que el agricultor fertiliza según su criterio, la aportación de N como abono orgánico se aplica en dosis muy por debajo del máximo permitido (alrededor de 150 kg UFN/ha frente a 250). Por tanto, hay margen para recomendar una mayor dosis.
- En la mayoría de parcelas con fertilizante orgánico, las UFN eficientes superan las necesidades estándar del cultivo de maíz (300 UFN/ha) con dosis entre 111-136%. La puesta en marcha de planes de abonado permitiría un uso más eficiente del nitrógeno y evitar pérdidas. En las parcelas con fertilizante mineral, las dosis se ajustan en mayor medida, aunque hay cierto margen de ahorro.

Tabla 21. Manejo de la fertilización en maíz en las experiencias B1, B2, B4 y B6

Parcela	Tipo de Abonado	UF de N totales aplicadas	UF DE Abono Orgánico	UF DE Abono Mineral	UF de N /ha eficientes (1)
MB62	Mineral	281	0	281	281
B4	Mineral	300	0	300	300
MB22	Mineral	318	0	318	318
FNB62	Mineral	318	0	318	318
VB13	Mineral	326	0	326	326
B4	Orgánico +Mineral	413	227	186	300
FNB61	Orgánico +Mineral	452	250	202	327
MB61	Orgánico +Mineral	462	250	212	329
MB12	Orgánico +Mineral	401	154	247	287
FB21	Orgánico +Mineral	450	150	300	349
FB22	Orgánico +Mineral	483	150	333	408

(1) Estimado aplicando los coeficientes de equivalencia de la Acción B4

Finalmente se señala que el manejo con abonos orgánicos permite **la valorización como fertilizante de los residuos ganaderos, y aporta una solución a la gestión de dichos residuos**.

## 7. PRINCIPALES CONCLUSIONES SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO LIFE REGADIOX

- 1) La **transformación en regadío puede constituir una herramienta útil para la mitigación del cambio climático** por incrementar el secuestro de carbono orgánico en el suelo y permitir en la producción agraria balances de emisiones de GEI con efecto mitigador (balances con un nivel de captación de CO<sub>2</sub> atmosférico en el suelo superior a las emisiones generadas durante la producción), al menos durante un tiempo hasta alcanzar un nuevo nivel de equilibrio respecto a la situación de partida (secano).

No obstante, **para lograr un efecto mitigador y optimizar el potencial de secuestro, el regadío debe ser modulado a partir del control del manejo**, dado que en cultivos herbáceos, el balance a nivel de parcela muestra un rango amplio, entre la mitigación de 10,90 t CO<sub>2</sub>e/ha anuales a la emisión 6,00 t CO<sub>2</sub>e/ha y año, que tendría el efecto contrario al perseguido.

- 2) En cultivos herbáceos, **los factores que han resultado más relevantes en relación a las emisiones de GEI** son la fertilización nitrogenada, las materias primas utilizadas y el riego en regadíos con necesidad de bombeo.
- 3) En manejos en las que las emisiones adicionales de GEI no se compensan con el secuestro de C en el suelo, se requiere **fomentar estrategias que optimicen el “capital” que ofrece el almacenamiento de C atmosférico en el suelo**, ya que el control sobre el manejo del suelo, presenta cierto margen.
- 4) En cultivos herbáceos de regadío, la **conversión a manejos de suelo de intensidad baja tiene siempre efecto mitigador**, mientras que el impacto del cambio de manejos de intensidad alta a media es variable, con resultados tanto mitigadores como emisores que indican la dependencia de otros factores de manejo.
- 5) Con datos medios, el **regadío navarro tiene impacto mitigador sobre el cambio climático en relación a su uso previo de secano**. A nivel aproximativo (aplicando una metodología que sobreestima el resultado), el regadío evita aproximadamente 300.000 t CO<sub>2</sub>eq/año, equivalente al 5% del total de emisiones de la economía navarra<sup>85</sup>. Pero el regadío **también podría tener un efecto emisor** de 170.000 t CO<sub>2</sub>eq/año si no se controlan los factores de producción más emisores de GEI.
- 6) En cultivos leñosos en regadío, el **uso de cubiertas vegetales entre líneas ha mostrado ser una práctica con claro efecto mitigador a medio y largo plazo**. Aunque las cubiertas pueden suponer un nivel de emisiones de GEI mayor respecto al suelo desnudo, es una diferencia pequeña en valor absoluto y se ve compensada a medio plazo por el secuestro adicional de carbono en el suelo.

---

<sup>85</sup> Este valor está sobreestimado, ya que los coeficientes utilizados se aplican tanto a regadíos recientes, como a superficies de riego fuertemente consolidadas, en las que no se genera secuestro adicional por haberse llegado a una situación de “equilibrio”. También hay que señalar que el abandono de riego podría revertir en una pérdida del carbono almacenado.

