

Universidad Pública de Navarra

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

ESCUELA TECNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRONOMOS

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO*

# Huella hídrica y de carbono en cultivos extensivos de regadío en el sur de Navarra

Presentado por

**IRANTZU BERMEJO RUIZ** *ek*

*aurkeztua*

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio  
Rural

*Gradua Nekazaritzako Elikagaien eta Landa  
Ingurunearen Ingeniaritzan*

Junio 2014 /2014-eko ekaina

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA**  
**NAFARROAKO UNIBERTSITATE PUBLIKOA**

ESCUELA TÉCNICO SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS  
*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN GOI- MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

**“Huella hídrica y de carbono en cultivos extensivos de regadío en el sur de Navarra”**

Trabajo fin de curso de adaptación al grado de ingeniería agroalimentaria y del medio rural presentado por Doña Irantzu Bermejo Ruiz al objeto de optar al título de Ingeniería agroalimentaria y del medio rural. Dirigido por Gonzaga Santesteban García.

Director

*Zuzendaria*

Autor

*Egilea*

L. Gonzaga Santesteban García

Irantzu Bemejo Ruiz

**AGRADECIMIENTOS:**

A Gonzaga Santesteban por su idea, su tiempo, sus conocimientos y por despertar mi curiosidad en el mundo de las huellas. A mis compañeros de Productos Agropecuarios Hnos. Oliver por hacerme este trabajo mucho más fácil.

A mi madre por su paciencia, apoyo y por tener el optimismo que a mi me falta. A Raquel, Laurin y Maite que a pesar de la distancia siempre han estado, están y estarán ahí. A Izaskun y a mi tía Marisa por todo lo que se preocupan y me quieren. A Jota, Azcona y Clemente por enseñarme tanto a cada momento.

Y sobre todo a Bermejo porque hubiera disfrutado de todo esto tanto como yo.

## **RESUMEN**

**Palabras clave:** Huella Hídrica, huella de carbono, cultivos extensivos, regadíos, emisiones gases de efecto invernadero, biomasa fijada.

Uno de los mayores retos de la agricultura europea en los próximos años consiste en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedente de explotaciones agrarias y, al mismo tiempo, adaptarse al nuevo escenario que supone el cambio climático. Asimismo, se puede potenciar la rentabilidad económica y social de las explotaciones mediante la adopción de las oportunas prácticas agrarias sostenibles que reduzcan la huella de carbono de la agricultura y que potencien su efecto sumidero.

Por otro lado es necesario analizar la sostenibilidad de la gestión de los cultivos extensivos de regadío desde el punto de vista de consumo del recurso hídrico ya que la huella hídrica es un indicador que proporciona un marco multidisciplinar y transparente que puede ser muy útil para mejorar el uso eficiente del agua.

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es realizar un estudio sobre la huella hídrica y de Carbono causadas por la explotación de cultivos extensivos de regadío en el sur de Navarra para calcular su impacto utilizando como referencia la gestión de las fincas de una deshidratadora de forrajes situada en la Ribera Baja.

Para el cálculo de las huellas se tomaron los datos de referencia de distintas fincas de los municipios de Buñuel, Corella y Tudela donde se había implantado los cultivos extensivos en regadío de alfalfa, veza, maíz, trigo blando y cebada.

Tras el cálculo de las huellas, su análisis y la interpretación de toda la información, en el último apartado se encuentran las conclusiones de este estudio para comprender el impacto real que supone la explotación de cultivos extensivos de regadío sirviendo para la mejora de la sostenibilidad de su gestión obteniendo que la alfalfa tiene la mayor huella hídrica y que el trigo es el cultivo que más CO<sub>2</sub> fija de los estudiados.

El estudio del impacto de los cultivos extensivos en regadío en las zonas agrícolas más importantes debe potenciarse ya que son cultivos muy significativos y evaluar cada explotación es una buena herramienta para la mejora de su sostenibilidad.

## **SUMMARY**

**Keywords:** Water footprint, Carbon footprint, extensive crops, irrigated lands, greenhouse gas emissions, fixed biomass.

One of the biggest challenges for European agriculture in the following years lies in the reduction of the greenhouse emissions coming from farms, as well as the adaptation to the new scenario that climate change involves. Additionally, the economical and social profitability of the farms can be strengthened by the adoption of the convenient sustainable agricultural practices which reduce the carbon footprint of the agriculture and strength their sink effect.

On the other hand, analyzing the sustainability of the management of extensive farming is needed from a point of view of the consumption of water resource as the water footprint is an indicator that provides a multidisciplinary and transparent framework which can be very useful to improve the efficient water use.

The aim of this Work Order Degree is to carry out a study about the water and carbon footprints caused by the exploitation of extensive corps of irrigated lands in the south of Navarra in order to calculate their impact by using the management of the farms from a forage dehydration plant located in Ribera Baja.

In order to calculate the footprints, the reference data of different farms from the towns of Buñuel, Corella and Tudela where extensive crops in irrigation in alfalfa, vetch, corn, common wheat and barley had been introduced, were taken.

After the calculation of the footprints, their analysis and the interpretation of the whole information, in the last section are the conclusions of this study in order to understand the real impact that the exploitation of extensive crops involves, being useful to the improvement of the sustainability of their management, obtaining that the alfalfa has the best water footprint and that the wheat is the farming that more CO<sub>2</sub> fixes of all the studied.

The study of the impact of the extensive crops in irrigation on the most important agricultural areas must be strengthen as they are very significant crops, and the evaluation of each farm is a good tool for the improvement of their sustainability.

## CONTENIDO

<b>1.- ANTECEDENTES.....</b>	<b>11</b>
1.1.- JUSTIFICACIÓN DEL INTERÉS DEL TRABAJO -----	11
1.2.- DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO -----	11
1.1.1.- CLIMATOLOGÍA -----	13
1.2.- HUELLA HÍDRICA -----	14
1.3.- HUELLA DE CARBONO -----	14
1.4.- CULTIVOS EXTENSIVOS DE REGADÍO -----	15
1.4.1.- ALFALFA -----	16
1.4.2.- MAÍZ -----	17
1.4.3.- VEZA -----	18
1.4.4.- TRIGO -----	19
1.4.5.- CEBADA -----	20
<b>2.- OBJETIVO.....</b>	<b>21</b>
<b>3.- MATERIAL Y MÉTODO.....</b>	<b>23</b>
3.1.- MATERIAL -----	23
3.1.1.- EXPLOTACIÓN -----	23
3.1.2.- PARCELAS DE REFERENCIA -----	23
3.1.2.- CLIMA -----	24
3.2.- MÉTODO -----	24
3.2.1.- PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO -----	24
3.2.2.- VARIABLES CONSIDERADAS -----	28
<b>4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
4.1.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN HUELLA HÍDRICA -----	31
4.1.1.- HUELLA HÍDRICA EN ALFALFA -----	31
4.1.2.- HUELLA HÍDRICA EN MAÍZ -----	36
4.1.3.- HUELLA HÍDRICA EN VEZA -----	38
4.1.4.- HUELLA HÍDRICA EN LA DOBLE COSECHA ANUAL DE VEZA/MAÍZ -----	40
4.1.5.- HUELLA HÍDRICA EN TRIGO -----	40
4.1.6.- HUELLA HÍDRICA EN CEBADA -----	41
4.1.7.- DISCUSIÓN HUELLA HÍDRICA -----	42
4.2.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN HUELLA DE CARBONO -----	44
4.2.1.- HUELLA DE CARBONO EN ALFALFA -----	44
4.2.2.- HUELLA DE CARBONO EN MAÍZ -----	48
4.2.3.- HUELLA DE CARBONO EN VEZA -----	51
4.2.4.- HUELLA DE CARBONO EN TRIGO -----	54
4.2.5.- HUELLA DE CARBONO EN CEBADA -----	56
4.2.6.- DISCUSIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO -----	59
4.3.- EJEMPLO DE APLICACIÓN -----	64
<b>5.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>6.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>69</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.-</b> Superficie de cultivos agrícolas (has.) Por grupos de cultivos. Comarca VII-----	12
<b>Tabla 1.2.-</b> Superficie productiva 2009-2012 comarca VII -----	13
<b>Tabla 3.1.</b> Parcelas referencia-----	23
<b>Tabla 3.2.</b> Resumen precipitaciones (l/m <sup>2</sup> ) -----	25
<b>Tabla 3.3.</b> Ghg emissions (gwp 100 yrs: ipcc, 2007) -----	27
<b>Tabla 3.4.</b> Datos precipitaciones (l/m <sup>2</sup> ) -----	29
<b>Tabla 4.1.</b> Riegos aspersión Corella-----	33
<b>Tabla 4.2.</b> Consumos agua aspersión Corella alfalfa-----	34
<b>Tabla 4.3.</b> Consumos riego a pie finca Pestriz-----	35
<b>Tabla 4.4.</b> Huella hídrica alfalfa-----	36
<b>Tabla 4.5.</b> Consumos en maíz -----	38
<b>Tabla 4.6.</b> Huella hídrica maíz-----	38
<b>Tabla 4.7.</b> Consumos en maíz -----	39
<b>Tabla 4.8.</b> Huella hídrica veza -----	39
<b>Tabla 4.9.</b> Huella hídrica veza/maíz-----	40
<b>Tabla 4.10.</b> Consumos trigo finca Pestriz -----	41
<b>Tabla 4.11.</b> HH trigo -----	41
<b>Tabla 4.12.</b> Consumos cebada Tudela-----	42
<b>Tabla 4.13.</b> HH cebada -----	42
<b>Tabla 4.14.</b> Resumen huella hídrica -----	42
<b>Tabla 4.15.</b> Consumo gasoil siembra alfalfa/ha-----	46
<b>Tabla 4.16.</b> Consumo gasoil cosechado y tratamientos alfalfa/ha -----	46
<b>Tabla 4.17.</b> Abonado ciclo alfalfa/ha -----	47
<b>Tabla 4.18.</b> Biomasa fijada por el ciclo de la alfalfa-----	47
<b>Tabla 4.19.</b> Biomasa fijada por alfalfa en un año-----	47
<b>Tabla 4.20.</b> Huella carbono alfalfa/ha-----	48
<b>Tabla 4.21.</b> Balance final HC alfalfa/ha-----	48
<b>Tabla 4.22.</b> Consumo gasoil siembra maíz/ha-----	50
<b>Tabla 4.23.</b> Abonado maíz/ha -----	50
<b>Tabla 4.24.</b> Biomasa fijada por el maíz-----	50

<b>Tabla 4.25.</b> Huella carbono maíz/ha-----	51
<b>Tabla 4.26.</b> Balance final HC maíz /ha-----	51
<b>Tabla 4.27.</b> Consumo gasoil siembra y cosechado veza/ha-----	52
<b>Tabla 4.28.</b> Abonado veza/ha-----	53
<b>Tabla 4.29.</b> Tabla biomasa fijada por la veza-----	53
<b>Tabla 4.30.</b> Huella carbono veza/ha-----	54
<b>Tabla 4.31.</b> Balance final HC veza/ha-----	54
<b>Tabla 4.32.</b> Consumo gasoil siembra trigo/ha-----	55
<b>Tabla 4.33.</b> Abonado trigo/ha-----	55
<b>Tabla 4.34.</b> Biomasa fijada por el trigo-----	55
<b>Tabla 4.35.</b> Huella carbono trigo/ha-----	56
<b>Tabla 4.36.</b> Balance final HC trigo/ha-----	56
<b>Tabla 4.37.</b> Consumo gasoil siembra cebada/ha-----	57
<b>Tabla 4.38.</b> Abonado cebada/ha-----	58
<b>Tabla 4.39.</b> Biomasa fijada por la cebada-----	58
<b>Tabla 4.40.</b> Huella carbono cebada/ha-----	59
<b>Tabla 4.41.</b> Balance final HC cebada/ha-----	59
<b>Tabla 4.42.</b> Resumen consumos gasoil-----	59
<b>Tabla 4.43.</b> Resumen abonado por cultivo-----	60
<b>Tabla 4.44.</b> Resumen biomasa fijada-----	61
<b>Tabla 4.45.</b> Resumen HC emitida cultivo-----	62
<b>Tabla 4.46.</b> Balance final por cultivo-----	63
<b>Tabla 4.47.</b> Explotación tipo-----	64
<b>Tabla 4.48.</b> Huella hídrica explotación tipo-----	64
<b>Tabla 4.49.</b> Huella de carbono positiva explotación tipo-----	65



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Comarcas agrarias Navarra-----	11
<b>Figura 4.1.</b> Parcelas de referencia B16/0407 y B16/10 (El Borro) -----	31
<b>Figura 4.2.</b> Parcela de referencia B17/357 (Ombatillo) -----	32
<b>Figura 4.3.</b> Parcela de referencia B2/534 (Pestriz) -----	34
<b>Figura 4.4.</b> Consumo de agua de riego en aspersión en Corella -----	35
<b>Figura 4.5.</b> Consumo de agua de riego a pie en Pestriz -----	35
<b>Figura 4.6.</b> Parcela de referencia T20/250 (Montes de Cierzo) -----	37
<b>Figura 4.7.</b> Parcela de referencia B5/622 (La Arena) -----	37
<b>Figura 4.8.</b> Parcela de referencia B2/524 (Pestriz) -----	40
<b>Figura 4.9.</b> Parcela de referencia T12/196 (Navadabel) -----	41
<b>Figura 4.10.</b> Huella hídrica por cultivo-----	43
<b>Figura 4.11.</b> Diagrama de trabajos maquinaria agrícola para la siembra de alfalfa-----	44
<b>Figura 4.12.</b> Diagrama de trabajos maquinaria agrícola para los tratamientos, abonados y cosechado de alfalfa -----	45
<b>Figura 4.13.</b> Porcentaje materia seca de la alfalfa/año -----	48
<b>Figura 4.14.</b> Diagrama de trabajos maquinaria agrícola para la siembra y cosechado de maíz-----	49
<b>Figura 4.15.</b> Porcentaje materia seca del maíz-----	51
<b>Figura 4.16.</b> Diagrama de trabajos maquinaria agrícola para la siembra y cosechado de veza -----	52
<b>Figura 4.17.</b> Porcentaje materia seca de la veza-----	53
<b>Figura 4.18.</b> Diagrama de trabajos maquinaria agrícola para la siembra y cosechado de trigo-----	54
<b>Figura 4.19.</b> Porcentaje materia seca del trigo-----	56
<b>Figura 4.20.</b> Diagrama de trabajos maquinaria agrícola para la siembra y cosechado de cebada -----	57
<b>Figura 4.21.</b> Porcentaje materia seca de la cebada -----	58
<b>Figura 4.22.</b> Consumos de gasoil por ciclo de vida de cultivo -----	60
<b>Figura 4.23.</b> Kg CO <sub>2</sub> eq/ha fertilización de cada cultivo -----	61
<b>Figura 4.24.</b> Biomasa fijada por hectárea de cada cultivo-----	62
<b>Figura 4.25.</b> Huella de carbono emitida de cada cultivo-----	63
<b>Figura 4.26.</b> Balance final de CO <sub>2</sub> eq fijado menos el emitido por ha de cultivo-----	63
<b>Figura 4.27.</b> Porcentaje huella hídrica por cultivos en la explotación tipo -----	65
<b>Figura 4.28.</b> Porcentaje huella de carbono positiva por cultivos en la explotación tipo-----	66



## 1.- ANTECEDENTES

### 1.1.- JUSTIFICACIÓN DEL INTERÉS DEL TRABAJO

El trabajo consiste en un estudio del impacto de los cultivos extensivos de regadío en el Sur de Navarra centrándonos en Alfalfa, Maíz, Veza, Trigo Blando y Cebada, cultivos muy representativos de la agricultura extensiva de la zona. Para ello se va a utilizar el cálculo de la huella hídrica y de Carbono como herramientas para el estudio del impacto producido durante la explotación de dichos cultivos.

En relación con la huella hídrica hay que tener en cuenta que para un año climatológicamente normal, el sector agrícola representa el 80% del agua azul consumida, seguido por la evaporación desde embalses, abastecimiento urbano e industria con un 11%, 3,5% y 1,5%, respectivamente (Salmoral et al, 2011) por ello es importante el estudio del consumo de agua de los regadíos más importantes y el sur de Navarra tiene uno de ellos.

Por otro lado el modelo agrícola hoy existente presenta un balance positivo respecto a la emisión de CO<sub>2</sub> equivalente (se fija más CO<sub>2</sub> que el que se emite) y podría ser todavía mejor en el futuro como consecuencia de los cambios en el manejo de la tierra (Doménech et al, 2010).

Por todo esto es muy importante el estudio del impacto que suponen estos regadíos y realizar un control de la gestión de la tierra para poder conseguir un modelo de explotación lo más sostenible posible.

### 1.2.- DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El estudio se va a realizar en la zona de la Ribera Tudelana (considerada como Ribera Baja) que gracias al Ebro, sus afluentes y el sistema de regadíos, es la zona agrícola por excelencia de Navarra y se realizará en cultivos implantados concretamente en las poblaciones de Tudela, Corella y Buñuel cuya gestión será utilizada como referencia para el cálculo de las huellas.

Figura 1.1. COMARCAS AGRARIAS NAVARRA



Navarra-Zonificación Año 2000

Sólo en la Ribera Baja (zona 7 como muestra la figura 1.1) hay 45.130 ha de Regadío de las 116.530 ha que tiene toda Navarra según datos de Agosto de 2013 obtenidos del Servicio de Oferta Agroindustrial-Estadísticas del INTIA, S.A. (Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias). De las 45.130, 34.487 ha son de superficie (riego a manta, tablas) y 10.643 son a presión (aspersión, localizado). Centrándonos en nuestras localidades de estudio se puede observar que el término de Buñuel tiene 3.232 ha de regadío, Corella 5.065 ha y Tudela 7.272 ha.

La vegetación natural del sur de Navarra ha sido sustituida en su mayor parte por cultivo. Las especies naturales que aparecen son matorral bajo de tomillo (*Thymus vulgaris*), romero (*Rosmarinus officinalis*), esparto (*Stipa tenacissima*) y algunos pinares de repoblación de pino de Alepo (*Pinus halepensis*)(Gobierno de Navarra, 2012).

En cuanto a los usos agrícolas en la Ribera, destaca la aparición de importantes áreas de regadío en los aluviales de los principales ríos; los secanos bordean la aridez, y se hallan ocupados mayoritariamente por cereales, con bajas producciones, y con superficies dedicadas a la viña, olivo y almendro. Las zonas no cultivadas se hallan en su mayor parte cubiertas de matorral o de pastizal-matorral con aprovechamiento ganadero en invierno, y de repoblaciones de pino de Alepo (*Pinus halepensis*) (Gobierno de Navarra, 2012).

Destaca la importancia económica del regadío, donde se cultivan varios productos (tomate, pimiento, alcachofa, etc), frutales de hueso y pepita y grandes extensiones de maíz. En secoano se cultiva el cereal, la vid el olivo y el espárrago, y en áreas reducidas el almendro (Gobierno de Navarra, 2012).

En la tabla 1.1. se puede ver el resumen de 2011 y 2012 por grupos de cultivos tanto en secoano como en regadío en la zona de la Ribera Baja.

