



International  
Institute of  
Social Studies

*Erasmus*



## EL FUTURO DE LA ALIMENTACIÓN Y RETOS DE LA AGRICULTURA PARA EL SIGLO XXI:

*Debates sobre quién, cómo y con qué implicaciones sociales, económicas y ecológicas alimentará el mundo.*

## THE FUTURE OF FOOD AND CHALLENGES FOR AGRICULTURE IN THE 21st CENTURY:

*Debates about who, how and with what social, economic and ecological implications we will feed the world.*

## ELIKADURAREN ETORKIZUNA ETA NEKAZARITZAREN ERRONKAK XXI. MENDERAKO:

*Mundua nork, nola eta zer-nolako inplikazio sozial, ekonomiko eta ekologikorekin elikatuko duen izango da eztabaidagaia*

***La investigación al servicio de la sostenibilidad y seguridad alimentaria en un contexto de cambio climático***

***Del-Canto A, Mena Petite A, Pérez-López U, Aldezabal A, Muñoz-Rueda A, Lacuesta M***

Paper # 74

***Apirila – Abril – April  
24, 25, 26  
2017***

**elikadura<sup>21</sup>**

NAZIOARTEKO HIZKETALDIA  
COLOQUIO INTERNACIONAL  
INTERNATIONAL COLLOQUIUM

[www.elikadura21.eus](http://www.elikadura21.eus)

# La investigación al servicio de la sostenibilidad y seguridad alimentaria en un contexto de cambio climático

*Del-Canto A, Mena Petite A, Pérez-López U, Aldezabal A, Muñoz-Rueda A, Lacuesta M*

## 1. INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola está siendo sometida a una creciente presión para incrementar y mejorar su productividad, con el fin de asegurar el suministro de alimentos en un escenario de cambio climático y de creciente población mundial. Durante años, la producción agrícola se ha basado en un aumento continuo de la producción, incrementando el uso de fertilizantes, pesticidas, y un descenso en la biodiversidad de cultivos. Los daños que este tipo de prácticas han generado en el medio ambiente, unidos a un aumento de la sensibilidad del consumidor por los temas medioambientales y el bienestar animal, así como un mayor apoyo a las técnicas de producción tradicionales y a la producción de cercanía, están modificando, aunque lentamente, los sistemas de producción. A esto hay que añadir el impacto que el cambio climático puede tener en los sistemas agroforestales a medio y largo plazo. Así, el aumento del CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto invernadero, responsables del cambio climático, están provocando el incremento de la Ta, de los ciclos de sequía y de la salinización de los suelos. Estos cambios provocan importantes modificaciones en la fisiología de las plantas alterando el crecimiento, la productividad y la calidad de los productos agrícolas y los recursos naturales de la montaña (sistemas extensivos).

Estos cambios deben ser abordados desde diferentes perspectivas para evitar, o al menos minimizar, el impacto que el cambio climático puede tener en los sistemas biológicos, en la biodiversidad, en la producción de alimentos y en la seguridad alimentaria. Por ello, es fundamental llevar a cabo investigaciones tanto básicas como aplicadas que permitan conocer, no sólo el efecto que el cambio climático tiene sobre la producción y calidad de los alimentos, sino también la capacidad de adaptación, tanto de los cultivos agrícolas como de los recursos pascícolas frente a la nueva situación ambiental, buscando estrategias que minimicen los impactos negativos y favorezcan los sistemas de producción frente a las nuevas situaciones ambientales.

Nuestro grupo de investigación *Fisioclima* CO<sub>2</sub> de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) lleva más de 20 años analizando la interacción del incremento del CO<sub>2</sub> y los principales estreses asociados (como la T<sup>a</sup>, déficit hídrico, fertilización nitrogenada, salinidad) en la productividad y supervivencia de diferentes especies vegetales de interés agronómico como cebada, alubia, maíz, sorgo, lechuga. Así mismo, se han realizado estudios ecológicos de comunidades en pastos seminaturales, evaluando la interacción de especies vegetales pratenses y la interacción vegeción- herbívoro con el fin de obtener un aprovechamiento óptimo de los pastos de montaña. Los objetivos principales que se persiguen en nuestras líneas de investigación son los siguientes:

1. Conocer en profundidad los mecanismos ecofisiológicos y la capacidad de adaptación de las especies de interés agrícola a las condiciones impuestas por el cambio climático. Estos conocimientos ayudarían a establecer las pautas de respuesta de las plantas frente a los estreses ambientales, tanto desde el punto de vista genético como fisiológico y podría utilizarse en programas de mejora. Para ello, trabajamos en: (i) la selección de nuevas variedades de cebada más tolerantes a sequía, CO<sub>2</sub> y T<sup>a</sup>; (ii) la mejora de las interacciones rizobio-leguminosa que permita adaptar los cultivos ante las nuevas situaciones ambientales de CO<sub>2</sub> y sequía, reduciendo el uso de fertilizantes nitrogenados; (iii) el estudio comparado de la producción ecológica y convencional de leguminosas para dotar de herramientas que permitan fomentar el uso de la agroecología como alternativa de producción.
2. La optimización de los recursos pascícolas analizando la incidencia que la sequía y las prácticas asociadas al pastoreo pueden tener en la producción y calidad final de los pastos. Mediante un experimento en invernadero (mesocosmos) se analizará el efecto que los principales mecanismos inducidos por el pastoreo (defoliación, fertilización, dispersión de semillas) en situaciones de sequía, ejercen sobre la diversidad florística, calidad nutritiva y relaciones de competencia de los pastos seminaturales atlánticos.
3. Encontrar estrategias que minimicen el impacto del cambio climático y permitan una producción sostenible y la seguridad alimentaria presente y futura.