- 7) La **mitigación adicional que genera la superficie de leñosos con cubiertas es relevante en Navarra**. A modo de aproximación, dadas las elevadas limitaciones de la metodología, se ha estimado una cantidad de CO<sub>2</sub>eq evitado que oscila entre 0 y un valor máximo 60.500 t CO<sub>2</sub>eq/año respecto a su manejo sin cubierta (según se aplique el coeficiente mínimo o máximo del balance obtenido). Esta capacidad máxima representa el 1% del total de emisiones de la Comunidad Foral. La extensión del uso de cubiertas en leñosos en la superficie potencial, podría añadir a esta capacidad de reducción, otras 109.000 t de CO<sub>2</sub> eq al año (valor máximo).
- 8) La sustitución de una parte de la fertilización mineral con fertilizantes orgánicos, genera un nivel de emisiones de GEI ligeramente por encima de la fertilización exclusivamente mineral (+2%, 0,092 t CO<sub>2</sub>eq/ha año, aplicando un plan de abonado que utiliza el coeficiente de equivalencia del abono orgánico). **La aplicación de abono orgánico evita la emisión de GEI asociada a la fabricación del abono mineral que se deja de aplicar, pero supone un aumento importante de emisiones en el suelo** por suministrarse dosis totales de UFN mayores (ya que una parte del nitrógeno del purín no es aprovechable por el cultivo). No obstante, la aplicación continuada de abono orgánico hace esperar a medio plazo un incremento significativo del secuestro de C en el suelo que genere balances mitigadores.
- 9) **El diseño y manejo de sistemas de riego tiene capacidad para reducir las emisiones de GEI asociadas**, aunque el potencial es muy inferior a las prácticas de manejo. Utilizando materiales eficientes en su huella de carbono y el marco de riego 12x 15T frente al 18x15T, se logra desde el punto de vista exclusivamente de materiales, un ahorro de 3,6 kg CO<sub>2</sub>eq/ha y año. En infraestructuras que no requieren bombeo **el impacto es mitigador únicamente si se aplica tanto en las parcelas como en la red colectiva**. En redes dependientes de energía, el marco 12x15T reduce la presión de consigna en 5 m.c.a., suponiendo un ahorro por consumo de energía de hasta 21,9 kg CO<sub>2</sub>eq/ha y año.
- 10) **El control telemático para el manejo del riego en redes colectivas y en parcela ha mostrado un potencial mitigador notable**. El ahorro de desplazamientos se ha estimado en la red colectiva analizada en 1,2 kg CO<sub>2</sub>eq/ha y a nivel de parcela entre 8 y 15 kg CO<sub>2</sub>eq/ha y año.
- 11) **Es recomendable considerar el modelo diseñado para las próximas infraestructuras de riego previstas** (nuevas infraestructuras y renovación de redes que finalizan su vida útil). Para la superficie potencial estimada, supondría en Navarra un ahorro de 208 t CO<sub>2</sub>eq/año: 73 t CO<sub>2</sub>eq/año asociado a la instalación en parcela y a la red colectiva y 134 toneladas anuales por reducción de consumo energético. También cabe potenciar **el telecontrol para la programación del riego en las parcelas, ya que permitiría evitar hasta 690 t CO<sub>2</sub>eq/año** en la superficie actual de Navarra con riego a presión.
- 12) Los procesos que concentran el **gasto energético directo durante la producción agrícola** son principalmente el laboreo y el riego (en redes con necesidad de bombeo) y la fuente principal de gasto energético indirecto es el consumo de materias primas.
- 13) En regadío, el manejo del suelo de baja intensidad resulta el más eficiente por unidad de superficie, pero al igual que en el balance de emisiones, no hay una diferencia clara de eficiencia energética entre manejos de intensidad media y alta.
- 14) El diseño de sistemas de riego eficientes energéticamente permite **reducir la presión de consigna del hidrante en 5 m.c.a., esto representa un ahorro del 5,3% del valor medio de la presión de consigna en Navarra y evita un consumo medio de 82 Kwh/año x ha**. El impacto del

modelo para la superficie potencial aplicable en Navarra en el año 2020 se estima en aproximadamente 540.000 Kwh/año.

- 15) El modelo de sistema hidráulico propuesto ha incorporado parámetros de uniformidad de riego, que garantizan **instalaciones de riego eficientes desde el punto de vista hídrico**. Esto supone que el proyecto **también contribuye a la adaptación al cambio climático**, ya que el aumento previsto de las necesidades de agua para riego requiere eficacia **del uso del agua**.
- 16) Finalmente se señala la contribución del modelo de manejo de regadío propuesto a la sostenibilidad ambiental de la actividad agraria, se repercute sobre una **gestión eficaz para la calidad del suelo que reduce el riesgo de erosión**, y una gestión de la fertilización eficaz para conservar la **calidad de las aguas subterráneas**.