**Tabla 1.1.- Superficie\* de cultivos agrícolas (Has.) por grupos de cultivos. Comarca VII**

	2011			2012		
	Secano	Regadío	Total	Secano	Regadío	Total
Cereales grano	15.436	12.373	27.809	15.705	14.334	30.039
Leguminosas grano	969	314	1.283	1.108	110	1.218
Tubérculos consumo humano	0	11	11	0	21	21
Cultivos industriales	13	93	106	16	110	126
Flores y plantas ornamentales	0	2	2	0	2	2
Cultivos forrajeros	125	4.338	4.463	218	4.821	5.039
Hortalizas	0	8.979	8.979	0	8.511	8.511
<b>Total cultivos herbáceos</b>	<b>16.543</b>	<b>26.110</b>	<b>42.653</b>	<b>17.047</b>	<b>27.909</b>	<b>44.956</b>
Cítricos	0	0	0	0	0	0
Frutales	873	2.508	3.381	848	2.421	3.269
Viñedo	253	3.123	3.376	250	3.101	3.351
Olivar	103	1.889	1.992	121	1.934	2.055
Otros cultivos leñosos	0	0	0	0	0	0
Viveros	0	7	7	0	7	7
<b>Total cultivos leñosos</b>	<b>1.229</b>	<b>7.527</b>	<b>8.756</b>	<b>1.219</b>	<b>7.463</b>	<b>8.682</b>

Fuente: Negociado de Estadística. Departamento de Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración Local

\* Superficie de cultivo en ocupación primera o principal, posteriores y asociadas

Las hectáreas cultivadas del 2009 al 2012 de los principales cultivos extensivos en regadío en la zona de la Ribera Baja los muestra la tabla 1.2.

**Tabla 1.2.- Superficie productiva 2009-2012 Comarca VII**

<b>CULTIVO</b>	<b>2009 Regadío (ha)</b>	<b>2010 Regadío (ha)</b>	<b>2011 Regadío (ha)</b>	<b>2012 Regadío (ha)</b>
<b>Trigo blando</b>	1.950	2.296	3.031	3.109
<b>Cebada</b>	2.322	2.484	2.472	3.444
<b>Veza forraje</b>	23	72	21	85
<b>Maíz</b>	5.468	5.332	4.825	5.642
<b>Alfalfa</b>	3.327	3.650	3.490	3.602

Fuente: Negociado de Estadística Agraria y Estudios Agrarios. Departamento de Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración Local

El trigo y la Cebada en la zona de la ribera baja se observa un claro aumento en las hectáreas declaradas y respecto a la veza, el maíz y la alfalfa se mantienen más o menos en el tiempo. El cultivo más sembrado en esta zona es el maíz.

### 1.1.1.- CLIMATOLOGÍA

El clima del sur de Navarra de orografía llana y altitud no superior en general a los 400 m sobre el nivel del mar es de tipo mediterráneo continental, propio de la depresión del Ebro, con inviernos fríos y veranos secos y calurosos, temperaturas con grandes oscilaciones anuales, pocas lluvias e irregulares, menos de 500 mm anuales. La aridez es uno de los principales rasgos del clima de esta zona. Las lluvias son escasas y presentan una fuerte irregularidad intermensual e interanual, con largos períodos en los que no se registra precipitación alguna (Gobierno de Navarra, 2012).

La temperatura media anual varía entre 13,5 y 14,4°C de norte a sur. La zona de la ribera Tudelana tiene unas temperaturas medias máximas que van ascendiendo en primavera de entre 14,5 o 16°C en marzo según zonas, a 20,3 o 23°C en mayo. Las temperaturas máximas medias en julio y agosto varían entre 28,7 y 31°C, y las medias de 22 a 24°C. En Septiembre con máximas medias que rondan en general los 25,5°C. En octubre las temperaturas máximas que superan normalmente los 19,5°C. En noviembre las temperaturas son ya frías, la media de las máximas oscila en torno a 13,5°C y la probabilidad de heladas nocturnas es alta. Por último en invierno la temperatura media de enero, que es el mes más frío, se aproxima a unos 5,5°C, las temperaturas máximas medias varían de 9 a 10°C y la nieve es rara (Gobierno de Navarra, 2012).

El viento es otro elemento destacado del Valle del Ebro, siendo el sentido más frecuente de noroeste a sureste. Se trata del llamado cierzo, viento frío y seco que aparece cuando en el Mediterráneo occidental se forma una borrasca, mientras el Atlántico oriental está ocupado por altas presiones. Puede presentarse en cualquier época del año, pero es más frecuente en primavera (Gobierno de Navarra, 2012).

## **1.2.- HUELLA HÍDRICA**

La huella hídrica se define como el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios producidos por una empresa, o consumidos por un individuo o comunidad. El uso de agua se mide en el volumen de agua consumida, evaporada o contaminada, ya sea por unidad de tiempo para individuos y comunidades, o por unidad de masa para empresas. La huella de agua es un indicador geográfico explícito, que no solo muestra volúmenes de uso y contaminación de agua, sino también las ubicaciones (Salmoral et al, 2011).

La huella hídrica clasifica las fuentes de agua, es decir, distingue entre tres componentes: el agua azul, el agua verde y el agua gris. La huella de agua azul es el volumen de agua dulce consumida de los recursos hídricos del planeta (aguas superficiales y subterráneas). La huella del agua verde es el volumen de agua evaporada de los recursos hídricos del planeta (agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad). La huella de agua gris es aquella que se evapora directamente a la atmósfera, sin haber sido utilizada de manera productiva, e incluye a las pérdidas en aguas abiertas y en la superficie del suelo, también es considerada como la parte no productiva del agua verde (Sotelo et al, 2012).

Este indicador puede apoyar mejoras eficientes en las gestiones de agua y ser un buen soporte para tomar conciencia acerca de los consumos hídricos. Holanda y España han mostrado grandes avances en el desarrollo práctico de la huella del agua (Salmoral et al, 2011).

No debemos olvidar que el agua es mucho más que un recurso natural, dada la relevancia territorial, paisajística y como regulador de ecosistemas del mismo en todo el mundo y adquiere valor como activo socioeconómico (Sotelo et al, 2012).

Los indicadores muestran que en España no hay, con carácter general, escasez de recursos sino limitación en el uso de los mismos, debido al desigual reparto territorial de sus volúmenes disponibles, lo que obliga a una gestión en condiciones de escasez atendiendo a los principios de eficiencia y de suficiencia. A ello se unen los efectos sobre el agua disponible del cambio climático que, se manifiestan en el ámbito Mediterráneo con una reducción de las precipitaciones y un aumento de la evaporación, aspectos que seguirán acrecentándose en las próximas décadas, por lo cual es previsible un incremento en la vulnerabilidad ante los recursos de agua disponibles. La respuesta ante ello debe pasar por una planificación y una gestión adaptada a condiciones de escasez (Sotelo et al, 2012) y para ello la huella hídrica es la mejor herramienta.

## **1.3.- HUELLA DE CARBONO**

La huella de carbono es un certificado en el que miden las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se realizan en la cadena de producción de bienes, desde la obtención de materias primas hasta el tratamiento de desperdicios, pasando por la manufacturación y el transporte. Por tanto la huella de CO<sub>2</sub> es la medida del impacto que provocan las actividades del ser humano en el medio ambiente y se determina según la cantidad de gases de efecto invernadero producidos, medidos en unidades de dióxido de carbono (SAGARPA, 2012).

La huella de carbono representa una medida para la contribución de las organizaciones a ser entidades socialmente responsables y un elemento más de concienciación para realizar prácticas más sostenibles.

Con esta iniciativa se pretende cuantificar la cantidad de emisiones de GEI, medidas en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, que son liberadas a la atmósfera debido a nuestras actividades cotidianas o a la comercialización de un producto. Este análisis abarca todas las actividades de su ciclo de vida (desde la adquisición de las materias primas hasta su gestión como residuo) permitiendo a los consumidores decidir qué alimentos comprar en base a la contaminación generada como resultado de los procesos por los que ha pasado (SAGARPA, 2012).

La medición de la huella de carbono de un producto crea verdaderos beneficios para las organizaciones. Identifica las fuentes de emisiones de GEI de un producto, por lo tanto permite definir mejores objetivos, políticas de reducción de emisiones más efectivas e iniciativas de ahorros de costo mejor dirigidas, todo ello consecuencia de un mejor conocimiento de los puntos críticos para la reducción de emisiones, que pueden o no pueden ser de responsabilidad directa de la organización (SAGARPA, 2012).

La huella de carbono contribuye a (AENOR, 2010):

- La cuantificación, reducción y neutralización de las emisiones de CO<sub>2</sub> en productos y organizaciones en el marco de la mitigación del cambio climático.
- La creación de un mercado de productos y servicios con reducida generación de carbono, dando respuesta a la demanda social y medioambiental actual.
- La identificación de oportunidades de ahorro de costes en las organizaciones.
- La demostración ante terceros de los compromisos de la organización con la responsabilidad social a través de sus requisitos en mitigación del cambio climático.

#### **1.4.- CULTIVOS EXTENSIVOS DE REGADÍO**

El sistema de cultivo a emplear es el extensivo de regadío, el cual requiere de un control de los factores productivos, con el fin de aumentar la productividad por hectárea. Para el efecto, se usarán fertilizantes inorgánicos y órgano-minerales, tratamientos fitosanitarios, no necesita mucha mano de obra ya que está muy automatizado gracias a la maquinaria agrícola y sobre todo es necesario el uso del agua para maximizar los rendimientos (Gobierno de Extremadura 1992).

Los regadíos eventuales se orientan a producciones muy extensivas (cereales o cultivos perennes de gran adaptabilidad como olivo, vid, almendro o espárrago) (Gobierno de Navarra, 2006).

La agricultura extensiva de regadío es una mezcla de la extensiva tradicional en la cual se trata de aprovechar los recursos que te brinda la naturaleza, generalmente se utiliza mucha superficie de terreno y se obtiene poca producción (Gobierno de Navarra, 2006), con la de la agricultura intensiva en la cual se utilizan abonados, tratamientos fitosanitarios y riegos para obtener una explotación lo más rentable posible.

El regadío extensivo lo componen cultivos en sí mismos de carácter extensivo con altísima proporción del terreno de la explotación ocupada por diferentes combinaciones de los siguientes cultivos: maíz (grano o forrajero), trigo (blando y duro), alfalfa (heno y semilla), girasol oleaginoso, cebada y veza entre otros (Gobierno de Navarra, 2006).

Se practica en explotaciones medianas y grandes que se complementan normalmente con base territorial en secano. En estas alternativas no se incluye el barbecho pero, ocasionalmente, entre cultivos aparecen periodos prolongados con ciertas parcelas vacías (Gobierno de Navarra, 2006).

A continuación se va a realizar una descripción de los cultivos extensivos que van a ser estudiados, muy típicos de las zonas de regadío del Sur de Navarra y suelen cultivarse en las rotaciones de cultivos de las deshidratadoras de forrajes de la zona.

Para las deshidratadoras el cultivo principal es la Alfalfa que dura como se explicará con más detalle a continuación entre 4 y 6 años, luego se suelen realizar rotaciones con otros cultivos distintos durante unos 4 ó 5 años más, principalmente con veza forrajera, maíz, trigo y/o cebada.

#### 1.4.1.- ALFALFA

La alfalfa, cuyo nombre científico es *Medicago sativa*, es una planta herbácea perteneciente a la familia de las fabáceas o Leguminosae.

Tiene un ciclo vital de entre cuatro y siete años, dependiendo de la variedad utilizada, así como del clima; en condiciones adecuadas puede llegar a doce años. Llega a alcanzar una altura de 1 metro, desarrollando densas agrupaciones de pequeñas flores púrpuras. Sus raíces suelen ser muy profundas, pudiendo medir hasta 4,5 metros, de esta manera, la planta es especialmente resistente a la sequía (Alibes et al, 1984).

Es una especie que muestra auto toxicidad, por lo que es difícil para su semilla crecer en cultivares de alfalfa ya existentes. Así, se recomienda realizar rotaciones durante un mínimo de 4 años con otras especies (por ejemplo veza, maíz o trigo) antes de resembrar (Alibes et al, 1984).

Endémica de Asia Menor y la cuenca mediterránea (*Medicago sativa* subsp. *sativa*) y del norte de Eurasia (*M. sativa* subsp. *falcata*). Cultivada mundialmente. En la Península Ibérica existen importantes superficies cultivadas en el valle del Ebro y en el valle del Duero (Herbario UPNA, 2014).

Adaptada a un amplio rango climático. Tolera el calor y es bastante resistente a la sequía y también puede soportar bajas temperaturas (subsp. *falcata*). Necesita terrenos profundos y permeables, de reacción neutra o básica (pH óptimo de 7,5) y tolera la salinidad pero no el encharcamiento (Herbario UPNA, 2014).

Se establece en regadío como cultivo monófito, y en secano sola o mezclada con una gramínea. En la Península, las mayores superficies de regadío se siembra con alfalfa de ecotipo Aragón



(población natural de alfalfa erecta adaptada por selección natural al medio climático y edáfico del Valle medio del Ebro, la cual va a ser utilizada en nuestro estudio). Existen otros ecotipos como Tierra de Campos y Ampurdán, más adecuados para secanos frescos (Herbario UPNA, 2014).

Rápida germinación e implantación. Dosis de siembra: 35-40 kg/ha. Se pueden realizar las siembras en las estaciones de otoño y primavera y la vida productiva media en la zona del Valle medio del Ebro de un alfalfar es de 4- 6 años (Alibes et al, 1984).

En regadío es una planta muy productiva y de crecimiento sostenido a lo largo del verano (Herbario UPNA, 2014). La producción anual oscila entre 10-20 t/ha en seco (Alibes et al, 1984). En secano sus producciones son menores y dependen en buena parte del régimen pluviométrico y de las características texturales del suelo. Su valor nutritivo es excelente debido a su alto contenido proteico (hasta 22% PB) y su elevada digestibilidad (Herbario UPNA, 2014)

La principal forma de aprovechamiento de la alfalfa es la siega. En regadío, permite la realización de 5-6 cortes cada 25-35 días. El forraje puede consumirse en verde o conservarse mediante henificado o deshidratado (la alfalfa deshidratada representa el 10% del total de alfalfa producida y es la forma de aprovechamiento que vamos a estudiar). Las alfalfas de porte semierecto o postrado suelen aprovecharse de forma mixta o mediante pastoreo (Herbario UPNA, 2014).

#### 1.4.2.- MAÍZ

El maíz, cuyo nombre científico es *Zea Mays*, perteneciente a la familia Gramineae originaria de la América tropical. Actualmente, es el cereal con el mayor volumen de producción a nivel mundial, superando incluso al trigo y al arroz (Herbario UPNA, 2014).

Óptimo de crecimiento entre los 20-30 °C. No tolera el frío ni la sequía y es exigente en agua. Se adapta a distintas condiciones edáficas, pero resiste mal el encharcamiento (Herbario UPNA, 2014).

Es un cultivo monófito de verano, se siembra en regadíos y en secanos frescos. En la actualidad, es un cultivo muy empleado en las rotaciones forrajeras intensivas (Alfalfa) (Herbario UPNA, 2014).

Cultivo anual. Para la obtención de grano se aconseja una densidad de siembra de 80.000-100.000 plantas/ha. La nascencia se produce rápidamente a partir de los 15°C.

Se trata de un cultivo muy productivo (10-15 t/ha). Presenta un alto contenido en azúcares solubles que garantizan un elevado aporte de energía y una adecuada ensilabilidad. Los contenidos proteicos son bajos (6-9% PB). La digestibilidad de la planta entera es elevada y relativamente independiente del momento de corte (la producción de grano compensa la pérdida de digestibilidad del resto de la planta). Se utiliza para alimentación animal tanto el grano (formulación de piensos, alimentación de monogástricos) como la planta entera (alimentación de rumiantes) (Herbario UPNA, 2014).

Existe en el mercado una gran oferta de variedades que se agrupan según la duración de su ciclo vegetativo. Las variedades ultra precoces (C100) tienen un ciclo menor a 80 días. Las variedades muy tardías (C900-C1000) son más productivas pero tardan más de 140 días en llegar a su madurez fisiológica. En la Península Ibérica se emplean variedades de ciclo largo (C600-C900) salvo en las regiones del noroeste donde se cultivan principalmente variedades de ciclo medio (C400-500) y corto (C200-C300) (Herbario UPNA, 2014).

Si se cultiva el maíz para forraje puede cosecharse con mayor humedad, lo que permite emplear variedades de ciclos más largos que los recomendados para producción de grano. Aunque es habitual la siembra de las mismas variedades para grano y para forraje (Herbario UPNA, 2014).

#### 1.4.3.- VEZA

La veza, cuyo nombre científico es *Vicia sativa L.*, es una especie de planta herbácea perteneciente a la familia de las fabáceas o Leguminosae. Originaria del centro y sur de Europa y del área mediterránea. En la Península Ibérica aparece espontáneamente en casi todo el territorio. En el sur de la Península y en las dos mesetas se cultivan variedades de otoño y en las zonas montañosas templadas variedades de primavera (Herbario UPNA, 2014).

Versátil, adaptada tanto a ambientes mediterráneos como templados. Resiste altas temperaturas pero necesita precipitaciones superiores a los 350 mm anuales. Soporta mal el exceso de humedad, siendo su cultivo impracticable en suelos encharcados. No tolera la salinidad (Herbario UPNA, 2014).

Puede establecerse como cultivo monófito, pero se aconseja sembrar la veza con un cereal (avena, cebada) o una gramínea pratense (raygrás italiano) que ejercen de tutor. Se cultiva preferentemente en secano, en diferentes épocas del año. Las variedades de otoño se siembran en esa estación y se cosechan al final de la primavera (mayo-junio). Las variedades de primavera, adecuadas para áreas de inviernos rigurosos, se siembran a inicios de la primavera y completan su ciclo en verano. Finalmente, en algunos regadíos cálidos (valle del Ebro) se siembra la veza en verano, tras la recogida del cereal, y se siega cuando la masa vegetativa es importante, a inicios del invierno, para dar en verde a los animales (Herbario UPNA, 2014).

Fácil implantación en campo. Dosis de siembra variable: 100-150 kg/ha, dependiendo de la proporción veza/tutor que se desea conseguir. Se aconseja que la proporción de la gramínea varíe entre el 25-30% del peso de la veza. Asimismo se recomienda el uso de semilla inoculada en caso de que se siembre veza por vez primera en esa parcela. Persistencia anual (Herbario UPNA, 2014).

Como forraje, las producciones, oscilantes (3-8 t/ha) (Gobierno de Aragón, 2007), dependen de la cantidad de lluvia y de su distribución los meses anteriores a la cosecha. El valor nutritivo del forraje es alto. Si se siembra con una gramínea el forraje que se obtiene es muy equilibrado, con buenos contenidos proteicos (6-16% de proteína bruta) y altos contenidos minerales. El forraje tiene un sabor amargo que provoca cierto rechazo en bovino. Las plantas jóvenes

contienen un glucósido llamado vicina, que se degrada en ácido cianhídrico, tóxico para los animales. En plantas adultas ese contenido es insignificante, por ello se consume la veza en estado adulto y asociada a una gramínea (Herbario UPNA, 2014).

Se aprovecha generalmente mediante una única siega final en estado de legumbres inmaduras (período entre la floración y la formación de las vainas), momento en que se logra la máxima producción de materia seca sin perjuicio de la calidad. Se suele henificar, aunque también puede darse en verde, ensilarse o deshidratarse. Los aprovechamientos a diente durante su ciclo disminuyen el rendimiento de la cosecha final (Herbario UPNA, 2014).

**Varietades:** Aitana, Aneto, Armantes, Barril, Cobra, Dadivosa, Filon, Gravesa, Kira, Mezquita, Neska, Nitra, Vereda entre otras (Herbario UPNA, 2014).

El grano de veza se utiliza en la producción de piensos y en alimentación de aves. Es rico en vicina, por lo que se recomienda suministrarlo mezclado con otros granos en los que la proporción de veza no supere el 20-30% (Herbario UPNA, 2014).

#### 1.4.4.- TRIGO

**Trigo** (*Triticum* spp) es el término que designa al conjunto de cereales, tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género *Triticum*; son plantas anuales de la familia de las gramíneas, ampliamente cultivadas en todo el mundo (Suttie, 2013).