## 2. TRAYECTORIA Y RESULTADOS MÁS DESTACABLES DEL GRUPO FISIOClima- CO<sub>2</sub>

En la actualidad, el grupo de investigación de la UPV-EHU *Fisioclima- CO<sub>2</sub>* dirigido por el Dr. Muñoz-Rueda, está compuesto por 15 investigadores (7 profesores, 5 postdoctorales, 3 predoctorales) que pertenecen a las áreas de conocimiento de Fisiología Vegetal (liderado por el Dr. Alberto Muñoz) y Botánica (liderado por la Dra. Arantza Aldezabal).

El equipo de fisiología vegetal, posee una amplia experiencia en el estudio de la interacción del aumento del CO<sub>2</sub> con otros estreses ligados al cambio climático como la sequía y la salinidad. Tales estudios van encaminados a dilucidar los mecanismos de la respuesta de la productividad de los cultivos (principalmente cereales y leguminosas) al aumento del CO<sub>2</sub> y la búsqueda de especies o cultivares capaces de aprovechar el efecto estimulador que el aumento de CO<sub>2</sub> tiene sobre la producción de los cultivos bajo las condiciones de cambio climático. En tales ensayos se pone de manifiesto la necesidad de analizar de qué forma el elevado CO<sub>2</sub> interactuará con otros estreses como la sequía y la salinidad, entre otros.

Tras haber contrastado algunas de las hipótesis sobre la interacción entre diferentes factores asociados al cambio climático en una sola especie, iniciamos estudios en otros ecosistemas como los pastos de montaña, donde conviven más de una especie y existe el factor de la competencia entre especies. Esta temática sirvió de nexo con los objetivos planteados en los estudios desarrollados en

condiciones naturales por el equipo de “Ecología del Pastoreo y Dinámica Forestal” de la UPV/EHU, de Botánica, que cuenta con una larga trayectoria en el análisis de la interacción entre los herbívoros y su hábitat, así como en el estudio de la dinámica forestal y la diversidad fúngica terrestre asociada a dichos ecosistemas. Los trabajos realizados por dicho grupo tienen como objetivo principal entender cómo responden las comunidades vegetales a las perturbaciones, sean naturales o generadas por el hombre (principalmente, el pastoreo). En la actualidad, su actividad investigadora se centra en dos líneas de investigación: (1) el análisis de la interacción suelo-vegetación y el efecto del cese total del pastoreo sobre la composición florística del pasto, diversidad vegetal, diversidad de la comunidad fúngica endomicorrícica, parámetros físico-químicos del suelo, así como la temperatura, contenido de agua y la actividad de las comunidades microbianas en suelo; (2) la evaluación y descripción de los procesos que modifican los patrones temporales y espaciales de las especies leñosas, principalmente en matorrales y bosques, así como el estudio de las interacciones entre plantas y hongos micorrícicos. El grupo se ha especializado en diversas técnicas como la dendrocronología y el modelado de patrones espaciales y temporales.

Desde el año 2016, tras la fusión de ambos equipos, el grupo de investigación *Fisioclima CO<sub>2</sub>* ha trabajado no sólo en condiciones controladas en cámaras de crecimiento, fitotrones o invernaderos, simulando las condiciones ambientales ligadas al cambio climático (como son sequía, salinidad, temperatura, elevado CO<sub>2</sub>, etc), sino también en parcelas experimentales en el campo, en cultivo convencional y ecológico y en pastos seminaturales, lo que le confiere una experiencia muy valiosa para avanzar en el conocimiento del efecto que las condiciones ligadas al cambio climático producen en cereales, leguminosas y pastos seminaturales.

A continuación se describen de una manera esquemática y resumida algunos de los **resultados más relevantes** de nuestras investigaciones.

### **2.1. Respuesta de la cebada a la sequía y el elevado CO<sub>2</sub>**

1- El elevado CO<sub>2</sub> alivia el impacto de la sequía en la cebada mejorando su estado hídrico al disminuir la conductancia estomática y retrasando sus efectos sobre la fotosíntesis (Robredo et al., 2007).

2- El estrés hídrico influye de manera diferencial en las características fotosintéticas de cebada cuando crece a CO<sub>2</sub> elevado o a CO<sub>2</sub> ambiental. El elevado CO<sub>2</sub> contrarresta el efecto de la sequía a través de mecanismos tanto bioquímicos como fisiológicos, disminuyendo el riesgo de daños en el aparato fotosintético, lo que permite a las plantas enfrentarse más eficientemente al estrés hídrico (Robredo et al., 2010).

3- El elevado CO<sub>2</sub> mejora el metabolismo del nitrógeno afectado por la sequía al mantener un mejor estado hídrico y aumentando la fotosíntesis, lo que permite una mayor reducción del nitrato y asimilación del amonio, mitigando muchos de los efectos de la sequía en el metabolismo del nitrógeno y permitiendo una más rápida recuperación tras el estrés hídrico (Robredo et al. 2011).