El trigo es uno de los tres granos más ampliamente producidos globalmente, junto al maíz y el arroz y el más ampliamente consumido por las personas en la civilización occidental desde la antigüedad (Suttie, 2003).

Se distinguen dos especies principalmente: El trigo blando (*Triticum aestivum*) se emplea fundamentalmente para la elaboración de harinas y a su vez en panificadoras. Hay numerosas variedades como Marius, Fortín, Andana, Nogal, Botticelli, García,... En segundo lugar el trigo duro (*Triticum durum*) tiene excesivo gluten y no es elástico, por lo que da un pan correoso amarillento y sin volumen. Por ello se utiliza para pastas y sémolas (Genvce, 2007).

El trigo crece en ambientes con las siguientes características (Suttie, 2003):

**Clima:** temperatura mínima de 3 °C y máxima de 30 a 33 °C, siendo una temperatura óptima entre 10 y 25 °C.

**Humedad:** requiere una humedad relativa entre 40 y 70%; desde el espigamiento hasta la cosecha es la época que tiene mayores requerimientos en este aspecto, ya que exige una humedad relativa entre el 50 y 60% y un clima seco para su maduración.

**Agua:** tiene unos bajos requerimientos de agua, ya que se puede cultivar en zonas donde caen precipitaciones entre 25 y 2800 mm anuales de agua, aunque un 75% del trigo crece entre los 375 y 800 mm. La cantidad óptima es de 400-500 mm/ciclo.

**Suelo:** los mejores suelos para su crecimiento deben ser sueltos, profundos, fértiles y libres de inundaciones, y deben tener un pH entre 6,0 y 7,5; en terrenos muy ácidos es difícil lograr un adecuado crecimiento.

La siembra en cultivos rotativos de trigo ayuda a mejorar la estructura de los mismos, y les proporciona mayor aireación, permeabilidad y retención de humedad (Sattie, 2013).

La Siembra viene determinada por el tipo de variedades y el lugar en el que se va a cultivar. En el de invierno se hace normalmente entre octubre y noviembre. En zonas muy frías se puede avanzar al mes de septiembre para que cuando llegue el frío la planta ya presente cuatro hojas. Los de primavera entre el 15 de febrero y el 1 de abril y los alternativos en fechas intermedias (Genvce, 2007).

#### 1.4.5.- CEBADA

La Cebada, cuyo nombre científico es *Hordeum vulgare* L, perteneciente a la familia Gramineae, cultivo expandido en todo el mundo, aunque es endémica de las regiones del Próximo Oriente y del Mediterráneo, donde fue domesticada en el periodo neolítico (Herbario UPNA, 2014).

Gran amplitud climática. Tolera las bajas temperaturas y resiste bien la sequía, aunque necesita agua al inicio de su desarrollo. Amplio margen de tolerancia al grado de acidez edáfica. Tolera la salinidad pero no los suelos encharcados y arcillosos. Puede desarrollarse bien en suelos pedregosos y poco profundos (Herbario UPNA, 2014).

Se establece como cultivo monófito y también se utiliza mezclada con otras gramíneas (para prolongar el periodo de aprovechamiento) o con leguminosas. (Herbario UPNA, 2014).

Fácil implantación. Existen variedades de ciclo largo, más productivas y adecuadas para siembras otoñales y variedades de ciclo corto, adecuadas para siembras de invierno-primavera. Dosis de siembra de 150-250 kg/ha. Persistencia anual (Herbario UPNA, 2014).

Su producción de grano varía entre 5-8 t/ha en regadío, los secanos los rendimientos disminuyen a 3-4 t dependiendo de las precipitaciones del año. Desde el punto de vista nutritivo es un alimento con un alto contenido energético aunque pobre en proteína. Presenta un gran valor estratégico, al igual que otros cereales, en la programación de la alimentación del ganado en épocas de escasez, como la estival (Herbario UPNA, 2014).

Tradicionalmente, el grano de cebada se ha cosechado y se ha suministrado a los animales en pesebre, aprovechándose el rastrojo de la cosecha para pastoreo estival. En la actualidad se llevan a cabo diferentes prácticas: pastoreo invernal del follaje (despunte invernal), siega y henificado o ensilado en estado de grano lechoso-pastoso, pastoreo estival de la planta seca en pie (grano y forraje). El aprovechamiento directo mediante pastoreo es factible porque la espiga no desgrana fácilmente (aunque no es aconsejable esperar demasiado para evitar la caída de la espiga seca al suelo), aunque las largas aristas pueden dificultar el consumo animal (Herbario UPNA, 2014).

Aunque tradicionalmente se han utilizado cebadas de seis carreras (cebada caballar) para alimentación animal, también se emplean en la actualidad cebadas de dos carreras (cebada cervecera) que presentan un menor contenido en fibra. (Herbario UPNA, 2014).

## 2.- OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es estudiar el impacto que causa la agricultura extensiva de regadío del sur de Navarra mediante el uso de los indicadores de huella Hídrica y de Carbono.

El cambio climático es actualmente el reto de desarrollo por excelencia de este siglo y que entraña enormes dificultades de adaptación para los agricultores. Además de responder al reto de la adaptación, los exportadores de alimentos han de responder a la exigencia, cada vez más frecuente, de los minoristas de que midan las emisiones de gases de efecto invernadero de sus productos. A raíz de ello, en los últimos años ha aparecido un gran número de requisitos de mercado que entrañan nuevos obstáculos potenciales y también nuevas oportunidades para los exportadores.

Por otro lado con la Huella Hídrica buscamos aproximarnos al uso eficiente del agua y el control de su contaminación, objetivo fundamental en la búsqueda de la sostenibilidad.



### 3.- MATERIAL Y MÉTODO

A continuación se va a realizar una descripción de la metodología y los datos para calcular las huellas hídricas y de Carbono de los cultivos.

#### 3.1.- MATERIAL

##### 3.1.1.- EXPLOTACIÓN

Para la realización de este estudio se van a tomar los datos de las fincas gestionadas por la deshidratadora Productos Agropecuarios Hnos. Oliver, S.L. localizada en Buñuel, la cual se dedica a la explotación y deshidratación principalmente de alfalfa llegando a controlar más de 1.700 ha de este cultivo, y también cultiva fincas de maíz, veza, trigo y cebada.

Vamos a utilizar los datos de referencia de la gestión de las fincas de ésta deshidratadora en la zona sur de Navarra para calcular las huellas y el material con el que se va a trabajar se ha recopilado desde el 2009 hasta el 2013 gracias a la base de datos de la explotación.

La explotación dispone de cuadernos de campo donde se registran los trabajos en los cultivos y los consumos de abonado, gasoil, y los rendimientos de cosechas. También disponen de una base de datos con toda la maquinaria agrícola en la empresa que gestiona las fincas con sus tractores, aperos y consumos.

##### 3.1.2.- PARCELAS DE REFERENCIA

Las parcelas de referencia que vamos a utilizar para el estudio están en la tabla 3.1 y utilizaremos sus datos de explotación para estudiar las huellas hídricas y de carbono.

Tabla 3.1. PARCELAS REFERENCIA								
REF.	TERMINO	POL	PAR	SUP (ha)	CULTIVO	F. SIEMBRA	F. COSECHA	REND. Kg/ha
C16/0407	CORELLA	16	5004 5007	9,92	Alfalfa	mar-09	6 cos./año	13.500 ha/año
C16/10	CORELLA	16	5010	5,37	Alfalfa	mar-09	6 cos./año	13.500 ha/año
C17/357	CORELLA	17	357	3,5	Alfalfa	mar-09	6 cos./año	13.500 ha/año
B2/534	BUÑUEL	2	534	14,34	Alfalfa	sep-08	6 cos./año	13.500 ha/año
T20/250	TUDELA	20	250	6,69	Veza/maíz	dic-11/may-12	abr-12/ene-13	4.500/8.950
B5/622	BUÑUEL	5	622	1,38	Veza/maíz	oct-11/may-12	abr-12/nov-12	3.700/8.889
B2/524	BUÑUEL	2	524	6,62	Trigo	nov-12	jul-13	7.954
T12/196	TUDELA	12	196	1,67	Cebada	nov-12	jul-13	7.299

### 3.1.2.- CLIMA

Las precipitaciones en los años de referencia para realizar el estudio en los términos donde están ubicadas las parcelas de referencia se muestra en la tabla 3.2.

<b>AÑO</b>	<b>Buñuel</b>	<b>Corella</b>	<b>Tudela</b>
<b>2009</b>	293,4	348,6	305,9
<b>2010</b>	213,0	225,2	256,8
<b>2011</b>	336,5	335,1	334,6
<b>2012</b>	299,2	382,2	373,3
<b>2013</b>	412,3	446,9	497,0
<b>TOTAL</b>	<b>1.554,4</b>	<b>1.738,0</b>	<b>1.767,6</b>

Datos de Meteorología y Climatología de Navarra

Se observa que las precipitaciones son similares en los 3 municipios y hay una tendencia en aumento de los l/m<sup>2</sup> a lo largo de los 5 años y la localidad con más lluvias es Tudela y la que menos Buñuel aunque las diferencias son mínimas.

En relación a las temperaturas de las localidades de estudio, sus medias anuales según el departamento de Meteorología y Climatología de Navarra son en Buñuel de 14,0°C, en Corella de 13,3°C y en Tudela de 13,4°C.

### 3.2.- MÉTODO

Se va a describir a continuación los procedimientos de cálculo y las variables a considerar para el cálculo de las huellas.

#### 3.2.1.- PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO

##### a) HUELLA HÍDRICA

Este apartado presenta la metodología empleada para el cálculo de la huella hídrica clásica (metodología basada en los estudios de Hoekstra et al (2011) – sin considerar la huella gris – y Garrido et al (2010).

Para el cálculo se van a obtener la huella verde (precipitaciones) y la azul (riegos) y la suma de ellas dará el resultado de la huella hídrica obteniendo el agua total que consume cada cultivo.

##### **La huella hídrica verde/ha:**

La huella hídrica verde queda definida por la precipitación (ETg, m<sup>3</sup>/ha), mediante los datos del departamento de Meteorología y climatología del Gobierno de Navarra.

Para los cálculos de Garrido et al (2010), se tuvo en cuenta el consumo de agua durante el período de siembra, crecimiento y producción de la planta.



### **La huella hídrica azul/ha**

Para determinar la huella hídrica azul (ETb, m<sup>3</sup>/ha) en función del consumo de agua de riego por cultivo y sistema de explotación, según la información recogida de los contadores de agua de las fincas de aspersión y de la información obtenida de los sindicatos de Riegos.

### **Superficies de cultivo y huella hídrica de las fincas**

La huella hídrica (HH, m<sup>3</sup>) quedaría calculada como la suma de la componente de evapotranspiración del agua verde y azul de cada cultivo, multiplicadas por las superficies de cultivo correspondientes (Salmoral et al, 2011):

$$HH = \Sigma[(ETg \cdot Sirr) + (ETb \cdot Sirr)]$$

Donde,

Sirr = superficie en riego (ha)

### **b) HUELLA DE CARBONO:**

La huella de carbono es el indicador de la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) generados y emitidos durante la explotación de los cultivos y se considera los 6 GEI identificados en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) (Frohmann, 2012).

La Huella de Carbono (HC) se mide en toneladas o en Kilogramos equivalentes de dióxido de carbono (t CO<sub>2</sub>eq ó Kg CO<sub>2</sub>eq) (Frohmann, 2012).

El CO<sub>2</sub> eq se calcula multiplicando las emisiones de cada uno de los 6 GEI por su potencial de calentamiento global al cabo de 100 años (Frohmann, 2012).

Para el cálculo de las emisiones de GEI en la explotación vamos a tener en cuenta las emisiones directas debidas al uso de Fertilizantes (liberan óxido nitroso en su aplicación aunque el óxido nitroso se produce en cantidades más pequeñas que el dióxido de carbono, su alto potencial de calentamiento, hace que su impacto sea más fuerte (Doménech et al, 2010) y en la maquinaria (los tractores), que utiliza el gasoil como combustible.

El factor de emisión que vamos a utilizar es la tasa media de emisiones de una determinada fuente, por unidad de actividad (por ejemplo litros de gasoil utilizados). Nuestras fuentes de emisión son los litros de gasoil y los Kg de fertilizante (Frohmann, 2012).

$$E = NA \times Fe$$

Donde:

E=emisión

Fe = Factor emisión

NA= Nivel de actividad de la fuente estimada

El factor de emisión del Gasoil (litros) es **2,79 kg CO<sub>2</sub>/l de gasoil** según la guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la Generalitat de Catalunya.

Por otro lado para el cálculo del impacto que suponen los fertilizantes se cogen los Kg utilizados para el abonado de cultivo y con la tabla 3.3. se realiza la conversión a Kg de CO<sub>2</sub> equivalentes.

**Tabla 3.3. GHG emissions (GWP 100 yrs: IPCC, 2007)**

fertilizer product		nutrient content	fertilizer production	fertilizer use (soil effects)					fertilizer production + use	
			at plant gate	CO <sub>2</sub> from urea hydrolysis	direct N <sub>2</sub> O from use	indirect N <sub>2</sub> O via NH <sub>3</sub>	indirect N <sub>2</sub> O via NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub> from liming and can	total	total
			kg CO <sub>2</sub> -eq/ kg product							kg CO <sub>2</sub> -eq/kg product
Ammonium nitrate	AN	33.5% N	1.18	0.00	1.26	0.01	0.35	0.27	3.06	9.14
Calcium ammonium nitrate	CAN	27% N	1.00	0.00	0.89	0.01	0.28	0.20	2.40	8.88
Ammonium nitrosulphate	ANS	26% N, 14% S	0.83	0.00	1.10	0.02	0.27	0.40	2.62	10.09
Calcium nitrate	CN	15.5% N	0.68	0.00	0.65	0.00	0.16	0.00	1.50	9.67
Ammonium sulphate	AS	21% N, 24% S	0.58	0.00	0.98	0.02	0.22	0.50	2.30	10.95
Ammonium phosphates	DAP	18% N, 46% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.73	0.00	0.76	0.01	0.19	0.34	2.03	11.27
Urea	Urea	46% N	0.91	0.73	2.37	0.28	0.48	0.36	5.15	11.19
Urea ammonium nitrate	UAN	30% N	0.82	0.25	1.40	0.10	0.32	0.24	3.13	10.43
NPK 15-15-15	NPK	15% N, 15% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 15% K <sub>2</sub> O	0.76	0.00	0.56	0.01	0.16	0.12	1.61	10.71
Triple superphosphate	TSP	48% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.27	0.56
Muriate of potash	MOP	60% K <sub>2</sub> O	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.43

*Mineral Fertilizer Carbon Footprint References Values: 2011*

Tras señalar las cantidades desprendidas de CO<sub>2</sub> debido a los cultivos, el siguiente paso es indicar las cantidades de CO<sub>2</sub> absorbidas por las plantas, lo que se traduce en su crecimiento y la consiguiente producción de biomasa (BELSEL, S.A., 2007). Para determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> fijada es necesario tener en cuenta las cosechas, los subproductos y los rastrojos generados.

Se conoce de esta manera la producción de biomasa de cada planta o lo que es capaz de crecer en un año, utilizándose en su análisis una serie de coeficientes equivalente por hectárea y por kilo de producto obtenido.

Aproximadamente la mitad de la biomasa de una planta es carbono nos referimos a peso seco, pues del peso en vivo la mitad es agua. Para pasar a CO<sub>2</sub> ese carbono basta por multiplicar la cifra por 3,66. La explicación de este factor de multiplicación es, simplificando, que cada vez que la planta, en su proceso de fotosíntesis, atrapa una molécula de CO<sub>2</sub> (peso molecular de 44 g) se queda con el carbono (12 g) para incorporarlo como celulosa a su estructura y liberando al medio ambiente el oxígeno (32 g). Luego  $44/12 = 3,66$  y así sacar los Kg de CO<sub>2</sub> fijado por la planta a lo largo de su vida (Montero et al, 2005)

### 3.2.2.- VARIABLES CONSIDERADAS

#### **HUELLA HÍDRICA:**

##### a) PRECIPITACIONES

Para calcular la HH de explotaciones al aire libre es necesario saber las precipitaciones que hubo durante el ciclo de vida del cultivo estudiado ya que estas condicionan los riegos necesarios para su desarrollo y al final el agua consumida por la planta es la suma de los riegos y las precipitaciones.

Para ello se han sacado los datos de la página del Gobierno de Navarra de Meteorología y climatología de Navarra donde reflejan datos diarios y mensuales de las precipitaciones en todas las localidades de Navarra.

Se han cogido los datos de los últimos 5 años (2009/2013) de las localidades donde estaban implantados los cultivos (Buñuel, Corella y Tudela) y se reflejan en la tabla 3.4.:

	Tabla 3.4. DATOS PRECIPITACIONES (l/m2)														
	2009			2010			2011			2012			2013		
	Buñuel	Corella	Tudela	Buñuel	Corella	Tudela	Buñuel	Corella	Tudela	Buñuel	Corella	Tudela	Buñuel	Corella	Tudela
<b>Enero</b>	7	9,8	11	31,8	26,3	32,6	16,7	20,1	14,8	6,3	6,4	8	32,8	26,6	32,6
<b>Febrero</b>	41,4	40,4	43,5	28,8	29,6	29,5	14,3	13,2	20,7	1,8	2,9	3,3	49,8	51,7	57
<b>Marzo</b>	8	12,5	10,1	20,3	16	20,6	58,6	66,8	67,6	13,6	10,6	15,4	64,5	68,9	77,1
<b>Abril</b>	61,5	34,5	46,9	11,3	22,5	14	14,2	39,4	21	40	78,1	56,8	53	61,4	68
<b>Mayo</b>	26,1	75,2	34,6	33,8	36,3	49,5	38,4	28,7	40,2	23,7	22,2	26,3	44	53,5	58,9
<b>Junio</b>	7,3	13,8	19,5	17,5	24	32,8	31,4	47,3	41,2	16,7	29	35,5	35,8	55,7	49
<b>Julio</b>	4,7	0,2	0,5	6	7,1	18,5	14,8	10,1	26,5	8,4	2,9	4	34,9	4,9	4,6
<b>Agosto</b>	20,8	21,8	6,4	0,8	0,3	1	3,5	2,3	4,7	9,5	11,5	25	4,7	29,6	17,5
<b>Septiembre</b>	12,3	9,8	12,9	4,9	10,5	6,4	60,8	3,5	10	29,9	26,6	22,9	14,1	6,5	3,3
<b>Octubre</b>	32,9	36	36,5	24,7	17,9	22,4	7,1	18,4	12,3	124,8	133,6	128,8	41,5	54,9	92,1
<b>Noviembre</b>	29,4	37,7	38,2	20,1	20,6	17,7	68,3	77	62,9	21	56,9	41,9	30,1	29,7	31,2
<b>Diciembre</b>	42	56,9	45,8	13	14,1	11,8	8,4	8,3	12,7	3,5	1,5	5,4	7,1	3,5	5,7
<b>TOTAL</b>	<b>293,4</b>	<b>348,6</b>	<b>305,9</b>	<b>213</b>	<b>225,2</b>	<b>256,8</b>	<b>336,5</b>	<b>335,1</b>	<b>334,6</b>	<b>299,2</b>	<b>382,2</b>	<b>373,3</b>	<b>412,3</b>	<b>446,9</b>	<b>497</b>

Datos de Meteorología y Climatología de Navarra

## b) CONSUMOS DE AGUA

Los registros de consumos de agua de las fincas estudiadas, lecturas de los contadores en caso de las aspersiones y cálculos de gasto de agua por el caudal de los riegos a manta.

Hay que hacer una separación entre las aspersiones y los riegos a pie porque la forma de riego y los consumos de agua son muy distintos, así como la forma de recopilar estos datos. Las aspersiones afortunadamente tienen contadores en cada finca donde se pueden observar fácilmente los metros cúbicos consumidos en el riego y tenemos una base de históricos donde se registraban estos datos. Por lo otro lado se dispone un control del agua consumida por los sindicatos de riego donde se pueden obtener también dicha información.