### **2.2. Respuesta de la cebada a la salinidad y el elevado CO<sub>2</sub>**

1- El impacto del estrés salino en el estado hídrico de la cebada es mitigado

parcialmente por el elevado CO<sub>2</sub>, debido, en parte, a una mayor capacidad de realizar ajuste osmótico y una menor pérdida de elasticidad (Pérez-López et al., 2009a, 2010a, 2014a).

2- El elevado CO<sub>2</sub> reduce las limitaciones, tanto estomáticas como fotoquímicas y bioquímicas provocadas por la salinidad en la fotosíntesis de los cultivares de cebada. (Pérez-López et al., 2012).

3- El estrés oxidativo causado por la salinidad en los cultivares de cebada es mitigado por el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> implicando menores tasas de generación de ROS y un mejor mantenimiento de la homeostasis redox como consecuencia de una más alta tasa de asimilación y menor tasa de fotorrespiración, siendo además tal respuesta dependiente del cultivar (Pérez-López et al., 2009b, 2010b).

4- La concentración de CO<sub>2</sub> contrarresta el efecto de la salinidad en la nutrición mineral al incrementar el crecimiento vegetal y la toma de iones como consecuencia de una mayor fracción de raíces finas y de una mayor cantidad de esqueletos carbonados, lo que podría permitir una mayor disponibilidad de ATP, necesario para la toma de nutrientes (Pérez-López et al., 2014b).

5- El efecto de la salinidad en el metabolismo del N es modulado por el nivel de CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través de mayores tasas de toma, reducción y asimilación del nitrógeno, mostrando niveles superiores de composición isotópica de <sup>15</sup>N y proteínas, lo que les permite ser más eficientes en el uso del nitrógeno y obtener un mayor desarrollo (Pérez-López et al., 2013c).

6- La reducción del crecimiento provocado por la salinidad es, en parte, contrarrestada por el elevado CO<sub>2</sub> ya que es capaz de sintetizar más biomasa seca por área, consecuencia de una mayor tasa fotosintética, y amortiguar la reducción de la expansión foliar, debido a un potencial de pared más elevado (Pérez-López et al., 2013a).

### 2.3. Efecto del elevado CO<sub>2</sub> en la respuesta de leguminosas

1- La respuesta fisiológica de las leguminosas al elevado CO<sub>2</sub> depende de la cepa de *Rhizobium* inoculada. Dependiendo de las condiciones ambientales y la cepa de *S. meliloti* inoculada, la respuesta de la planta al CO<sub>2</sub> elevado fue diferente. Mientras que las plantas inoculadas con la cepa 102F78 mostraron una mayor fotosíntesis, fijación de N<sub>2</sub> bajo condiciones de CO<sub>2</sub> elevado que resultó en mayor producción; las plantas inoculadas con la cepa 1032GMI mostraron una menor respuesta a estas condiciones (Sanz-Sáez et al., 2012a, 2012b, 2013).

2- La inoculación con una cepa seleccionada de *Bradyrhizobium japonicum* no altera la respuesta de la soja al elevado CO<sub>2</sub> en condiciones de campo, y se concluye que a pesar de que la cepa seleccionada era más eficiente que la nativa en la fijación de N<sub>2</sub>, fotosíntesis y crecimiento, sin embargo, cuando se inoculan con la cepa seleccionada macetas en las que ya existe una población de cepas nativas, no se observa un efecto positivo de la inoculación; por lo que podemos decir que las cepas seleccionadas, mejoran el crecimiento de las plantas de soja, siempre que no existan cepas nativas en el suelo (Sanz-Sáez et al., 2015).

### 2.4. Seguridad alimentaria y mejora de la calidad nutricional de los vegetales

Los resultados de la investigación demuestran que la producción de biomasa y la



calidad nutricional de la lechuga pueden ser modificadas pero la respuesta es dependiente del cultivar, y la elección de la mejor técnica de cultivo (usar elevada intensidad de luz o agua salada solas, o acompañadas del elevado CO<sub>2</sub>) depende de las características de la lechuga que se quiera modificar (Pérez-López et al., 2013b, 2015a, 2015b).

### ***2.5. El aporte de altas dosis de nitrógeno reduce el crecimiento en maíz, desde un nivel celular hasta la planta entera***

El nitrógeno es un nutriente esencial que limita la productividad agrícola y cuyo uso está ampliamente extendido en la agricultura convencional. Sin embargo, el exceso de fertilizantes nitrogenados, no sólo supone un riesgo para la salud humana y el medio ambiente, sino que incluso puede ser negativo para el crecimiento del cultivo. En estos trabajos, resultados de la Tesis doctoral del Dr. Saiz-Fernández, se demostró que la aplicación de dosis altas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en un cultivo de maíz no incrementaba la productividad del cultivo ni en condiciones controladas ni en experimentos en campo. Incluso en condiciones controladas, se observó una fuerte inhibición del crecimiento, en plantas de maíz crecidas durante 45 días con concentraciones superiores a 5 mM de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Esta inhibición del crecimiento, que se daba tanto a nivel radicular como aéreo, parecía estar mediado por alteraciones en los niveles hormonales, así se observó un incremento en el nivel del ácido 1-aminociclopropano-1- carboxílico, precursor del etileno en hojas, que se translocó probablemente desde las raíces, y un aumento de los niveles de citoquininas que ocasionó una reducción del tamaño celular y del número de las células. La combinación de estos efectos provocó la inhibición general del crecimiento en las plantas crecidas bajo altas concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Los resultados demostraron que la aplicación de altas concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> inhiben el crecimiento en maíz mediante cambios en los niveles hormonales que modifican el crecimiento celular, desde la célula hasta la planta entera y suponen una menor productividad en campo (Saiz-Fernández et al., 2015).

### ***2.6. Efecto del cambio climático en la competencia entre especies***

La respuesta al cambio climático es dependiente de la especie y del tipo de competencia establecida entre las especies. Así, el incremento de la biomasa a elevado CO<sub>2</sub> en las gramíneas es superior cuando crecen en competencia intraespecífica que cuando crecen en competencia interespecífica. Mientras que en el caso de las leguminosas se observa la respuesta contraria. Por otro lado, en competencia intraespecífica las leguminosas están más afectadas por la sequía que las gramíneas, mientras que en competencia interespecífica las leguminosas aguantan más que las gramíneas. Estas diferencias a nivel de especie en la respuesta del crecimiento al elevado CO<sub>2</sub> y a la sequía podría llevar consigo cambios en la composición y biodiversidad de los pastizales en condiciones climáticas futuras (Miranda-Apodaca et al., 2015).

### ***2.7. Efectos del pastoreo sobre la vegetación, el suelo, la actividad y diversidad microbiana***

Los resultados obtenidos hasta la actualidad por el grupo indican que los efectos más notables inducidos por una exclusión permanente del pastoreo (de al menos 5 años) son la reducción de la calidad nutritiva de las especies pascícolas (Odriozola et al., 2014), la ausencia de fluctuaciones térmicas diarias en la

temperatura del suelo debido al efecto de aislamiento que produce la acumulación de la materia seca (manto) por falta de pastoreo, y unas relaciones hídricas muy complejas que dependen de la textura del suelo y la radiación solar (Odriozola et al., 2014). Asimismo, se ha detectado una pérdida progresiva de riqueza específica en las parcelas excluidas, con una dominancia clara de gramíneas y ciperáceas. En consecuencia, los microorganismos del suelo responden reduciendo su actividad enzimática y biomasa microbiana, aumentando las emisiones de CO<sub>2</sub> y su tasa metabólica (CO<sub>2</sub>), lo cual indica una menor eficiencia metabólica en ausencia de pastoreo (Aldezabal et al., 2015). Sin embargo, en relación a la diversidad bacteriana y fúngica de las comunidades microbianas, no se han encontrado diferencias significativas entre las parcelas excluidas y pastadas (Aldezabal et al., 2015). Los resultados presentados en Odriozola et al. (2017) corroboran una reducción progresiva de especies vegetales tras la exclusión del pastoreo de 10 años. También observamos que el pastoreo de pequeños rumiantes retrasa la sucesión vegetal de los bosques secundarios (Laskurain et al., 2013).

### 3. OBJETIVOS PLANTEADOS PARA EL PERIODO 2016-2021

**Objetivo 1: Selección en campo de los cultivares de cebada que muestran características de adaptación\*** (en base a producción y calidad del grano) **al aumento del CO<sub>2</sub> y la disponibilidad hídrica.** \*Se define la adaptación como la capacidad de generar una alta producción con alta calidad nutricional y/o buena aptitud tecnológica en función del destino del producto.

**Objetivo 2: Selección en condiciones controladas (cámaras de crecimiento) de las características agronómicas, fisiológicas y moleculares responsables de la mayor capacidad de adaptación** (en base a producción y calidad del grano) a los factores ambientales ligados al cambio climático (alta Ta, sequía y elevado CO<sub>2</sub>) de los cultivares previamente seleccionados en los ensayos en campo, lo que nos servirá como indicador común para la posterior selección de los genotipos más adaptados.

**Objetivo 3: Validar y comprobar la fiabilidad del carácter o caracteres seleccionado/s en el laboratorio para la identificación y selección de genotipos de interés.** Para ello, aquellos caracteres seleccionados en el objetivo 2 se evaluarán en campo en el conjunto de los cultivares de partida y se correlacionarán con los parámetros de producción y calidad del grano establecidos, lo que nos permitirá identificar y seleccionar los genotipos más adaptados a las condiciones futuras de cambio climático (sequía, elevada CO<sub>2</sub> y alta T<sup>a</sup>).