Los datos del riego a pie por otro lado han sido más complicados de obtener porque no suelen tener contadores de agua y no en todas las fincas se conoce el caudal real que se está utilizando en el riego. Al final se ha realizado una estimación media mediante el cálculo de los metros cúbicos de agua que se gastan en cada riego por hectárea de finca regada, dependiendo del tipo de tierra y la climatología.

## **HUELLA CARBONO:**

### a) GASOIL

Cada tractorista apunta cada vez que reposta el gasoil-B y las horas de trabajo de la máquina. Se han realizados unas cálculos medios por tractores y aperos con los que trabajan para realizar el cálculo de los consumos globales de carburante que se utiliza para la explotación de las fincas.

### b) FERTILIZANTES

Los gastos de fertilizantes también se controlan año a año en el cuaderno de campo, además Buñuel también está dentro de la zona vulnerable a la contaminación de nitratos con lo cual hay que llevar un control especial en ella.

### c) RENDIMIENTO

Para el cálculo del CO<sub>2</sub> eq fijado por los cultivos se tienen también los datos de fechas de siembra, cosechado, los rendimientos y humedades en los cuadernos de explotación de la explotación para el cálculo de la materia seca producida por cada cultivo.

Se calcula de cada cultivo toda la materia seca que lo compone, desde la parte aérea hasta las raíces (Doménech et al, 2010). Los cálculos de las partes aéreas se obtienen de las cosechas y los subproductos extraídos que se pesan y se mide la humedad en la deshidratadora. La materia seca de las raíces se obtiene mediante el un cálculo medio de la profundidad y el tipo de raíz de cada cultivo.

## 4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN HUELLA HÍDRICA

Vamos a calcular la huella hídrica para ello tenemos que calcular las huellas azules (riegos) y verdes (precipitaciones) de cada cultivo y realizar un estudio de la huella de cada uno de ellos individual y globalmente tanto por hectárea de cultivo como el impacto que supondría una explotación tipo con los 5 cultivos.

#### 4.1.1.- HUELLA HÍDRICA EN ALFALFA

La huella hídrica en alfalfa va a ser estudiada para el riego en aspersión y a pío o manta y va a ser calculada para todo su ciclo vital que al ser plurianual, en este caso es de una media de 5 años. Los riegos a manta y en aspersión son muy distintos en cuanto a frecuencias y consumos por lo tanto se va a realizar un estudio separado de huella hídrica.

Los riegos por aspersión son de poca cantidad de agua y mucha frecuencia, entre 2 y 5 riegos semanales de marzo a septiembre u octubre, en cambio los riegos a manta son con grandes cantidades de agua y poca frecuencia, según la pluviometría del año puede oscilar entre 10- 12 riegos en el año de marzo a septiembre u octubre. Estas cantidades de agua y frecuencia de riego varían principalmente dependiendo de la fecha de siembra, del tipo de suelo, la climatología y las dotaciones de agua.

#### a) DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO EN LAS PARCELAS DE REFERENCIA

En cuanto a las fincas con riego por aspersión tenemos como referencia las parcelas del cuadro 4.1.

**Figura 4.1. PARCELAS DE REFERENCIA C16/0407 Y C16/10 (El Borro)**



Ortofoto 2012 (SIGPAC)

**Figura 4.2. PARCELA DE REFERENCIA C17/357 (Ombatillo)**



Ortofoto 2012 (SIGPAC)

Para la aspersión, las fincas estudiadas cuyas imágenes se muestran en las figuras 4.1. y 4.2. están en Corella en el paraje del Borro y Ombatillo, sembradas a comienzos de marzo de 2009 con semilla *Medicago sativa* Ecotipo Aragón con una dosis de siembra de 35 Kg/ha. Para hacer nacer la semilla cuando se siembra sobre todo en Primavera, hay que mantener constantemente el suelo con humedad hasta que la semilla germinada consigue sacar sus primeras hojas a la superficie mediante riegos diarios de aproximadamente una hora. Las siembras de otoño normalmente suelen nacer sin la necesidad de casi riegos ya que las lluvias suelen hacerla nacer. Una vez nacida la alfalfa el riego disminuye hasta la frecuencia normal para el desarrollo del cultivo que varía, como hemos dicho según la zona y la climatología.

A la alfalfa se le realizan 5, 6, incluso 7 cortes si el clima es muy bueno en la zona del sur de Navarra y a partir del quinto se mantienen sin necesidad de regarlos mediante las lluvias otoñales.

A continuación en la tabla 4.1. se muestra el calendario de riego que hubo en las aspersiones de Corella en el año 2013 para poder observar un ejemplo de la organización de los riegos durante una campaña. El año de ejemplo fue bastante lluvioso en el que llegó a caer 446,9 l/m<sup>2</sup>. El marco de aspersión de la finca es de 18 x 15 de distancia entre aspersores con una pluviometría media de 6,62 l/m<sup>2</sup> con boquillas de 4,4 y 2,4 mm una presión de trabajo de 35 (mca) y un caudal de 1.790 l/h.

Los riegos como se van a poder ver son más o menos frecuentes con un caudal de 10 l/m<sup>2</sup> y su periodicidad depende de la época y de las precipitaciones. En el año 2013 comenzaron en abril y terminaron en septiembre realizando un consumo anual de agua de riego de 800 l/m<sup>2</sup>.



Tabla 4. 1. RIEGOS ASPERSIÓN CORELLA

2013	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L								
ABRIL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	L-X-V						
Litros/m2					10			10		10		10		10		10		10		10		10		10		10				100 l/m2							
Horas/m2					1,5			1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5				15,0 h							
MAYO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	M-V-D				
Litros/m2		1 CORTE								10		10		10		10		10		10		10		10		10		10		10		10	110 l/m2				
Horas/m2								1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5	16,5 H						
JUNIO						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	L-M-X-J-S	
Litros/m2						10		10				2 CORTE					10	10		10		10		10		10		10		10		10		10	150 l/m2		
Horas/m2						1,5		1,5									1,5	1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5	22,5 H		
JULIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	L-M-X-J-S					
Litros/m2	10	10	10	10		10		10				3 CORTE					10	10		10		10		10		10		10		10		10	170 l/m2				
Horas/m2	1,5	1,5	1,5	1,5		1,5		1,5									1,5	1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5	25,5 H				
AGOSTO				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	L-M-X-J-S		
Litros/m2				10		10		10		10		10		10		10		10		10		4 CORTE					10		10		10		10		10	170 l/m2	
Horas/m2				1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5					1,5		1,5		1,5		1,5		1,5	25,5 H			
SEPT							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	X-V-D
Litros/m2							10			10		10		10		10		10		10		10		10		10		10		10		10		5 CORTE		100 l/m2	
Horas/m2							1,5			1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5	15,0 H		
	LITROS /HORA DE RIEGO : 6,6 l/m2																									TOTAL:		800 litros /m2 (8000 m3/ha)									
	HORA Y MEDIA DE RIEGO = 10 l/m2																											120 horas									

Para el riego a pie se va a tomar como referencia los riegos de la alfalfa de la parcela de que se muestra en la figura 4.3.

**Figura 4.3. PARCELA DE REFERENCIA B2/534 (Pestriz)**



Ortofotografía 2013 (SIGPAC)

Para el cálculo del consumo de agua del riego a pie vamos a estudiar la parcela 534 del polígono 2 de Buñuel del paraje Pestriz de 14,34 ha. Sembrada con ecotipo Aragón a una dosis de 40 Kg/ha en septiembre de 2008 (Siembra de otoño) y tras su siembra se le dieron dos riegos con 15 días de separación para hacer nacer toda la alfalfa. A partir de entonces se dejó pasar todo el invierno para que creciera y a partir de marzo empezaron los riegos a lo largo de cada campaña que se alargaban hasta finales de septiembre y en caso del año 2010 se llegaron a dar un último riego en octubre.

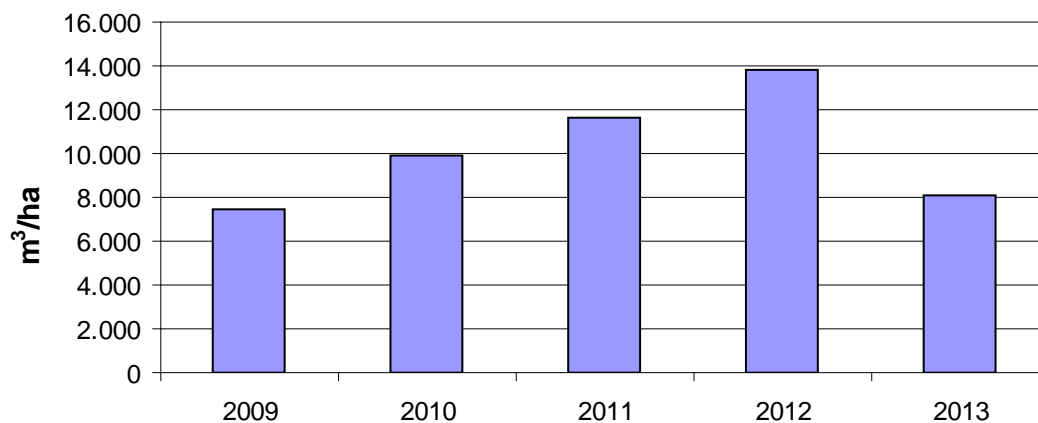
Los riegos suelen realizarse dos antes de cada corte con un intervalo entre ellos entorno a 12/15 días y los cortes suelen ser cada mes, empezando a segar a mitad de abril dependiendo de la climatología y terminando el último corte en octubre. En esta finca se llegaron a dar 7 cortes en el año 2012 que hizo bastante calor hasta finales de octubre.

b) CONSUMOS DE AGUA

El consumo de agua para la aspersión fue el siguiente durante el ciclo de 5 años de vida de la Alfalfa es el siguiente obtenido de los datos de los contadores de las fincas y de los registros de la Comunidad de Regantes del Ombatillo de Corella se muestra en la tabla 4.2.

<b>Tabla 4.2. CONSUMOS AGUA ASPERSIÓN CORELLA ALFALFA</b>														
POL	PAR	ha	m <sup>3</sup> 2013	m <sup>3</sup> /ha 2013	m <sup>3</sup> 2012	m <sup>3</sup> /ha 2012	m <sup>3</sup> 2011	m <sup>3</sup> /ha 2011	m <sup>3</sup> 2010	m <sup>3</sup> /ha 2010	m <sup>3</sup> 2009	m <sup>3</sup> /ha 2009	TOTAL	m <sup>3</sup> /ha TOT
16	5004 5007	9,92	70.373	7.094	121.698	12.268	102.076	10.290	87.685	8.839	66.408	6.694	448.240	45.185
16	5010	5,37	37.821	7.043	63.437	11.813	48.481	9.028	47.835	8.908	37.163	6.920	234.737	43.713
17	357	3,5	35.647	10.185	61.100	17.457	54.416	15.547	41.717	11.919	30.415	8.690	223.295	63.799
<b>TOT</b>		<b>18,8</b>		<b>8.107</b>		<b>13.846</b>		<b>11.622</b>		<b>9.889</b>		<b>7.435</b>		<b>50.899</b>

A continuación una representación gráfica de los datos de consumo de agua a lo largo del ciclo vital de la Alfalfa en aspersión en la figura 4.4.

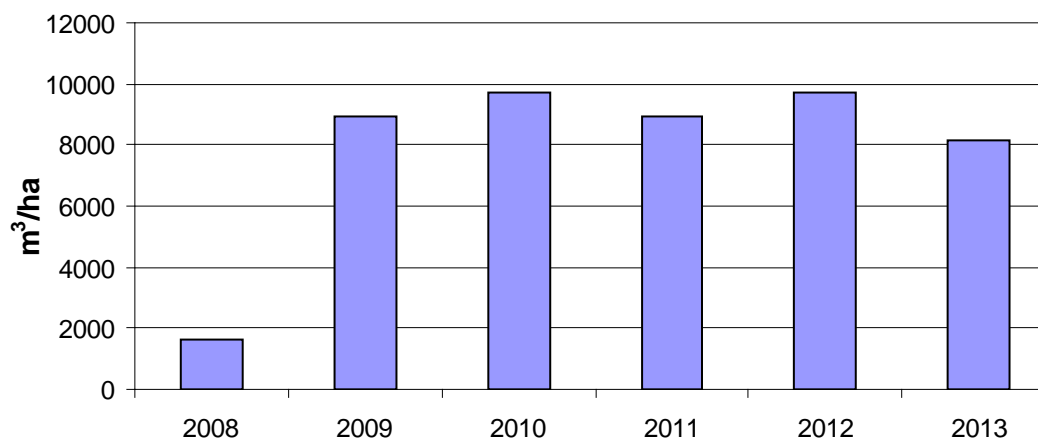


**Figura 4.4.** Consumo de agua de riego en aspersión en Corella

El año con menos necesidades de agua fue en 2013 ya que según la tabla 3.2. de precipitaciones, en Corella llegaron a caer ese año 446,9 l/m<sup>2</sup> y eso refleja claramente que los riegos vienen condicionados por las lluvias del año.

Por otro lado para el estudio a pie, el consumo de agua para las parcelas de referencia fue con un caudal medio de riego por hectárea de 812 m<sup>3</sup>/ha calculando que por cada año son una media de 10-12 riegos para los 5 años de vida que tuvo el cultivo podemos observar un resumen en la tabla 4.3. con los consumos totales de agua de riego.

AÑO	M <sup>3</sup> /ha/Riego	ha	Nº de riegos	m <sup>3</sup> /ha TOT	m <sup>3</sup> TOT
<b>2008</b>	812	14,34	2	1.624	23.288
<b>2009</b>	812	14,34	11	8.932	128.085
<b>2010</b>	812	14,34	12	9.744	139.729
<b>2011</b>	812	14,34	11	8.932	128.085
<b>2012</b>	812	14,34	12	9.744	139.729
<b>2013</b>	812	14,34	10	8.120	116.441
<b>TOTALES</b>			<b>58</b>	<b>47.096</b>	<b>675.357</b>



**Figura 4.5.** Consumo de agua de riego a pie en Pestriz

En la figura 4.5 podemos ver la tendencia del riego a pie, similar al de aspersión, y depende totalmente de las precipitaciones de la zona, que en el caso del de a pie está en Buñuel y el año más lluvioso también fue el 2013 con 412,3 l/m<sup>2</sup>. Por otro lado esta parcela fue sembrada en otoño en vez de primavera y se le dieron dos riegos para su nascencia en 2008.

### c) HUELLA HÍDRICA

Para el cálculo de la huella hídrica, como hemos comentado antes en la metodología, se va a tener en cuenta la huella hídrica azul (los consumos de agua) y la verde (las precipitaciones). Cogemos la tabla 3.4. y tomamos los datos de los riegos que hubo en Corella y en Buñuel para los 5 años de cultivo y pasamos los l/m<sup>2</sup> a m<sup>3</sup>/ha multiplicando por 10.

Las huellas hídricas obtenidas se reflejan en el cuadro 4.4.

<b>RIEGO</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha Huella Azul</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha Huella Verde</b>	<b>TOTAL CICLO DE VIDA</b>	<b>MEDIA TOTAL/ AÑO</b>
ASPERSIÓN	50.889	17.380	<b>68.269</b>	<b>13.654</b>
A PIE	47.096	16.710	<b>63.806</b>	<b>12.761</b>

La huella hídrica del riego por aspersión del ciclo de vida de la alfalfa en Corella es de 68.269 m<sup>3</sup>/ha (13.654 m<sup>3</sup>/ha/año) frente a los 63.806 m<sup>3</sup>/ha (12.761 m<sup>3</sup>/ha/año) del riego a manta en Buñuel, esto es debido a que además de haberse consumido más agua en el riego también llovió más esos años en Corella con lo cual su impacto es mayor.

#### 4.1.2.- HUELLA HÍDRICA EN MAÍZ

La huella hídrica en maíz también va a ser estudiada para el riego en aspersión y a manta y va a ser calculada para todo su ciclo vital que en este caso es de unos 8 meses. El maíz nuestro estudio se siembra después del cultivo de la veza con lo cual vamos a estudiar su impacto tanto por separado como el ciclo de doble cosecha con la veza para comparar los distintos impactos hídricos.

Los riegos en aspersión del maíz son similares al de la alfalfa pero se empiezan más tarde y suelen terminar antes. Son de poca cantidad de agua y mucha frecuencia, entre 2 y 5 riegos semanales de la fecha de Siembra Mayo a Septiembre, en cambio los riegos a manta son con grandes cantidades de agua y poca frecuencia como ya hemos comentado antes con la alfalfa. Según la pluviometría del año, puede oscilar entre 8- 10 riegos entre marzo y septiembre.

Estas cantidades de agua y frecuencia de riego varían principalmente dependiendo de la fecha de siembra temprana o tardía, del tipo de siembra aguacibera (regar para hacerlo nacer) o tempero (dejarlo nacer con la humedad del suelo), del tipo de suelo, la climatología y las dotaciones de agua.

a) DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO EN LAS PARCELAS DE REFERENCIA

La parcela de referencia para el estudio del riego del maíz en aspersión es la que muestra la figura 4.6.

**Figura 4.6. PARCELA DE REFERENCIA T20/250 (Montes de Cierzo)**



Ortofoto 2012 (SIGPAC)

La finca estudiada es la 250 del polígono 20 de Tudela del paraje de Montes de Cierzo sembrada como segunda cosecha de veza el 31 de mayo de 2012 con la variedad de semilla D48 con una unidad de siembra de 80.000. La forma de siembra fue aguacibera con lo cual tuvo que regarse para hacer nacer el maíz. Se mantuvieron riegos diarios hasta que se hizo nacer todo el maíz de una hora diaria durante el mes de Junio y cuando ya estuvo todo nacido se comenzó a regar con riegos de hora y medio en días alternos. En Agosto se subió los riegos a 2h también con días alternos y ya en septiembre se bajo la dosis de riego a 1 hora día y ya se dejó de regar para que el maíz se secase para cosecharse para grano el 3 de Enero de 2013 con un rendimiento de 8.950 Kg/ha seco.

Por otro lado la finca de referencia para el estudio del riego a pie es la que se muestra en la figura 4.7.

**Figura 4.7. PARCELA DE REFERENCIA B5/622 (La Arena)**



Ortofoto 2012 (SIGPAC)

El cultivo de esta finca de referencia en Buñuel va a ser también de la explotación de la campaña 2012 al igual que la elegida en la aspersión. La parcela de referencia es la 622 del polígono 5 de Buñuel del paraje de la Arena que en el año 2012 estuvo Maíz también tras el cultivo de Veza que se estudiará también en el apartado siguiente. Se sembró el 15 de mayo de 2012 la variedad D48 en aguacibera y se cosechó el 22 de Noviembre del mismo año con un rendimiento de 8.889 Kg/ha secos.

#### b) CONSUMOS DE AGUA

Los metros cúbicos consumidos se consiguieron del registro del ayuntamiento de Tudela de La parcela T20/250 por aspersión y la B5/622 de riego a pie los podemos observar en la tabla 4.5.:

<b>Tabla 4.5. CONSUMOS EN MAÍZ</b>					
<b>PARCELA REF</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha/Riego</b>	<b>ha</b>	<b>Nº de riegos</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>	<b>m<sup>3</sup> TOT</b>
T20/250	100	6,69	60	5.948	39.792
B5/622	750	1,38	8	6.000	8.280

#### c) HUELLA HÍDRICA

La huella hídrica se calcula sumando los consumos de agua del cultivo más la suma de las precipitaciones de los meses de desarrollo de cultivo que en el riego por aspersión fueron de junio a diciembre de 2012 en Tudela y en el riego a pie fueron los meses de mayo a noviembre en Buñuel obteniendo el resultado de la tabla 4.6.:

<b>Tabla 4.6. Huella Hídrica Maíz</b>			
<b>RIEGO</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha Huella Azul</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha Huella Verde</b>	<b>TOTAL</b>
ASPERSIÓN	5.948	2.635	<b>8.583</b>
A PIE	6.000	2.340	<b>8.340</b>

La HH para el cultivo del maíz es superior en la aspersión consumiendo unos 250 metros cúbicos más por hectárea que con el riego a pie.

#### 4.1.3.- HUELLA HÍDRICA EN VEZA

El estudio se va a realizar en la primera cosecha de las fincas que hemos visto en el apartado anterior de maíz. Como hemos dicho antes, se realizará el estudio separando los cultivos y luego el impacto de la doble cosecha.

a) DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO EN LA PARCELA DE REFERENCIA

La parcela de referencia es la T20/250 de riego por aspersión y la siembra de veza fue mediante siembra directa tras el cultivo de alfalfa el 1 de diciembre de 2011 con una dosis de siembra de 120 Kg/ha y cosechado el 24 de abril de 2012 con un rendimiento de 4500 Kg/ha. Se realizaron 3 riegos semanales de hora en febrero y de dos horas entre los meses de marzo y abril finalizando el riego una semana antes de cosechar.

Para el estudio del riego a pie vamos a coger la parcela de referencia B5/622 del paraje. La parcela se sembró con una dosis de 110 Kg/ha el 20 de octubre de 2.011 con *Vicia sativa* mezclada con un tutor de Avena a 20 Kg/ha. Fue cosechada el 27 de Abril de 2012 con un rendimiento de 3.700 Kg/ha a 12º. Cuando se va a realizar el cultivo de la Veza sola puede llegar a tener bastante más rendimiento pero al ser doble cosecha hay que adelantar su recogida para que no se haga tarde la siembra del maíz.

b) CONSUMOS DE AGUA

El agua consumida en los riegos del maíz se puede ver en la tabla 4.7.:

PARCELA REF	m <sup>3</sup> /ha/Riego	ha	Nº de riegos	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> TOT
T20/250	100	6,69	60	2.993	20.023
B5/622	750	1,38	4	3.000	4.140

c) HUELLA HÍDRICA

La huella hídrica del riego de aspersión de la veza se calcula sumando los consumos de agua del cultivo más la suma de las precipitaciones de los meses de desarrollo de cultivo que fueron de diciembre 2.011 a abril 2.012 en caso de la parcela con riego por aspersión y octubre 2011 a abril 2012 en Buñuel de la de a pie obteniendo el siguiente resultado mostrado en la tabla 4.8.:

RIEGO	m <sup>3</sup> /ha Huella Azul	m <sup>3</sup> /ha Huella Verde	TOTAL
ASPERSIÓN	2.993	962	<b>3.955</b>
A PIE	3.000	1.455	<b>4.455</b>

En el caso de las diferencias de la HH de la veza el consumo de agua es mayor en el riego a pie que en la aspersión llegando a ser 500 m<sup>3</sup>/ha mayor.

#### 4.1.4.- HUELLA HÍDRICA EN LA DOBLE COSECHA ANUAL DE VEZA/MAÍZ

La huella hídrica de la doble cosecha es la suma de las huellas individuales de cada cultivo que hemos visto en los apartados anteriores de veza y maíz y está representada en la tabla 4.9.

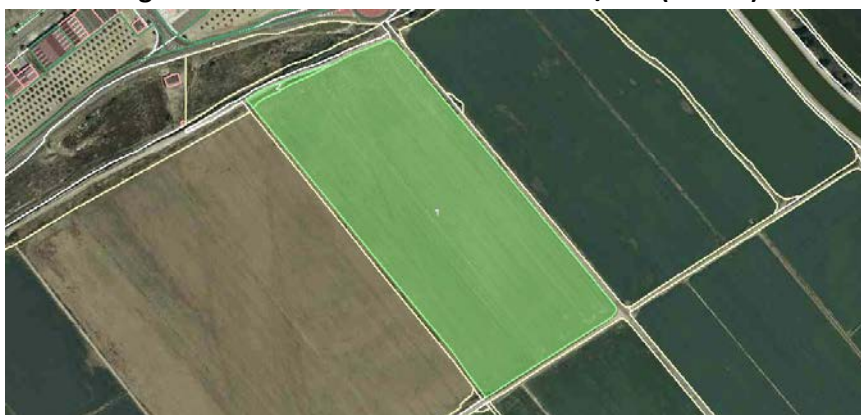
<b>Tabla 4.9. Huella Hídrica Veza/Maíz</b>			
<b>RIEGO</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha AZUL</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha VERDE</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha HH</b>
ASPERSIÓN	8.941	3.860	12.801
A PIE	9000	3.795	12.795

La HH en los riegos por aspersión y a manta de la doble cosecha de veza/maíz son similares con una media de 12.800 m<sup>3</sup>/ha para ambas formas de riego con lo cual observamos que no hay diferencias entre la aspersión y a manta de la doble cosecha de veza/maíz.

#### 4.1.5.- HUELLA HÍDRICA EN TRIGO

##### a) DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO EN LA PARCELA DE REFERENCIA

**Figura 4.8. PARCELA DE REFERENCIA B2/524 (Pestriz)**



Ortofoto 2013 (SIGPAC)

Para el estudio de la alfalfa vamos a estudiar el cultivo de 2013 que se hizo en la parcela 524 del polígono 2 de Buñuel también del paraje de Pestriz con una superficie de 6,62 ha. Se sembró la variedad Botticelli el 29 de noviembre de 2012 con una dosis de siembra de 230 Kg/ha y se cosechó el 19 de julio de 2013 con un rendimiento de 7.954 Kg/ha (11.3º de Humedad y 81,4 de Peso específico). Fue una cosecha muy buena.



b) CONSUMOS DE AGUA

Los riegos que se realizaron en la finca con tierra de cascajo (piedra) que filtra mucho el agua fueron los siguientes de la tabla 4.10. teniendo en cuenta que el caudal en la finca es de 812 m<sup>3</sup>/ha:

<b>Tabla 4.10. CONSUMOS TRIGO FINCA PESTRIZ</b>					
<b>AÑO</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha/Riego</b>	<b>ha</b>	<b>Nº de riegos</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>	<b>m<sup>3</sup> TOT</b>
<b>2012/2013</b>	812	6,62	4	3.248	21.502

c) HUELLA HÍDRICA

La huella hídrica se calcula sumando el gasto de riego del cultivo más la suma de las precipitaciones de los meses de desarrollo de cultivo que fueron de noviembre 2012 a julio 2013 en Buñuel, obteniendo el siguiente resultado de la tabla 4.11.:

<b>Tabla 4.11. HH Trigo</b>		
<b>m<sup>3</sup>/ha Huella Azul</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha Huella Verde</b>	<b>TOTAL</b>
3.248	3.393	<b>6.641</b>

4.1.6.- HUELLA HÍDRICA EN CEBADA

a) DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO EN LA PARCELA DE REFERENCIA

**Figura 4.9. PARCELA DE REFERENCIA T12/196 (Navadabel)**



Ortofoto 2012 (SIGPAC)

La Parcela 196 del polígono 12 de Tudela que podemos ver en la figura 4.9. fue sembrada cebada PEWTER (cervecera) a una dosis de siembra de 215 Kg/ha el 19 de Noviembre de 2012 y se cosechó el 10 de julio de 2013 teniendo un rendimiento de 7.299 Kg/ha con una humedad de 13 y un peso específico de 67,9.

b) CONSUMOS DE AGUA

A la finca de referencia se le realizaron 3 riegos para el desarrollo de la cebada teniendo el consumo de agua que muestra la tabla 4.12.

<b>AÑO</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha/Riego</b>	<b>Ha</b>	<b>Nº de riegos</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha TOT</b>	<b>M<sup>3</sup> TOT</b>
<b>2012/2013</b>	745	1,67	3	2.235	3.732

c) HUELLA HÍDRICA

La Huella Hídrica es la siguiente calculando las precipitaciones de Noviembre de 2012 a Julio de 2013 en Tudela para la finca estudiada es de 6.180 m<sup>3</sup>/ha y la podemos ver en la tabla 4.13.:

<b>m<sup>3</sup>/ha Huella Azul</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha Huella Verde</b>	<b>TOTAL</b>
2.235	3.945	<b>6.180</b>

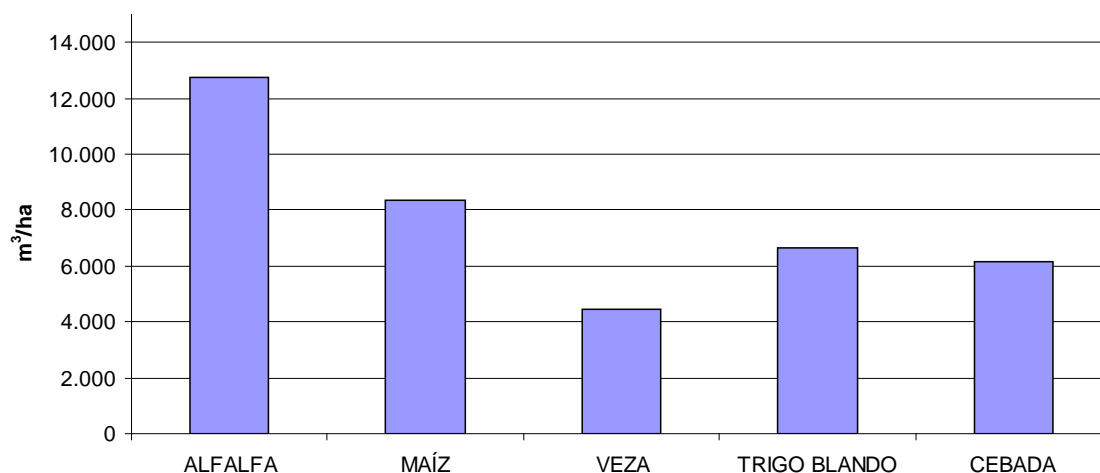
4.1.7.- DISCUSIÓN HUELLA HÍDRICA

Vamos a hacer una comparativa de los riegos a pie de cada cultivo estudiado por hectárea en el riego a manta obteniendo un resumen de huella hídrica de riego a pie en la tabla 4.14..

El estudio global se realizará con los riegos a pie y para que la comparativa sea más exacta se van a tomar los datos de cada cultivo por campaña, con lo cual para la alfalfa solo se representará la huella hídrica de un año de vida del cultivo.

<b>CULTIVO</b>	<b>HH/ha</b>
ALFALFA	12.761
MAÍZ	8.340
VEZA	4.455
TRIGO BLANDO	6.641
CEBADA	6.180
<b>TOTAL</b>	<b>38.377</b>

La representación gráfica de la huella hídrica por hectárea de cada cultivo se muestra en la figura 4.10.



**Figura 4.10.** Huella hídrica por cultivo

En la gráfica se observa claramente como la Alfalfa es la que más agua necesita ya que tiene la campaña más larga y sobre todo es durante los meses de calor por lo tanto necesito una media de 11 riegos, aproximadamente unos 12.500 m<sup>3</sup> por hectárea y año, seguido del maíz que está entorno a 8.000 y después del trigo, la cebada que tienen unas necesidades hídricas similares de 6.000 de media. Por último está la huella hídrica de la veza que es la menor de unos 4.500 m<sup>3</sup>/ha, no tanto por las periodicidades de riego que son similares al trigo y la cebada sino porque tiene el ciclo de vida más corto y con lo cual la huella verde es menor.

Son cálculos aproximados porque dependiendo de las precipitaciones del año, como se ha comentado antes, y el tipo de tierra puede variar la cantidad de agua necesaria para el correcto desarrollo del cultivo. Pero al final la tendencia del gasto del agua es la obtenida con estos datos. Primero alfalfa, luego maíz, trigo y cebada seguidos y por último la veza. Las únicas que pueden variar de orden entre ellas son los cultivos de trigo y cebada dependiendo de las fechas de siembra, el tipo de tierra y la climatología pero la tendencia será siempre similar a la obtenida.

Para la producción de una hectárea de cada uno de los cultivos estudiados se necesitaría un total de 38.377 m<sup>3</sup> de agua. Con lo cual estamos hablando de una huella hídrica total de los 5 cultivos de esa cantidad.

## **4.2.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN HUELLA DE CARBONO**

Para el cálculo de la huella de carbono lo primero se va a realizar un mapa de procesos de los trabajos que se realizan con la maquinaria agrícola para la explotación de cada cultivo que nos darán los consumos de gasoil que queremos calcular. También se estudiarán los abonados de las fincas y la biomasa fijada por cada cultivo. Al finalizar se realizará el estudio y discusión de los cálculos obtenidos.

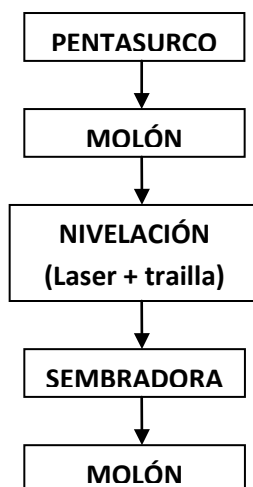
### **4.2.1.- HUELLA DE CARBONO EN ALFALFA**

Para el cálculo de la huella de carbono en alfalfa forrajera lo primero se va a identificar los trabajos necesarios en el cultivo de la alfalfa que se realizan con la maquinaria agrícola. Vamos a diferenciar dos fases, una la de siembra y luego otra la de cosechado ya que la de siembra solo se realiza al principio del ciclo pero la de cosechado se repite varias veces en el año por los 5/6 cortes que se le va a dar por los 5 años de vida que tiene el cultivo.

#### **a) DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE LA MAQUINARIA**

A continuación mostramos un diagrama de flujo del proceso de los trabajos de siembra de la alfalfa mediante el uso de maquinaria agrícola en la figura 4.11.

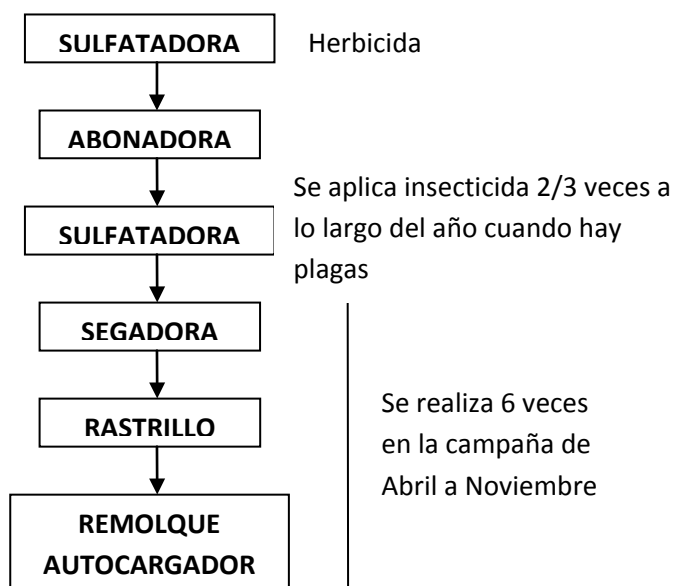
**Figura 4.11. Diagrama de trabajos maquinaria agrícola para la siembra de alfalfa**



Para el cultivo de la alfalfa, dependiendo del tipo de tierra se hacen distintos trabajos pero lo más común es hacer una labor de vertedera (pentasurco) para dar la vuelta a la tierra y que se airee, un pase de molón y rastra a los días cuando la tierra esté ya suelta para realizar un movimiento de tierras con una trailla y un láser para nivelar la finca y no haya problemas con el riego, finalmente se siembra con una sembradora de precisión y se realiza un pase final de molón para evitar que las piedras que hayan salido a la superficie durante la siembra compliquen los trabajos de cosechado de la alfalfa.

A continuación los trabajos de cosechado, tratamientos y abonado que se hacen anualmente con la maquinaria agrícola y que se repiten los años de ciclo de vida de la alfalfa en la figura 4.12.

Figura 4.12. Diagrama de trabajos maquinaria agrícola para los tratamientos, abonados y cosechado de alfalfa



Los trabajos durante cada campaña son los siguientes, primero en invierno cuando la alfalfa está en parada vegetativa se hace un tratamiento de herbicida (Harmony y/o Lexone) para eliminar las malas hierbas aunque esto no se hace a todas las fincas sino a las que están más plagadas de otras especies. Entre febrero y marzo se realiza el abonado y a finales de marzo y principios de abril se hace el primer tratamiento insecticida (Con Alfacipermetrina o Deltametrina), el primer corte empieza a mediados de abril, la alfalfa se siega y se deja unos días en el campo, cuando la humedad está entorno a 35º se rastrilla y se espera un par de días y se recoge con una humedad entorno a 20º/30 º con el remolque autocargador para llevar la mercancía a una playa al lado de la finca donde ahí los camiones llevarán la alfalfa a la deshidratadora. Conforme hace más calor las días entre las labores de cosechado de alfalfa se acortan ya que se seca antes la mercancía y se suele recoger a humedades más bajas. Esto s labores se repiten entre 5 y 6 veces al año. Se repiten un par de tratamientos insecticidas entre los meses de mayo y junio (Mezcla de clorpirifos con alguna piretroide) y en alguna ocasión hay que hacer otro tratamiento insecticida en septiembre pero es esta zona no suele ser muy común.

Para el estudio de la huella de carbono solo vamos a coger los datos de los trabajos dentro de la finca, sin contar los desplazamientos, únicamente vamos a estudiar la huella que produce la explotación del cultivo.

b) CONSUMOS DE GASOIL

Los consumos de gasoil para los trabajos de la siembra de la alfalfa se muestran en la 4.15.:

Tabla 4.15.- CONSUMO GASOIL SIEMBRA ALFALFA/ha				
TRACTOR	LABOR/ APERO	Horas/ha	l/hora	l/ha
FENDT FAVORIT 714 VARIO	LABRAR/ PENTASURCO	2	14,19	<b>28,38</b>
MASSEY FERGUSON 6490	MOLONAR/ MOLÓN y RASTRA	1	16,68	<b>16,68</b>
MASSEY FERGUSON 6490	MOVIMIENTO TIERRAS/TRAILLA	0,6	16,68	<b>10,01</b>
FENDT FAVORIT 926/2818	NIVELACIÓN/LASER	1	28,00	<b>28,00</b>
MASSEY FERGUSON 4270	SEMBRAR/SEMBRADORA Gil	0,4	11,62	<b>4,65</b>
MASSEY FERGUSON 6490	MOLONAR/ MOLÓN	0,25	16,68	<b>4,17</b>
<b>TOTAL l/ha:</b>				<b>91,89</b>

El ciclo total de la vida de la alfalfa son 5/6 años dependiendo de lo castigado haya estado el cultivo durante su explotación y si se le han hecho las rotaciones necesarias así que para el estudio del consumo de gasoil se tendrán en cuenta que con los trabajos de siembra de la alfalfa se tiene para 5 años de recolección.