**Objetivo 4: Estudiar el efecto del tipo de cepa de *Bradyrhizobium* en la producción de soja en condiciones de CO<sub>2</sub> ambiente y elevado.** En este objetivo se analizará la respuesta fisiológica y de producción de una variedad de soja crecida en condiciones de CO<sub>2</sub> ambiental y elevado a la inoculación con tres cepas de *Bradyrhizobium japonicum* aisladas en diferentes ambientes de CO<sub>2</sub>: (1) la cepa SFJ4-24-, bacteria predominante en nódulos de soja crecidas en condiciones ambientales de CO<sub>2</sub>; (2) la cepa SFJ14-36, predominante en nódulos de soja crecidas en condiciones de CO<sub>2</sub> elevado; y la cepa USDA110, cepa "control" seleccionada por su alta eficiencia en la fijación de N<sub>2</sub>. Este estudio se realizará en

dos condiciones diferentes, en cámaras de crecimiento sometidas a CO<sub>2</sub> ambiente y elevado, y en campo. El estudio de cámaras permitirá crecer las plantas en condiciones de CO<sub>2</sub> controladas, y en ausencia de aporte de fertilizante nitrogenado, por lo que el N que acumulen las plantas será mayoritariamente procedente de la fijación de N<sub>2</sub>. Esto nos permitirá estudiar qué cepa de *Bradyrhizobium* es más eficiente en la fijación en los diferentes ambientes de CO<sub>2</sub>. El experimento de campo, aunque se realizará solamente en condiciones de CO<sub>2</sub> ambiental, nos permitirá estudiar qué cepa estimula más la producción de soja en condiciones edáficas y ambientales naturales tanto en cultivo ecológico como convencional. Por lo tanto, el experimento de campo servirá como confirmación de los datos obtenidos en cámara.

**Objetivo 5: Selección de la asociación simbiótica *Rhizobium*-Alubia más eficiente en condiciones de sequía con el fin de incrementar el potencial productor de variedades locales y comerciales de alubia tanto en cultivo ecológico como convencional.** En este objetivo se analizará la capacidad productiva de diferentes variedades de alubia comerciales y locales cultivadas en suelos ecológicos y convencionales sometidos a sequía. Tras identificar las variedades más productivas en cada tipo de suelo, se procederá al aislamiento e identificación de las bacterias para su posterior inoculación en las diferentes variedades de alubia y evaluar si la inoculación con una cepas resistente a la sequía ayuda a aumentar la producción.

**Objetivo 6: Analizar el efecto que presentan dos factores asociados al cambio climático como son el enriquecimiento de CO<sub>2</sub> atmosférico y el estrés hídrico de manera separada o conjunta en la ecofisiología de especies pratenses (*Festuca rubra*, *Agrostis capillaris*, *Trifolium repens* y *T. pratense*).** A su vez, determinar si existen diferencias entre las distintas especies y/o grupos funcionales y elucidar si la respuesta a las variaciones ambientales se ve modulada por el tipo de competencia en la que crecen las plantas. Se medirán un conjunto de variables ligadas a las relaciones hídricas, a la respuesta del metabolismo fotosintético, a los sistemas antioxidantes implicados en prevenir el daño producido por la formación de radicales de oxígeno y al crecimiento de las plantas, su productividad, y calidad forrajera.

**Objetivo 7: Dilucidar los efectos del pastoreo y la sequía en la biodiversidad y productividad de pastos de montaña.** El objetivo de este experimento es cuantificar la contribución individual del abonado, el re-semillado y la defoliación al efecto global del pastoreo en la biodiversidad vegetal y la producción de biomasa y calidad nutritiva, todo ello en el contexto del cambio climático, es decir, del cambio en la productividad derivado del descenso proyectado en las precipitaciones.

#### 4. RELEVANCIA E IMPACTO SOCIOECONÓMICO Y TECNOLÓGICO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

La búsqueda e identificación de características agronómicas, fisiológicas y moleculares que puedan ayudar a adaptar los cultivos de cebada a las condiciones de cambio climático, la búsqueda de cepas de rizobios (*Bradyrhizobium* y *Rhizobium*) que sean capaces de un mejor desarrollo en simbiosis con leguminosas



como la soja y la alubia de tanto interés agronómico como industrial bajo las condiciones climáticas futuras, y el estudio de la influencia de factores ligados al cambio climático y al cambio global de los sistemas pascícolas seminaturales de tanta importancia en el desarrollo ganadero de la CAPV, aborda un reto global al que se enfrenta nuestra sociedad y avanza en la búsqueda de soluciones capaces de dar respuesta a las demandas, tanto presentes como futuras, resultantes del importante proceso de cambio y transformación que vivimos. Por tanto, constituye uno de los principios de actuación en el diseño de las políticas públicas de I+D+i, y así queda reflejado en los objetivos de Horizonte 2020.

Otro problema que afronta este grupo de investigación es el que viene produciéndose durante los últimos años de forma generalizada en Europa, es el abandono progresivo de los sistemas extensivos de pastoreo. El medio rural español ocupa en la actualidad cerca del 90% del territorio y acoge únicamente al 25% de la población del país. El progresivo abandono de las actividades agropecuarias en zonas de montaña supone una notable pérdida de beneficios socio-económicos en dichas zonas rurales, y por consiguiente, del bienestar del conjunto de la sociedad. La política rural europea (Política Agraria Común - PAC 2014-2020) está tratando de establecer medidas para un mayor apoyo a la sostenibilidad de los sistemas de pastoreo en montaña.