El consumo de gasoil en los trabajos de cosechado y tratamiento de la alfalfa se pueden ver en la tabla 4.16.:

Tabla 4.16.-CONSUMO GASOIL COSECHADO Y TRATAMIENTOS ALFALFA/ha							
TRACTOR	LABOR/ APERO	labor /Año	Hora /ha	l/hora	l/ha/ Corte	l/ha/ año	l/ha 5 años
MF 4270	TRAT. HERB./SULFATADORA I S A 8 3000	1	0,20	11,62	2,32	13,94	69,72
F 714 VARIO	ABONAR/ABONADORA Abocen 5000	1	0,25	14,19	3,55	21,29	106,43
MF 4270	TRAT. INSEC./SULFATADORA I S A 8 3000	3	0,20	11,62	2,32	13,94	69,72
F 714 VARIO	SEGAR/SEGADORA NOVACAT POTTINGER	6	0,25	14,19	3,55	21,29	106,43
MF 4270	RASTRILLAR/HILERADOR RASPA 7500 MUR	6	0,25	11,62	2,91	17,43	87,15
MF 6490	RECOGER/AUTOCARGADOR P31 LACASTA	6	0,20	16,68	3,34	20,02	100,08
<b>TOTAL l/ha:</b>					<b>17,9</b>	<b>107,9</b>	<b>539,5</b>

MF: Massey Ferguson F: Fendt

El consumo de gasoil total en el ciclo de vida de la alfalfa es al suma de los totales obtenidos en las anteriores tablas de siembra, tratamientos y cosechado. Hace un total de 631,41 l/ha de cultivo producido. Para transformarlo a Kg de CO<sub>2</sub> equivalente hay que multiplicar por el factor de emisión del gasoil que es 2,79 Kg CO<sub>2</sub>/l con lo cual hablamos de 1.761,63 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente que se emite a la atmósfera durante los trabajos con la maquinaria agrícola.

c) CONSUMOS FERTILIZANTES

Para el estudio de los fertilizantes utilizados vamos a coger los abonados de las fincas de riego a pie estudiados para calcular la huella hídrica. Con lo cual para la alfalfa cogemos los datos de abonado de la parcela de referencia B2/534. Convertimos a la vez los datos de abonado a Kg de CO<sub>2</sub> equivalente según la tabla 3.1. de la metodología obteniendo los datos de la tabla 4.17.

Tabla 4.17. ABONADO CICLO ALFALFA/ha						
	2009	2010	2011	2012	2013	TOTAL
FERTILIZANTE	5-23-0	3-24-8	1-14-5	1-14-5	1-14-5	
TIPO	Org.Mineral	Blending	Org.Mineral	Org.Mineral	Org.Mineral	
CANTIDAD (Kg/ha)	318	533	1300	1300	1400	
kg CO <sub>2</sub> -eq/ kg producto	0,69	0,51	0,3	0,3	0,3	
kg CO <sub>2</sub> -eq	219,42	271,83	390	390	420	<b>1.691,25</b>

d) BIOMASA FIJADA

La biomasa fijada por la alfalfa en los 5 años de vida del cultivo teniendo en cuenta la cantidad de forraje obtenido y sus raíces en materia seca dado que la mitad de los Kg son carbono y se transforman en CO<sub>2</sub> multiplicándolos por el factor 3,66 obtenemos los siguientes resultados de la tabla 4.18.:

Tabla 4.18. Biomasa Fijada por el ciclo de la Alfalfa				
	Kg/ha Forraje	Raíces Kg/ha	TOTAL	Kg CO <sub>2</sub> /ha
ALFALFA	59.400	2.000	61.400	<b>112.362</b>
%	97	3	100%	

En todo el ciclo de vida de la alfalfa fija 112.362 Kg de CO<sub>2</sub> eq por hectárea de cultivo, de la cual un 97% representa todo el forraje generado de una media de 6 cosechas por año en 5 años de vida y un 3% sería la biomasa de las raíces.

Por otro lado para el estudio vamos a tratar con la biomasa generada por un año del cultivo de alfalfa se muestra en la tabla 4.19.

Tabla 4.19. Biomasa Fijada por Alfalfa en un año				
	Kg/ha Forraje	Raíces Kg/ha	TOTAL	Kg CO <sub>2</sub>
ALFALFA	11.880	2000	13.880	<b>25.400</b>
%	86	14	100%	

Un año de cosecha de alfalfa representa 25.400 Kg de CO<sub>2</sub> eq por hectárea y de lo fijado, un 86% de la materia seca es del forraje y un 14% de carbono es fijado por las raíces. A continuación en la figura 4.12. se ve lo que representa la biomasa fijada por el forraje y las raíces en un año de cultivo.

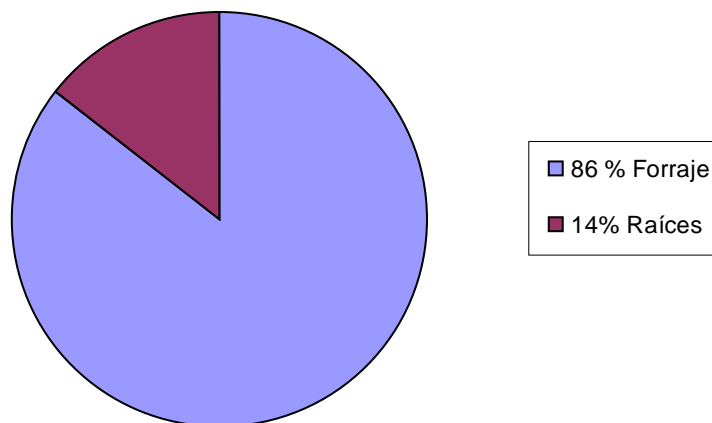


Figura 4.13. Porcentaje Materia Seca de la Alfalfa/año

e) HUELLA DE CARBONO

La HC producida la alfalfa se obtiene sumando las emisiones de la maquinaria y fertilización y se muestra en la tabla 4.20.

Fuente de emisiones	kg CO <sub>2</sub> -eq /año	kg CO <sub>2</sub> -eq TOT
GASOIL	352,32	1.761,62
FERTILIZANTES	338,25	1.691,25
<b>TOTAL</b>	<b>690,64</b>	<b>3.452,87</b>

El balance obtenido de los gases de efecto invernadero emitidos y fijados obtenemos que la Alfalfa fija 108.909 Kg de CO<sub>2</sub> durante su ciclo de vida, ya que las plantas, a lo largo de su ciclo de vida, fijan más CO<sub>2</sub> del que liberan como muestra la tabla 4.21.

	kg CO <sub>2</sub> -eq /año	kg CO <sub>2</sub> -eq TOT
<b>Emitidos</b>	690,64	3.453
<b>Fijados</b>	25.400	112.362
<b>FIJADO-EMITIDO</b>	<b>24.709</b>	<b>108.909</b>

4.2.2.- HUELLA DE CARBONO EN MAÍZ

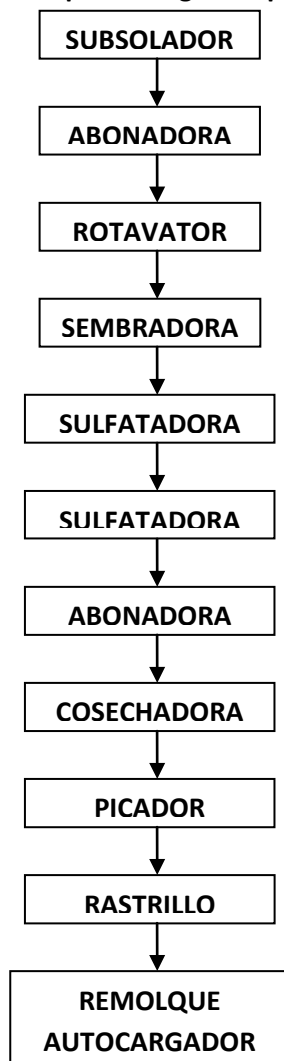
Vamos a realizar el estudio de la huella de carbono en maíz para grano la cual su ciclo de vida es de unos 8 meses.



a) DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE LA MAQUINARIA

Para el maíz solo hay una labor de siembra y cosechado así que lo mostramos en un único diagrama de flujo de los trabajos que realiza la maquinaria agrícola como muestra el diagrama de la figura 4.14.

**Figura 4.14. Diagrama de trabajos maquinaria agrícola para la siembra y cosechado de maíz**



Para el cultivo del maíz se realiza normalmente una labor profunda de subsolador para descompactar el suelo, se echa un abonado de fondo y después se pasa el rotavator envolviendo el abonado y dejando la tierra preparada para la siembra del maíz seguido por un tratamiento herbicida. Cuando el maíz tiene entorno a 6/9 hojas se le echa la UREA y en ocasiones si ha salido bastantes malas hierbas se realiza otro tratamiento herbicida con un insecticida si hay alguna plaga. Cuando el maíz tiene la humedad adecuada (21%) se realiza su cosechado para grano. La cosechadora descarga el grano de maíz en remolques y estos los llevan a la cooperativa pero solo se va a tener en cuenta los trabajos realizados en campo, no se tienen en cuenta los desplazamientos a las fincas, solo los consumos realizados en su explotación. Finalmente se pican los restos de las cañas, se rastrillan y se recogen.

b) CONSUMOS GASOIL

Los consumos gasoil en la siembra y cosechado del maíz se muestran en la tabla 4.22.

Tabla 4.22. CONSUMO GASOIL SIEMBRA MAÍZ/ha				
TRACTOR	LABOR/ APERO	Horas/ha	l/hora	l/ha
FENDT FAVORIT 714 VARIO	LABRAR/ SUBSOLADOR	1	14,19	14,19
FENDT FAVORIT 714 VARIO	ABONAR/ABONADORA Abocen 5000	0,25	14,19	3,55
MASSEY FERGUSON 6490	LABRAR/ROTAVATOR	0,6	16,68	10,01
MASSEY FERGUSON 4270	SEMBRAR/SEMBRADORA Maíz	0,4	11,62	4,65
FENDT FAVORIT 714 VARIO	ABONAR/ABONADORA Abocen 5000	0,25	14,19	3,55
MASSEY FERGUSON 4270	TRAT. HERB./SULFATADORA I S A 8 3000	0,2	11,62	2,32
MASSEY FERGUSON 4270	TRAT. FITO/SULFATADORA I S A 8 3000	0,2	11,62	2,32
NEWHOLLAND 66TX	COSECHAR/COSECHADORA	0,75	30,00	22,50
MASSEY FERGUSON 6490	PICAR/PICADOR PICURSA	0,25	16,68	4,17
MASSEY FERGUSON 4270	RASTRILLAR/ HILERADOR RASPA 7500 MUR	0,25	11,62	2,91
MASSEY FERGUSON 6490	RECOGER/ AUTOCARGADOR P31 LACASTA	0,20	16,68	3,34
<b>TOTAL l/ha:</b>				<b>73,50</b>

Hace un total de 73,50 l/ha de cultivo producido. Para transformarlo a Kg de CO<sub>2</sub>eq hay que multiplicar por el factor de emisión del gasoil que es 2,79 Kg CO<sub>2</sub>/l con lo cual hablamos de 205,07 Kg de CO<sub>2</sub>eq que se emite a la atmósfera durante los trabajos con la maquinaria.

c) CONSUMOS FERTILIZANTES

Para el estudio de los fertilizantes utilizados vamos a coger los abonados de las fincas de riego a pie estudiados en el apartado anterior. Con lo cual para la alfalfa cogemos los datos de abonado de la parcela B5/622 y en la tabla 4.23 se muestran los abonados

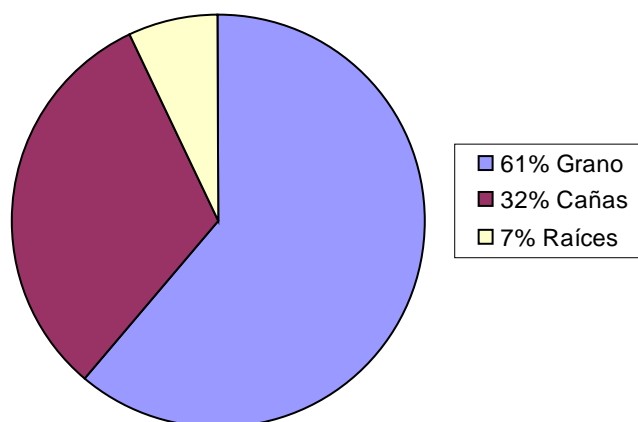
Tabla 4.23. ABONADO MAÍZ/ha			
	Fondo	Cobertera	TOTAL
FERTILIZANTE	SUPERFOSFATO	UREA 46	
TIPO	Granulado	Granulado	
CANTIDAD(Kg/ha)	318	384	
kg CO <sub>2</sub> -eq/kg producto	0,27	5,15	
kg CO <sub>2</sub> -eq	85,86	1977,6	<b>2063,46</b>

d) BIOMASA FIJADA

La biomasa fijada por el maíz es el obtenido por el grano, las cañas o cañote que se recoge después de cosecharlo y las raíces que quedan en el suelo y los datos están en la tabla 4.24.

Tabla 4.24. Biomasa Fijada por el Maíz					
	Grano Kg/ha	Cañas Kg/ha	Raíces Kg/ha	TOTAL	Kg CO <sub>2</sub> /ha
MAÍZ	7.697	4.000	880	12.577	<b>23.016</b>
%	61	32	7	100%	

Obtenemos que el maíz en su ciclo de vida fija 23.016 Kg de CO<sub>2</sub> por hectárea y de la biomasa obtenida el 61% es del grano, el 31% de las cañas y el 7% de la raíz del cultivo como podemos observar en la figura 4.15.



**Figura 4.15.** Porcentaje Materia Seca del maíz

Finalmente obtenemos que el maíz fija 20.747 Kg CO<sub>2</sub> por hectárea de cultivo a realizar el balance de lo fijado menos lo emitido.

e) HUELLA DE CARBONO

El CO<sub>2</sub> eq emitido por del maíz lo podemos ver en la tabla 4.25. mediante la suma de las emisiones derivadas del consumo de gasoil y fertilizantes:

Fuente de emisiones	kg CO <sub>2</sub> -eq
GASOIL	205,07
FERTILIZANTES	2.063,46
<b>TOTAL</b>	<b>2.268,53</b>

Y el balance final de C es la resta de la biomasa fijada menos las emisiones obteniendo como balance final del cultivo del maíz es de 20.747 Kg CO<sub>2</sub> eq viendo los cálculos en la tabla 4.26.:

kg CO <sub>2</sub> -eq Emitidos	2.269
kg CO <sub>2</sub> -eq Fijados	23.016
<b>FIJADO-EMITIDO</b>	<b>20.747</b>

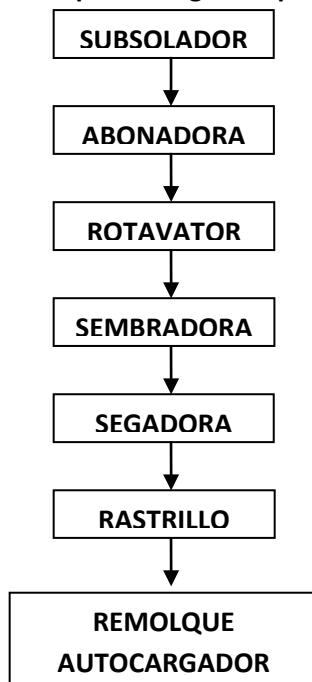
4.2.3.- HUELLA DE CARBONO EN VEZA

Vamos a realizar el estudio de la huella de carbono del cultivo de la veza forrajera.

a) DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE LA MAQUINARIA

A continuación en la figura 4.6. se representan los trabajos de siembra y cosechado de la veza por la maquinaria agrícola.

**Figura 4.16. Diagrama de trabajos maquinaria agrícola para la siembra y cosechado de veza**



Los trabajos para el cultivo de veza para forraje son una labor profunda inicial de subsolador, se echa un abonado de fondo y después se pasa el rotavator para dejar la tierra preparada para la siembra. Cuando la veza tiene la altura adecuada que normalmente suele ser para mayo dependiendo de sus fechas de siembra se realizan las mismas labores de cosechado de la alfalfa, se siega primero y se deja entorno a una semana secando en el campo (como tiene mucha mies hay que esperar un poco más para que llegue a la humedad de 20-25%), se realiza su rastrillado y dos días después cuando tenga el forraje la humedad óptima se recoge con los remolques autocargadores para ser llevada a fábrica para su deshidratación.

b) CONSUMOS GASOIL

Los consumos de gasoil en la siembra y cosechado veza se muestran en la tabla 4.27.:

<b>Tabla 4.27. CONSUMO GASOIL SIEMBRA Y COSECHADO VEZA/ha</b>				
<b>TRACTOR</b>	<b>LABOR/ APERO</b>	<b>Horas/ha</b>	<b>l/hora</b>	<b>l/ha</b>
FENDT FAVORIT 714 VARIO	LABRAR/ SUBSOLADOR	1	14,19	14,19
FENDT FAVORIT 714 VARIO	ABONAR/ABONADORA Abocen 5000	0,25	14,19	3,55
MASSEY FERGUSON 6490	LABRAR/ROTAVATOR	0,6	16,68	10,01
MASSEY FERGUSON 4270	SEBRAR/SEMBRADORA Gil	0,4	11,62	4,65
FENDT FAVORIT 714 VARIO	SEGAR/SEGADORA NOVACAT POTTINGER	0,25	14,19	3,55
MASSEY FERGUSON 4270	RASTRILLAR/HILERADOR RASPA 7500 MUR	0,25	11,62	2,91
MASSEY FERGUSON 6490	RECOGER/AUTOCARGADOR P31 LACASTA	0,20	16,68	3,34
<b>TOTAL l/ha:</b>				<b>38,85</b>

Hace un total de 38,85 l/ha de cultivo convertidos a CO<sub>2</sub> estamos hablando de 108,38 Kg de CO<sub>2</sub> eq que se emite a la atmósfera en el consumo de gasoil.

c) CONSUMOS FERTILIZANTES

Los consumos de fertilizantes en el ciclo de la veza los vamos a tomar de los datos de abonado de la parcela de referencia B5/622 y están reflejados en la tabla 4.28.:

Tabla 4.28. ABONADO VEZA/ha	
	Fondo
FERTILIZANTE	4-24-6
TIPO	Blending
CANTIDAD(Kg/ha)	400
kg CO <sub>2</sub> -eq/kg producto	0,62
kg CO <sub>2</sub> -eq	<b>248</b>

d) BIOMASA FIJADA

La biomasa fijada por la veza es el forraje y las raíces y obtenemos los siguientes rendimientos de la tabla 4.29.

Tabla 4.29. Tabla Biomasa Fijada por la Veza				
	Kg/ha Forraje	Raíces Kg/ha	TOTAL	Kg CO <sub>2</sub> /ha
VEZA	3.256	800	4.056	<b>7.422</b>
%	80	20	100%	

Obtenemos que la veza fija 7.422 Kg de CO<sub>2</sub> por hectárea y esto representa que un 80% de materia seca de la planta que fija el C es el forraje y un 20% de carbono es fijado por las raíces.