Nuestras líneas de investigación están dirigidas a la investigación fundamental científica y técnica que aborda los ocho grandes retos identificados en la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación. Los objetivos de cada línea se encuadran en el contexto del Reto de la Sociedad denominado “Seguridad, Calidad Alimentaria; Actividad Agraria Productiva y Sostenible, Sostenibilidad Recursos Naturales, Investigación Marina y Marítima”, del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2013-2016 del MINECO. Por otra parte, los objetivos que planteamos se integran dentro del Reto propuesto por la Unión Europea en su propuesta Horizonte 2020, denominado “Food Security, Sustainable Agriculture and Forestry, Marine, Maritime and Inland Water Research and the Bio-Economy”.

## 5. BENEFICIOS E INNOVACIONES ESPERADAS CON LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

Desde el punto de vista del conocimiento básico permitirá conocer la respuesta a nivel molecular, bioquímico y fisiológico de las especies objeto de estudio ante las condiciones ligadas al cambio climático; qué aspectos a nivel estructural, bioquímico y fisiológico relacionados con el crecimiento, el desarrollo y la productividad se ven alterados por esos factores ambientales, y de qué manera inciden sobre la integración funcional de la planta. El conocer la respuesta de los cultivares analizados ante las condiciones ligadas al cambio climático e identificar qué aspectos a nivel agronómico, fisiológico y molecular se ven alterados por esos factores ambientales podrían servir de indicadores de la capacidad de adaptación de la cebada y las leguminosas objeto de este estudio. La inclusión de diferentes cultivares conferirá un amplio rango de respuesta que podría permitir predecir la productividad futura en función de dichos cambios, además de identificar los rasgos más representativos de la tolerancia de estas plantas a los estreses, lo que sería de gran interés para proyectos de mejora agraria.

Desde el punto de vista agrícola e industrial este trabajo evidenciará la necesidad de seleccionar genotipos/cultivares y cepas bacterianas que respondan mejor a los factores del cambio climático, y poder cumplir el reto relacionado con la calidad y la seguridad alimentaria y la actividad agraria productiva y sostenible (Orden ECC/1780/2013).

Desde el punto de vista socioeconómico se ampliará el conocimiento del impacto del cambio climático en la producción de la cebada, la alubia y la soja, todas ellas especies de alto valor económico. Estos conocimientos podrán trasladarse a los agricultores, incluyendo planes para la implementación de medidas de adaptación ante el cambio climático. Una vez identificados los caracteres morfofuncionales indicadores de tolerancia al estrés y del rendimiento en condiciones climáticas futuras, podrán ser integrados en programas de mejora para la obtención de cultivares de cebada más tolerantes, de cepas de bacterias más eficientes en su simbiosis con las leguminosas y que mejor respondan a las condiciones climáticas futuras, y una mayor capacidad de preservar la seguridad alimentaria en condiciones medioambientales más sostenibles. Nuestros hallazgos se podrían traducir en beneficios económicos para todos los sectores implicados.

En lo referente a las conclusiones que se obtengan las actividades relacionadas con los pastos de montaña, servirán para definir y evaluar los beneficios asociados al mantenimiento del pastoreo de montaña derivados de las políticas públicas en el medio rural. La información resultante, además, puede servir para el diseño de herramientas de fomento del pastoreo de montaña, y de otros mecanismos que incrementen la eficacia de las políticas públicas para la promoción de actividades pastoriles que cumplan con criterios de sostenibilidad y aseguren beneficios para la sociedad en general y el mundo rural en particular.

El impacto esperado de los resultados a nivel científico-técnico, internacional, social y/o económico en el reto anteriormente especificado se centra en los siguientes aspectos:

1-Aportación de datos novedosos multidisciplinares para la evaluación de sostenibilidad del sistema de pastoreo en la montaña cantábrica. El contraste de estos resultados con los de otros estudios de pastoreo realizados en otras zonas húmedas de montaña en Europa proporcionará una perspectiva más global para evaluar la sostenibilidad de los sistemas de manejo en pastoreo y su contribución al mantenimiento de la biodiversidad. Desde el punto de vista socioeconómico, nuestros estudios ampliarán el conocimiento del impacto del cambio climático en un ecosistema emblemático como son los pastos de montaña y las implicaciones económicas de tales cambios sobre el potencial de desarrollo ganadero de esos pastizales.

2-Aportación de evidencias científicas sobre los cambios que el abandono del sistema de pastoreo, o su progresiva desaparición, ocasionarán sobre la vegetación y suelos de los actuales ecosistemas de montaña, y su impacto medio ambiental a corto y medio-largo plazo. Estas evidencias científicas contribuirán a la conservación y gestión eficiente de los ecosistemas de montaña con manejo ganadero bajo escenarios de cambio climático.

3-Estimación de la emisión de CO<sub>2</sub> de origen edáfico, debido a la actividad microbiana y radicular del suelo, y evaluación de propuestas reales para la reducción de la emisión de dicho gas con objeto de minimizar el impacto medio

ambiental del pastoreo sobre el cambio climático global. Desde el punto de vista medioambiental, se ampliará el conocimiento y la capacidad de intervención para comprender, prever, y, en su caso, manejar o mitigar la influencia que el cambio climático pueda tener sobre la biodiversidad de los grupos funcionales característicos de los pastos y proteger la riqueza pascícola y paisajística, así como su uso con fines ganaderos y recreativos. Además se valorará la capacidad sumidero de CO<sub>2</sub> de las diferentes especies y su interacción con las fluctuaciones medioambientales.

4-Aportación de conocimiento sobre la necesidad, o no, de modificar las prácticas de manejo de los pastos, tanto desde el punto de vista agrícola como ganadero. Los resultados obtenidos en los experimentos desarrollados por el grupo podrán ser utilizados por los modelizadores para desarrollar y calibrar modelos de simulación y hacer predicciones del impacto del cambio climático sobre los pastizales bajo los escenarios futuros. Asimismo, los conocimientos obtenidos con las investigaciones que se proponen podrían trasladarse a agricultores y ganaderos incluyendo planes para la implementación de medidas de adaptación ante el cambioclimático.

## 6. PARTICIPACIÓN Y COLABORACIÓN DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN CON OTROS AGENTES: INTERDISCIPLINARIEDAD E INTERNACIONALIZACIÓN

El logro de los objetivos de investigación del grupo, cada vez más ambiciosos, exige la multidisciplinariedad y, por tanto, la cooperación con otros agentes. Para ello, contamos con diferentes colaboradores en la propia Universidad y en diferentes Universidades Europeas. Precisamente, con el fin de impulsar la interdisciplinariedad en el grupo, la colaboración que comenzó en el año 2009 con las Dras. Arantza Aldezabal y Nere Amaia Laskurain participando conjuntamente en proyectos subvencionados por la Cátedra Unesco (UNESCO09/18), actualmente se ha consolidado dando lugar a la fusión de ambos equipos. Sin duda, este hecho amplía el abanico de objetivos abordables por el grupo de forma multidisciplinar, y enriquece y diversifica notablemente las relaciones nacionales e internacionales con otros grupos de prestigio, que se comentan a continuación.

Recientemente, se ha establecido una relación de colaboración con la Profesora Elisabeth Ainsworth del Department of Plant Biology de la University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL (USA), en cuyo centro se han llevado a cabo estudios por parte del Dr. Álvaro Sanz Sáez de Jáuregui, miembro del equipo, relacionados con el estudio de la influencia del cambio climático en la interacción simbiótica soja-*Bradyrhizobium* dentro de la segunda sublínea de investigación más arriba mencionada, y en cuya unidad (Global Change and Photosynthesis Research Unit) pretendemos desarrollar parte de la investigación propuesta en la presente solicitud.

Nuestro grupo también mantiene una estrecha colaboración con la Dra. Cristina Sgherri del Dipartimento di Chimica e Biotecnologie Agrarie de la Universidad de Pisa (Italia). Con ella estudiamos los efectos del aumento del CO<sub>2</sub> con otros estreses ligados al cambio climático sobre las propiedades nutricionales y de beneficio para la salud de distintos cultivos de interés alimenticio, como la

lechuga, desde un punto de vista de riqueza antioxidante. La Dra. Sgherri es experta en química agrícola y en la determinación de compuestos fitoquímicos. Fruto de esta colaboración se han publicado distintos artículos científicos y capítulos de libro y la Dra. Usue Pérez López realizó una estancia postdoctoral en dicho laboratorio, lo que nos ha permitido alcanzar un elevado nivel en la estimación y el análisis de la calidad alimentaria.

Por otro lado, también llevamos una estrecha colaboración con el Dr. Nigel Paul (Universidad de Lancaster) especialista en estudios del impacto de la radiación, fundamentalmente ultravioleta. En el seno de esta colaboración también ha habido intercambio de alumnos predoctorales de un centro a otro.

También mantenemos una estrecha colaboración con el Dr. Karel Doležal, del Department of Chemical Biology and Genetics, Centre of the Region Haná for Biotechnological and Agricultural Research, Olomouc–República Checa, grupo experto en la identificación de los diferentes tipos de citoquininas activas e inactivas.

Para las aproximaciones experimentales en campo, colaboramos con la Dra. Amaia Ortiz Barredo de Neiker-Tecnalia, como se observa en los proyectos que se han desarrollado de manera conjunta. Asimismo, desde el año 2014 hemos establecido un Convenio con fines de Colaboración en la Investigación con la Diputación Foral de Álava, a través del Laboratorio Agropecuario de Eskalmendi. Dicho convenio se concreta de manera más específica en el desarrollo y ejecución de análisis de control de calidad de materias primas y productos agrícolas y ganaderos, en base a los experimentos llevados a cabo por nuestro equipo en las distintas líneas de investigación especificadas en la presente solicitud.

Por otro lado, durante estos últimos años, las Dras. Aldezabal y Laskurain han consolidado una estrecha relación con grupos de otras disciplinas, de las cuales destacamos las siguientes: (1) el equipo de Dr. Rodríguez Barrón (grupo *Lactiker* de la UPV/EHU, Valdivielso et al., 2016); (2) el equipo del Dr. Mijangos (grupo *Salud del Suelo* de Neiker-Tecnalia, Aldezabal et al. 2015); (3) el equipo de la Dra. Mandaluniz (Grupo *Producción Animal* de Neiker-Tecnalia, Mandaluniz et al. 2011). Como fruto de esta colaboración, en la actualidad las Dras. Aldezabal, Laskurain y Sarrionandia comparten un proyecto coordinado titulado “Evaluación de la sostenibilidad del pastoreo de montaña de las ovejas lecheras: integración de aspectos productivos, medio-ambientales y socio-económicos”. Más concretamente, participan con el Dr. Rodríguez Barrón en el subproyecto “Pastoreo de montaña: calidad y trazabilidad de alimentos tradicionales, biodiversidad, adaptación del sistema al cambio global y desarrollo rural (TRADEMON, ref.: AGL2013-48361-C2-1-R)”, financiado por el MINECO (2014-2016).