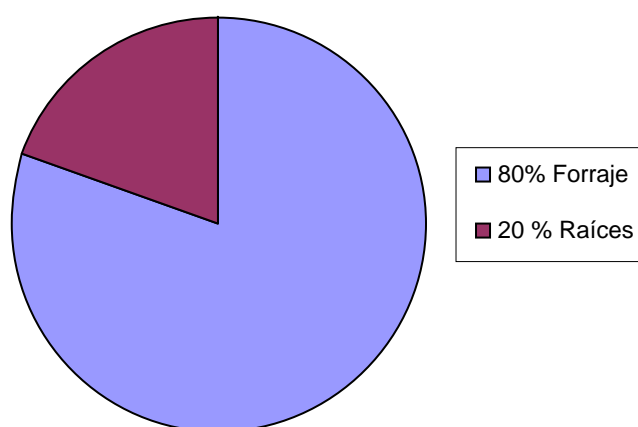


Figura 4.17. Porcentaje Materia Seca de la Veza

Finalmente obtenemos que la veza fija 7.066 Kg CO<sub>2</sub> por hectárea de cultivo

e) HUELLA DE CARBONO

Las emisiones de C de la veza sumando las emisiones en la maquinaria y fertilización está representada en la tabla 4.30.:

Fuente de emisiones	Kg CO <sub>2</sub> -eq
GASOIL	108,38
FERTILIZANTES	248,00
<b>TOTAL</b>	<b>356,38</b>

El balance de C lo obtenemos restando la biomasa fijada menos las emisiones obteniendo el siguiente resultado representado en la tabla 4.31.:

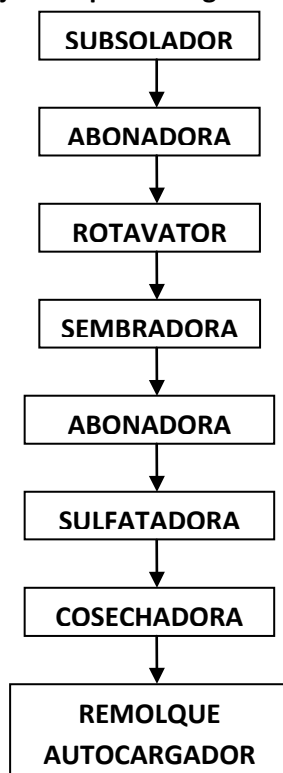
kg CO <sub>2</sub> -eq Emitidos	356
kg CO <sub>2</sub> -eq Fijados	7.422
<b>FIJADO-EMITIDO</b>	<b>7.066</b>

4.2.4.- HUELLA DE CARBONO EN TRIGO

Vamos a realizar el cálculo de la huella de carbono del trigo blando

a) DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE LA MAQUINARIA

**Figura 4.18. Diagrama de trabajos maquinaria agrícola para la siembra y cosechado de trigo**



Para el cultivo del trigo se realiza normalmente una labor de subsolador, se echa un abonado de fondo y después se pasa el rotavator para dejar la tierra preparada para la siembra del trigo. Cuando el trigo tiene la altura adecuada se le echa la urea y se realiza un tratamiento herbicida y/o fungicida. Para julio cuando el trigo tiene la humedad adecuada se realiza su cosechado. La cosechadora descarga el grano de trigo en remolques y estos los llevan a la cooperativa. Finalmente se recoge la paja con el remolque autocargador directamente ya que la cosechadora deja las rincles preparadas para recoger.

#### b) CONSUMOS GASOIL

Los consumos de gasoil en la siembra y cosechado trigo en la tabla 4.32.

TRACTOR	LABOR/ APERO	Horas/ha	l/hora	l/ha
FENDT FAVORIT 714 VARIO	LABRAR/ SUBSOLADOR	1	14,19	14,19
FENDT FAVORIT 714 VARIO	ABONAR/ABONADORA Abocen 5000	0,25	14,19	3,55
MASSEY FERGUSON 6490	LABRAR/ROTAVATOR	0,6	16,68	10,01
MASSEY FERGUSON 4270	SEMBRAR/SEMBRADORA Gil	0,4	11,62	4,65
FENDT FAVORIT 714 VARIO	ABONAR/ABONADORA Abocen 5000	0,25	14,19	3,55
MASSEY FERGUSON 4270	TRAT. HERB./SULFATADORA I S A 8 3000	0,2	11,62	2,32
NEWHOLLAND 66TX	COSECHAR/COSECHADORA	0,75	30,00	22,50
MASSEY FERGUSON 6490	RECOGER/AUTOCARGADOR P31 LACASTA	0,20	16,68	3,34
<b>TOTAL l/ha:</b>				<b>64,10</b>

Hace un total de 64,10 l/ha de cultivo convertidos a CO<sub>2</sub> estamos hablando de 178,84 Kg de CO<sub>2</sub> eq que se emite a la atmósfera en el consumo de gasoil.

#### c) CONSUMOS FERTILIZANTES

Los datos de abonado de la parcela de referencia B2/524 se muestran en la tabla 4.33.

	Fondo	Cobertera	Cobertera	TOTAL
<b>FERTILIZANTE</b>	7-23-8	UREA 46	UREA 46	
<b>TIPO</b>	Blending	Granulada	Granulada	
<b>CANTIDAD(Kg/ha)</b>	427	141	107	
<b>kg CO<sub>2</sub> -eq/kg producto</b>	0,94	5,15	5,15	
<b>kg CO<sub>2</sub> -eq</b>	401,38	726,15	551,05	<b>1678,58</b>

#### d) BIOMASA FIJADA

La biomasa fijada por el trigo con el grano, la paja y las raíces y la podemos ver en la tabla 4.34.

	Kg/ha Grano	Kg/ha Paja	Raíces Kg/ha	TOTAL	Kg CO <sub>2</sub> /ha
TRIGO	7.055	7800	1000	15.855	<b>29.015</b>
%	44	49	6	100%	

Obtenemos que el trigo fija 29.015 Kg de CO<sub>2</sub> por hectárea y esto representa que un 44% de materia seca de la planta que fija el C es la paja obtenida en el cosechado, un 44% es el grano y un 6% son las raíces.

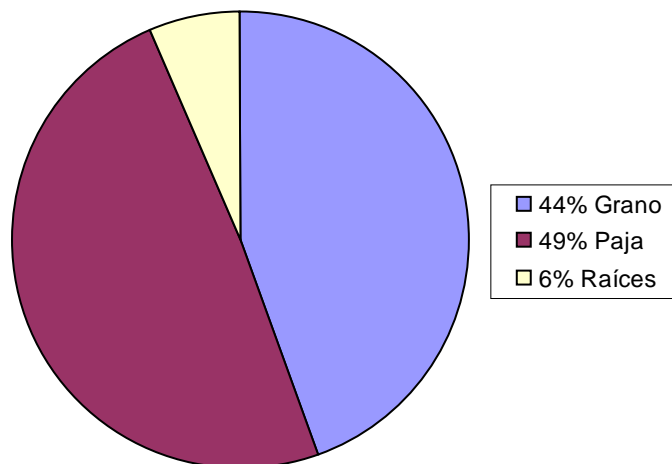


Figura 4.19. Porcentaje Materia Seca del Trigo

Finalmente se calcula el balance final de carbono y obteniendo que el trigo fija 27.158 Kg CO<sub>2</sub> por hectárea de cultivo

#### e) HUELLA DE CARBONO

La HC del trigo sumando las emisiones en la maquinaria y fertilización como muestra la tabla 4.35.

Tabla 4.35. HUELLA CARBONO TRIGO/ha	
Fuente de emisiones	Kg CO <sub>2</sub> -eq
GASOIL	178,84
FERTILIZANTES	1.678,58
<b>TOTAL</b>	<b>1.857,42</b>

El balance de C del trigo es de 27.158 kg CO<sub>2</sub>-eq y la tabla 4.36. muestra sus cálculos

Tabla 4.36. Balance final HC TRIGO/ha	
kg CO <sub>2</sub> -eq Emitidos	1.857
Kg CO <sub>2</sub> -eq Fijados	29.015
<b>FIJADO-EMITIDO</b>	<b>27.158</b>

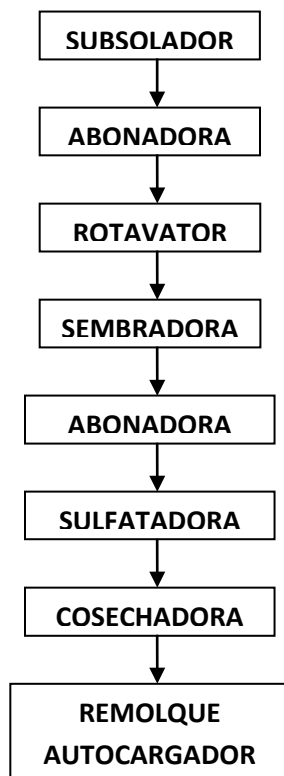
#### 4.2.5.- HUELLA DE CARBONO EN CEBADA

En este apartado vamos a mostrar los cálculos de la huella de carbono del ciclo de vida de la cebada.



a) DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE LA MAQUINARIA

**Figura 4.20. Diagrama de trabajos maquinaria agrícola para la siembra y cosechado de cebada**



Las labores de la cebada reflejados en la figura 4.20. son similares a las del trigo y se realiza también una labor de subsolador, se echa un abonado de fondo y después se pasa el rotavator para dejar la tierra preparada para su siembra. Cuando tienen la altura adecuada se le echa la urea y se realiza un tratamiento herbicida y/o fungicida. En julio cuando tiene la humedad adecuada se realiza su cosechado. La cosechadora descarga el grano de cebada en remolques y estos los llevan a la cooperativa. La paja que queda de cosechar se recoge directamente con los remolques autocargadores.

b) CONSUMOS GASOIL

Los consumos de gasoil en la siembra y cosechado cebada se muestran en la tabla 4.37.

<b>Tabla 4.37. CONSUMO GASOIL SIEMBRA CEBADA/ha</b>				
<b>TRACTOR</b>	<b>LABOR/ APERO</b>	<b>Horas/ha</b>	<b>l/hora</b>	<b>l/ha</b>
FENDT FAVORIT 714 VARIO	LABRAR/ SUBSOLADOR	1	14,19	14,19
FENDT FAVORIT 714 VARIO	ABONAR/ABONADORA Abocen 5000	0,25	14,19	3,55
MASSEY FERGUSSON 6490	LABRAR/ROTAVATOR	0,6	16,68	10,01
MASSEY FERGUSSON 4270	SEBRAR/SEMBRADORA Gil	0,4	11,62	4,65
FENDT FAVORIT 714 VARIO	ABONAR/ABONADORA Abocen 5000	0,25	14,19	3,55
MASSEY FERGUSSON 4270	TRAT. HERBICIDA/SULFATADORA I S A 8 3000	0,2	11,62	2,32
NEWHOLLAND 66TX	COSECHAR/COSECHADORA	0,75	30,00	22,50
MASSEY FERGUSSON 6490	RECOGER/ AUTOCARGADOR P31 LACASTA	0,20	16,68	3,34
<b>TOTAL l/ha:</b>				<b>64,10</b>

Hace un total de 64,10 l/ha de cultivo convertidos a CO<sub>2</sub> estamos hablando de 178,84 Kg de CO<sub>2</sub> eq que se emite a la atmósfera en el consumo de gasoil.

c) CONSUMOS GASOIL

Los datos de abonado de la parcela de referencia T12/196 estudiada antes con sus Kg de CO<sub>2</sub> equivalentes se ven en la tabla 4.38:

Tabla 4.38. ABONADO CEBADA/ha			
	Fondo	Cobertera	TOTAL
FERTILIZANTE	0-14-17	UREA 46	
TIPO	Blending	Granulada	
CANTIDAD(Kg/ha)	522	324	
kg CO <sub>2</sub> -eq/kg producto	0,15	5,15	
kg CO <sub>2</sub> -eq	78,3	1.668,6	<b>1.746,9</b>

d) BIOMASA FIJADA

La biomasa fijada por la cebada con el grano, la paja y las raíces se muestra en la tabla 4.39

Tabla 4.39. Biomasa Fijada por la Cebada					
	Kg/ha Grano	Kg/ha Paja	Raíces Kg/ha	TOTAL	Kg CO <sub>2</sub>
CEBADA	6.350	6900	1000	14.250	<b>26.078</b>
%	45	48	7	100%	

Obtenemos que el trigo fija 26.078 Kg de CO<sub>2</sub> por hectárea y esto representa que un 48% de materia seca de la planta que fija el C es la paja obtenida en el cosechado, un 45% es el grano y un 7% son las raíces.

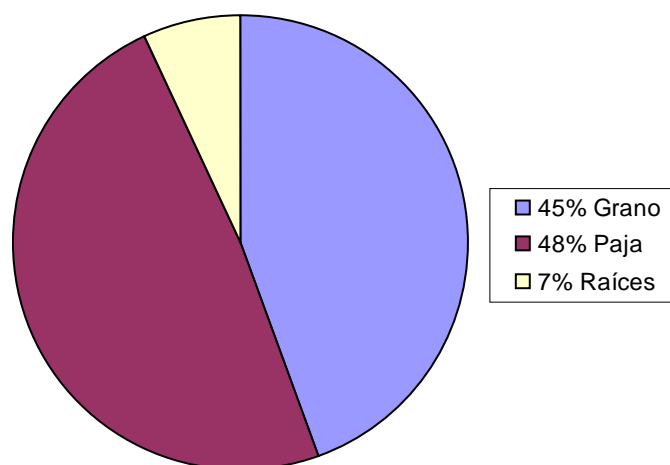


Figura 4.21. Porcentaje Materia Seca de la Cebada

Finalmente obtenemos que la huella de carbono positiva de la cebada es de 24.152 Kg CO<sub>2</sub> por hectárea de cultivo.

#### e) HUELLA DE CARBONO

La HC de la cebada sumando las emisiones en la maquinaria y fertilización se muestra en la tabla 4.40:

<b>Tabla 4.40. HUELLA CARBONO CEBADA/ha</b>	
<b>Fuente de emisiones</b>	<b>kg CO<sub>2</sub> -eq</b>
GASOIL	178,84
FERTILIZANTES	1.746,90
<b>TOTAL</b>	<b>1.925,74</b>

EL balance de C entre la biomasa generada y las emisiones de la explotación del cultivo se ven en la tabla 4.41.

<b>Tabla 4.41. Balance final HC CEBADA/ha</b>	
<b>kg CO<sub>2</sub>-eq Emitidos</b>	1.926
<b>kg CO<sub>2</sub>-eq Fijados</b>	26.078
<b>FIJADO-EMITIDO</b>	<b>24.152</b>

#### 4.2.6.- DISCUSIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO

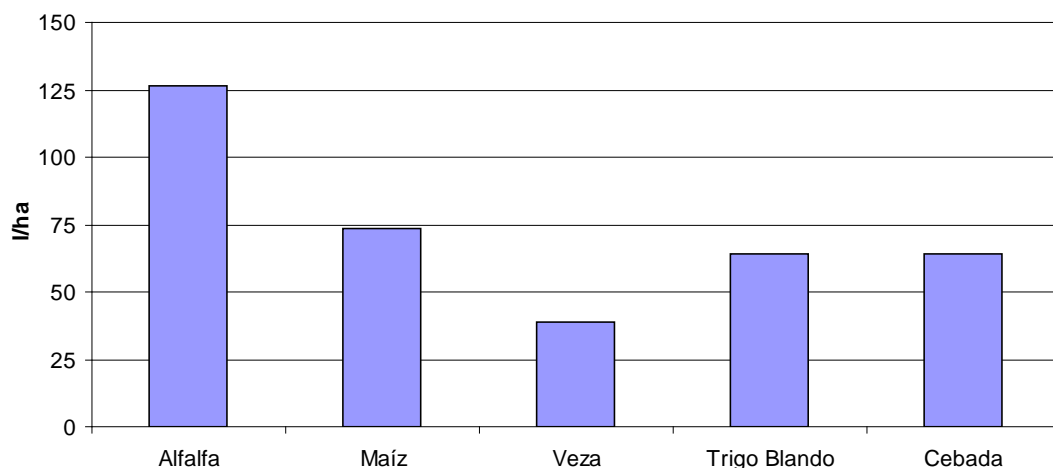
A continuación se va a realizar una discusión de la huella de Carbono haciendo un resumen de todas las huellas y haciendo una comparativa entre ellas. Para que sean datos más exactos en la comparativa vamos a utilizar en vez del ciclo entero de la alfalfa que es de 5 años, vamos a tomar los datos de un año de cosecha como el resto de cultivos para trabajar referencias similares en el tiempo.

#### a) RESUMEN CONSUMOS GASOIL

Resumen del consumo de gasoil en la tabla 4.42 de los cinco cultivos:

<b>Tabla 4.42. RESUMEN CONSUMOS GASOIL</b>	
<b>CONSUMO CULTIVO</b>	<b>l/ha</b>
Consumo Alfalfa	126,23
Consumo Maíz	73,50
Consumo Veza	38,85
Consumo Trigo Blando	64,10
Consumo Cebada	64,10
<b>TOTAL</b>	<b>366,83</b>

La representación gráfica de los consumos en la figura 4.22.



**Figura 4.22.** Consumos de gasoil por ciclo de vida de cultivo

El consumo de gasoil en la alfalfa es claramente mayor al resto ya que en cada año tiene una media de 6 cosechas, con lo cual tiene muchos más trabajo con la maquinaria agrícola que el resto.

El segundo cultivo que consume más es el maíz y es debido sobre todo a los tratamientos ya que los trabajos son similares a los de trigo y al cebada que son exactamente iguales ya que normalmente suelen trabajarse de la misma forma.

El cultivo que menos consume con diferencia es la veza, también es un cultivo con menores rendimientos pero su ciclo de vida es el más corto y por ello es el menos consumo de gasoil necesita.

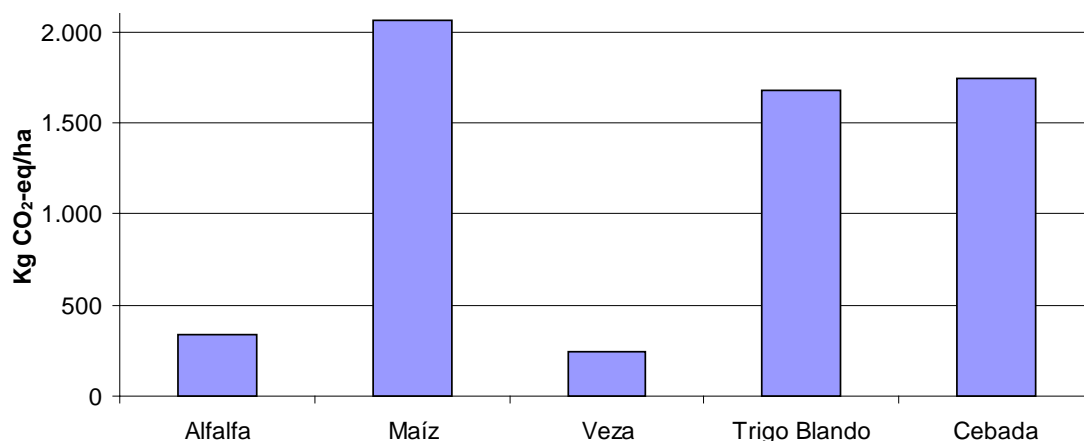
Para la producción de una hectárea de cada cultivo estudiado se gastaría un total de 871, 95 litros de gasoil.

**b) RESUMEN FERTILIZANTES**

El resumen de las emisiones producidas por el abonado de los cultivos durante una campaña está en el cuadro 4.43.:

<b>CULTIVO</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>-eq/ha</b>
Alfalfa	338
Maíz	2.063
Veza	248
Trigo	1.679
Cebada	1.747
<b>TOTAL</b>	<b>6.075</b>

La representación gráfica de la fertilización de cada cultivo esta en la figura 4.23.



**Figura 4.23.** Kg CO<sub>2</sub> eq/ha Fertilización de cada cultivo

La alfalfa y la veza, al ser una leguminosas, son cultivos que no necesitan apenas nitrógeno en su abonado ya que en sus raíces vive en simbiosis una bacteria llamada *Rhizobium* que fija el nitrógeno atmosférico, y el nitrógeno es el compuesto del abonado que al hidrolizarse libera más CO<sub>2</sub> equivalente.

Por otro lado los cereales si que necesitan el aporte de N para aumentar sus producciones siendo el maíz el cultivo que más huella de carbono produce en su abonado seguido de la cebada y el trigo.

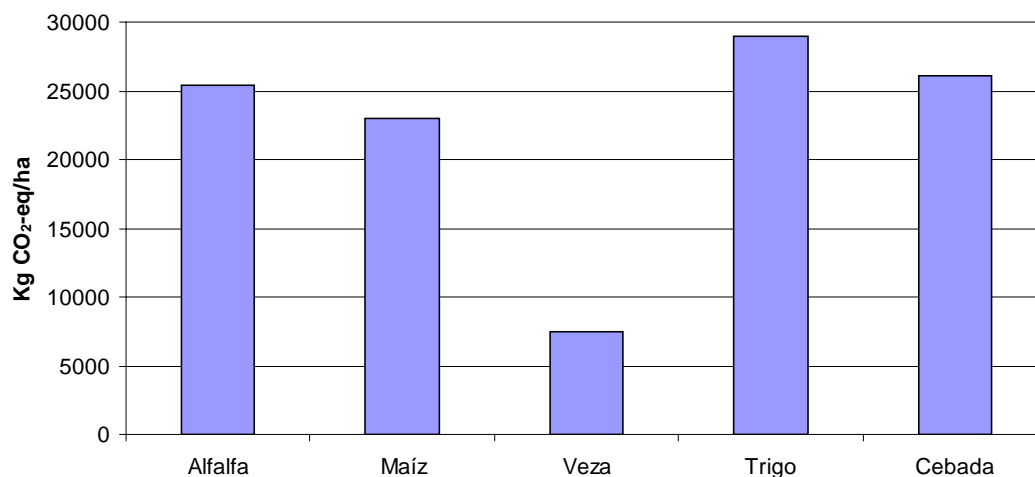
#### c) RESUMEN BIOMASA FIJADA

Por otro lado está la biomasa como hemos visto antes en cada cultivo que fijan las plantas y se muestran en la tabla 4.44:

CULTIVO	Kg CO <sub>2</sub> /ha
ALFALFA	25.400
MAÍZ	23.016
VEZA	7.422
TRIGO BLANDO	29.015
CEBADA	26.078
<b>TOTAL</b>	<b>110.932</b>

La suma de las biomosas fijadas es de 110.932 Kg de CO<sub>2</sub> eq/ha que se obtiene de la producción de una hectárea de todos los cultivos de estudio.

La representación gráfica de esta biomasa fijada por hectárea de cada cultivo está en la figura 4.24.



**Figura 4.24.** Biomasa fijada por hectárea de cada cultivo

En cuestión de biomasa fijada el trigo es el que más biomasa genera y luego está la cebada ya que éstas tienen un subproducto con bastante valor en materia seca que es la paja que también se utiliza para alimentación animal. Seguido está la alfalfa que en una campaña tiene 6 cosechas de forraje y seguido el maíz que aunque es el grano que más valor tiene, su subproducto son las cañas y el valor de biomasa es menor que el de paja. Finalmente está la veza que es el producto que menos materia seca produce y que tiene el ciclo de vida más corto.

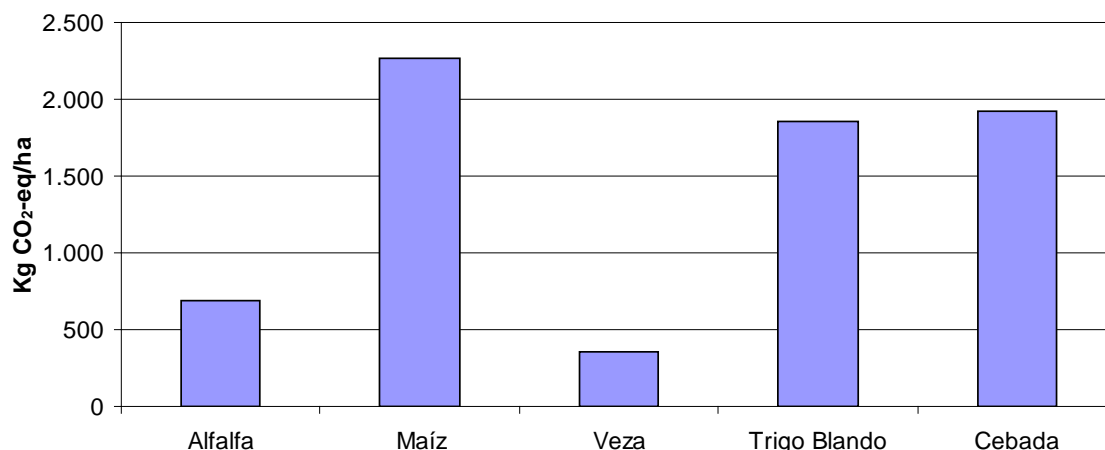
d) RESUMEN HUELLA DE CARBONO

El resumen de la huella de carbono emitida por el consumo de gasoil y abonado de los cultivos del estudio en la tabla 4.45 ha:

<b>CULTIVO</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>-eq/ha</b>
Alfalfa	691
Maíz	2.269
Veza	356
Trigo	1.857
Cebada	1.926
<b>TOTAL</b>	<b>7.099</b>

La huella de carbono emitida total es de 7.099 Kg de CO<sub>2</sub> eq/ha que se obtiene de la producción de una hectárea de todos los cultivos de estudio.

La representación gráfica de la huella de Carbono emitida está en la figura 4.25.



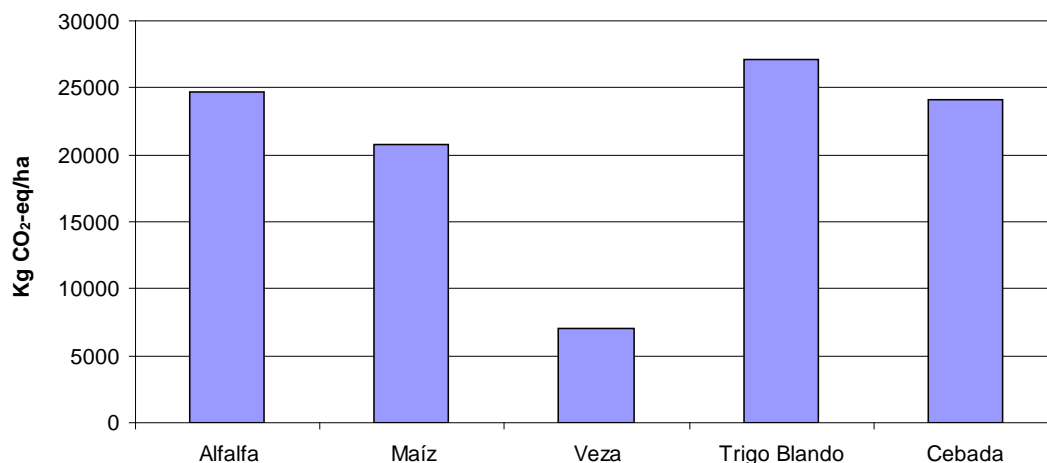
**Figura 4.25.** Huella de Carbono emitida de cada cultivo

Los 5 cultivos emiten un total 7.099 Kg de CO<sub>2</sub> eq/ha siendo el maíz que más emite sobre todo porque es el que más fertilización nitrogenada necesita, seguido de cebada y trigo que tienen unas emisiones similares y por último la alfalfa y la veza que como hemos dicho al no necesitar apenas aporte de N, la liberación de los gases de efecto invernadero es menor.

Para el cálculo del balance final restamos a lo fijado lo emitido y obtenemos el siguiente resultado de huella de carbono positiva de los 5 cultivos de la tabla 4.46.:

CULTIVO	kg CO <sub>2</sub> -eq/ha
Alfalfa	24.710
Maíz	20.747
Veza	7.066
Trigo blando	27.158
Cebada	24.152
<b>TOTAL</b>	<b>103.833</b>

La huella de carbono positiva total es de 103.833 Kg de CO<sub>2</sub> eq/ha que se obtiene de la producción de una hectárea de todos los cultivos de estudio.



**Figura 4.26.** Balance final de CO<sub>2</sub>-eq fijado menos el emitido por ha de cultivo

Los resultados del balance nos muestran que el cultivo con la huella de carbono positiva mayor es el trigo, siendo el que más biomasa fija, seguido de la cebada ya que son cultivos similares y de la alfalfa que obtiene bastante forraje en las cosechas de un año y emite poco CO<sub>2</sub> en la fertilización. El cultivo que menos huella de carbono positiva tiene es la veza ya que ni emite ni fija mucho porque es un ciclo muy corto y las necesidades de trabajos con la maquinaria agrícola y abonados son mínimas.

#### 4.3.- EJEMPLO DE APLICACIÓN

Vamos a diseñar una explotación tipo para 10 años donde se van a realizar 2 rotaciones de alfalfa combinada con los otros cultivos del estudio para estudiar su impacto. El maíz siempre se pondrá tras la veza y el trigo y la cebada se ponen sobre todo antes de la siembra de la alfalfa. Este tipo de explotación es la más común para la rotación de cultivo de las deshidratadoras de forraje.

La explotación consta de 300ha, está situada en la zona sur de Navarra, es de riego a pie y hay agua durante todo el año.

Las rotaciones de los cultivos se muestran en la tabla 4.47.

Ha/año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOT
ALFALFA	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	1500
VEZA/MAÍZ	80	80	80	80		80	80	80	80		640
TRIGO BLANDO	40	40	40	40	80	40	40	40	40	80	480
CEBADA	30	30	30	30	70	30	30	30	30	70	380
<b>TOT</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>3000</b>

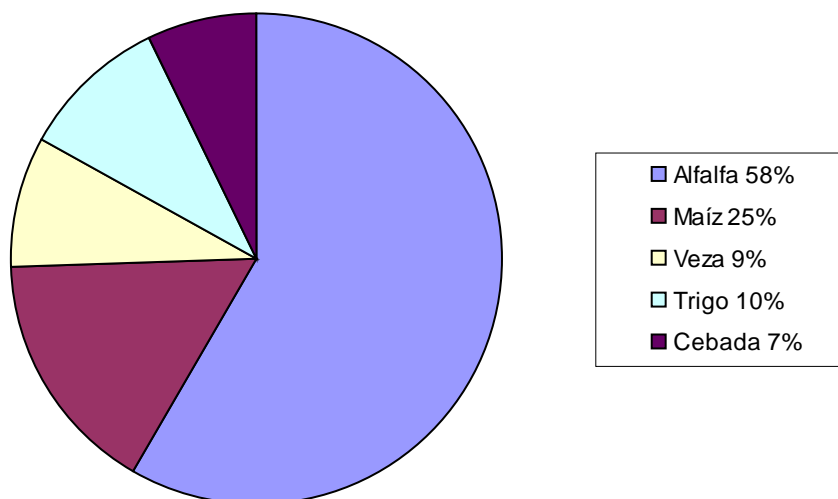
Hay dos siembras de alfalfa en el año 1 y en el año 6 de 150 ha cada siembra, rotando la mitad de la finca. De las hectáreas libres cada año se hacen una rotación de 80 ha de veza/maíz, 40 ha de trigo blando y 30 ha de cebada. El año anterior de sembrar la alfalfa sembramos las 150 ha que serán de este cultivo de 80 ha de trigo y 70 ha de Cebada para poder realizar la siembra en otoño al levantar las cosechas de éstos.

La huella hídrica de la explotación tipo en los 5 años sería la siguiente y se refleja en la tabla 4.48.

m <sup>3</sup> /año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOT
Alfalfa	1914150	1914150	1914150	1914150	1914150	1914150	1914150	1914150	1914150	1914150	19141500
Veza/maíz	1023600	1023600	1023600	1023600		1023600	1023600	1023600	1023600		8188800
Trigo	265640	265640	265640	265640	531280	265640	265640	265640	265640	531280	3187680
Cebada	185400	185400	185400	185400	432600	185400	185400	185400	185400	432600	2348400
<b>TOT</b>	<b>3388790</b>	<b>3388790</b>	<b>3388790</b>	<b>3388790</b>	<b>2878030</b>	<b>3388790</b>	<b>3388790</b>	<b>3388790</b>	<b>3388790</b>	<b>2878030</b>	<b>32866380</b>



De los 8.188.800 m<sup>3</sup> del doble cultivo de veza/maíz, 5.337.600 m<sup>3</sup> son del maíz y los 2.851.200 m<sup>3</sup> restantes son de la veza. Dando una representación de la huella hídrica de cada cultivo de la explotación reflejada en la figura 4.27.



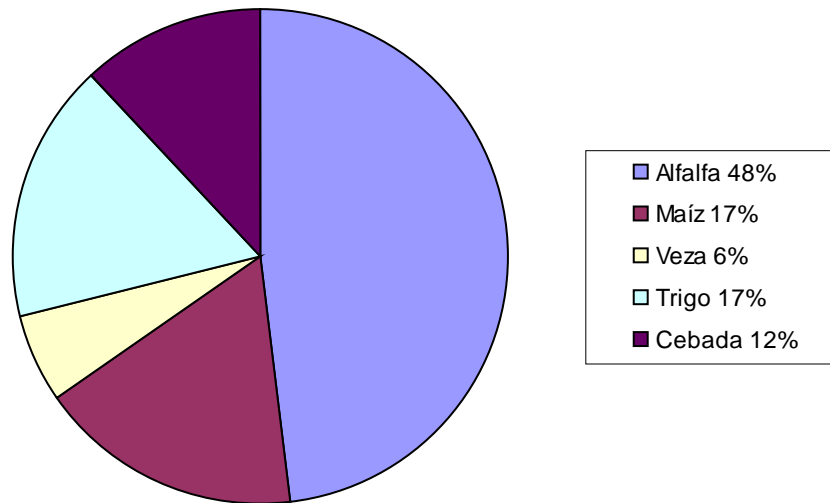
**Figura 4.27.** Porcentaje Huella hídrica por cultivos en la explotación tipo

Lo cual representa que la alfalfa tendría el mayor consumo de agua de la explotación, no solo por que es el cultivo más cultivado sino porque también es el que más agua necesita. Seguido iría el maíz que es el segundo cultivo con más necesidades hídricas y el segundo junto a la veza más cultivado. Seguidos por el trigo y la cebada que son los de menores huellas hídricas y las menores superficies de la explotación tipo.

La huella de Carbono positiva de la explotación sería la que muestra la tabla 4.49.

t /año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOT
<b>ALFALFA</b>	3.707	3.707	3.707	3.707	3.707	3.707	3.707	3.707	3.707	3.707	37.065
<b>VEZA/MAÍZ</b>	2.225	2.225	2.225	2.225		2.225	2.225	2.225	2.225		17.801
<b>TRIGO</b>	1.086	1.086	1.086	1.086	2.173	1.086	1.086	1.086	1.086	2.173	13.036
<b>CEBADA</b>	725	725	725	725	1.691	725	725	725	725	1.691	9.178
<b>TOT</b>	<b>7.742</b>	<b>7.742</b>	<b>7.742</b>	<b>7.742</b>	<b>7.750</b>	<b>7.742</b>	<b>7.742</b>	<b>7.742</b>	<b>7.742</b>	<b>7.750</b>	<b>77.079</b>

De las 17.801 tn de CO<sub>2</sub> eq del doble cultivo de veza/maíz, 13.278 tn son del maíz y los 4.522 restantes son de la veza. Dando una representación de la huella hídrica de cada cultivo de la explotación reflejada en la figura 4.28.



**Figura 4.28.** Porcentaje Huella de carbono positiva por cultivos en la explotación tipo

Al igual que con la HH, para la HC positiva la alfalfa es el que más C fija ya que es la más cultivada en la explotación, seguida por el maíz y el trigo, teniendo más impacto positivo el trigo debido a que se cultiva en menos cantidad.

## 5.- CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo han permitido extraer las siguientes conclusiones:

- La huella hídrica de los cultivos extensivos en regadío en la Ribera Baja de Navarra es elevada ya que es una zona con escasas precipitaciones y la mayoría de estos cultivos tienen necesidades hídricas elevadas para su correcto desarrollo. El cultivo que mayor impacto hídrico supone debido a sus necesidades y a su ciclo de vida es la alfalfa. EL maíz tiene un consumo hídrico menor pero suele cultivarse como segunda cosecha de veza o de algún otro cultivo de ciclo corto de invierno, obteniendo una huella hídrica similar al de la alfalfa. Los cultivos con menores necesidades hídricas son el trigo blando y la cebada ya que para realizar una cosecha se necesita solo la mitad de agua que la alfalfa o la doble cosecha de veza y maíz con lo cual para reducir el impacto hídrico de la explotaciones lo más eficiente es aumentar en la medida de lo posible la implantación de los cereales de invierno.
- La huella de carbono de todos los cultivos es positiva ya que fijan más CO<sub>2</sub> del que emiten en su explotación y se puede trabajar para aumentar el impacto positivo que suponen. El trigo es el cultivo cuyo balance fija más CO<sub>2</sub>, seguido de la cebada con emisiones semejantes pero menor rendimiento de producción. Después están la alfalfa y el maíz con una huella positiva similar, menor a los cereales de invierno pero muy significativa, y por último la veza, que tiene la menor producción de materia seca, siendo la que menos biomasa fija debido a que tiene el ciclo más corto.
- El estudio de los cultivos extensivos en regadío en las zonas agrícolas más importantes debería extenderse y profundizarse ya que son cultivos muy significativos y la evaluación de cada explotación es una buena herramienta para equilibrar más las huellas, consiguiendo minimizar los consumos de agua con correctas rotaciones de cultivos y maximizar la fijación del CO<sub>2</sub> y reducir la liberación de los gases de efecto invernadero.



## 6.- BIBLIOGRAFÍA

AEMET (2014) Datos suministrados por la Agencia Estatal de Meteorología. <http://www.aemet.es/es/portada>

AENOR (2010) Huella de Carbono de productos, servicios, organizaciones y eventos.

Alibes, J. Casado Sal, A., Colaleda C, J.M., Delgado, I., Faci, J., García, A., Hycka, M., Ibañez, M., Palomero, J.L., Rivilla, M., Sanagustín, M., Zaragoza, C. (1984) Cultivo de la alfalfa en los regadíos del Duero y Ebro. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

BESEL, S.A. (2007) Biomasa- Cultivos Energéticos. Departamento de Energía. IDAE-Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. ISBN-13: 978-84-96680-17-3

Doménech, J., Martínez, M., Fernández, M. (2010) La agricultura y el CO<sub>2</sub>. Servicio de Estadística y Planificación Agraria. Gobierno de La Rioja.

Fertilizers Europe (2011) Energy efficiency and greenhouse gas emissions in European mineral fertilizer production and use.

Frohmann, A. (2012) Cálculo y Etiquetado de la Huella de Carbono. División de Comercio Internacional e Integración CEPAL

Garrido, A., Llamas, M.R., Varela-Ortega, C., Novo, P., Rodríguez-Casado, R. y Aldaya, M.M. (2010) Water Footprint and Virtual Water Trade in Spain: Policy Implications. Springer, New York.

Generalitat de Catalunya (2014) Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) Oficina Catalana del Canvi Climàtic.

GENVCE (2007) Nuevas variedades de cebada, trigo blando y trigo duro en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación.

Gobierno de Extremadura (1992) Ley de fomento de la agricultura ecológica, natural y extensiva de Extremadura.

Gobierno de Navarra (2000-2006) Programa de Desarrollo Rural 2000-2006: ANEXO 2 Justificación de la adaptación de las medidas agroambientales a las necesidades particulares del entorno y de las condiciones de manejo.

Gobierno de Navarra (2012) Meteorología y climatología de Navarra. Zona Sur.

Herbario UPNA (2014). Flora Pratense y Forrajera Cultivada de la Península Ibérica.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. (2011) The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard, Earthscan, London, UK.

INTIA, S.A. (2014) Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias. <http://www.intiasa.es/>

Montero, G., Ruiz-Peinados, R., Muñoz, M. (2005) Producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> por los bosques españoles. Monografía INIA: Serie Forestal. ISBN: 84-7498-512-9.

SAGARPA (2012) Emisiones de GEI del Sector Agropecuario en México. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México.

Salmoral, G., Dumont, A., Aldaya, M.M., Rodríguez-Casado, R., Garrido, A., Llamas M.R. (2011) Análisis De la Huella Hídrica Extendida en la Cuenca del Guadalquivir.

Sotelo, J.A., Olcina, J., García, F., Sotelo, M. (2012) Huella hídrica de España y su diversidad territorial.

Suttie J.M. (2003) Conservación Heno y paja para pequeños productores y en condiciones pastoriles. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia. ISBN 92-5-304458-6