Paralelamente, la Dra. Laskurain y el Dr. Herrero (actualmente investigador postdoctoral) han consolidado una estrecha relación con otros prestigiosos investigadores, destacando los siguientes: (1) el Dr. Olano (Olano et al., 2002, Olano et al., 2009, Laskurain et al., 2013), profesor del Área de Botánica del Departamento de Ciencias Agroforestales de la Escuela de Ingenierías Agrarias de Soria; (2) el Dr. Camarero investigador del Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC) y el Departamento de Ecología de la Universidad de Barcelona; (3) el Dr. de Zavala, profesor del Departamento de Ecología de la Universidad de Alcalá, quien en la actualidad coordina un grupo de investigación sobre modelización de la dinámica

de los ecosistemas terrestres con énfasis en el análisis de los impactos del cambio global y mecanismos de adaptación.

Finalmente, bajo la dirección de la Dra. Sarrionandia, se está desarrollando una línea de investigación destinada al estudio de las interacciones entre plantas y hongos micorrícicos (Sarrionandia et al. 2015, Nouhra et al. 2015), para lo cual actualmente contamos con la colaboración del equipo del Dr. Nouhra (*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas* de Córdoba, Argentina).

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Aldezabal et al. (2015) *Applied Soil Ecology* 96: 251-260.
- Laskurain et al. (2013) *Journal of Vegetation Science* 24: 320-331.
- Mandaluniz et al. (2011) *Livestock Science* 138: 49-55.
- Miranda-Apodaca et al. (2015) *Plant Biology* 62: 298-310.
- Nouhra et al. (2015) *Microbial Ecology* 69: 813-825.
- Odriozola et al. (2014) *Geoderma* 235: 347-354.
- Odriozola et al. (2017) *Applied Vegetation Science* 20: 50-61.
- Olano et al. (2002) *Journal of Vegetation Science* 13: 775-784.
- Olano et al. (2009) *Annals of Forest Science* 66: 105p1-105p8
- Pérez-López et al. (2009a) *Environmental and Experimental Botany* 66: 463-470.
- Pérez-López et al. (2009b) *Physiologia Plantarum* 135: 29-42.
- Pérez-López et al. (2010a) *Journal of Plant Physiology* 167: 15-22.
- Pérez-López et al. (2010b) *Physiologia Plantarum* 139: 256-268.
- Pérez-López et al. (2012) *Photosynthesis Research* 111: 269-283.
- Pérez-López et al. (2013a) *Journal of Plant Growth Regulation* 32: 732-744.
- Pérez-López et al. (2013b) *Journal of Plant Physiology* 170: 1517-1525.
- Pérez-López et al. (2013c) *Environmental and Experimental Botany* 87: 148-158.
- Pérez-López et al. (2014a) *Plant Science* 226: 71-81.
- Pérez-López et al. (2014b) *Environmental and Experimental Botany* 99: 86-99.
- Pérez-López et al. (2015a) *Scientia Horticulturae* 191: 38-48.
- Pérez-López et al. (2015b) *Scientia Horticulturae* 195: 56-66.
- Robredo et al. (2007) *Environmental and Experimental Botany* 59: 252-263.
- Robredo et al. (2010) *Biologia Plantarum* 54: 285-292.
- Robredo et al. (2011) *Environmental and Experimental Botany* 71: 399-408.
- Sanz-Sáez et al. (2012a) *Environmental and Experimental Botany* 77: 267-273.



Sanz-Sáez et al. (2012b) *Journal of Plant Physiology* 169: 782-788.

Sanz-Sáez et al. (2013) *Journal of Integrative Plant Biology* 55: 721-734.

Sanz-Sáez et al. (2015) *Plant, Cell and Environment* 38: 2589-2602.

Sarrionandia et al. (2015) *Canadian Journal of Forest Research* 45: 667-675.

Valdivielso et al. (2016) *Food Chemistry* 197: 622-633.

## Nazioarteko Hizketaldia

**ELIKADURAREN ETORKIZUNA ETA NEKAZARITZAREN ERRONKAK XXI. MENDERAKO:**

**Mundua nork, nola eta zer-nolako inplikazio sozial, ekonomiko eta ekologikorekin elikatuko duen izango da eztabaidagaia**

2017ko apirilaren 24 / 26. Europa Biltzar Jauregia. Vitoria-Gasteiz. Araba. Euskal Herria. Europa.

## International Colloquium

**THE FUTURE OF FOOD AND CHALLENGES FOR AGRICULTURE IN THE 21st CENTURY:**

**Debates about who, how and with what social, economic and ecological implications we will feed the world.**

April 24th - 26th. Europa Congress Palace. Vitoria Gasteiz. Álava. Basque Country/Europe

## Coloquio Internacional

**EL FUTURO DE LA ALIMENTACIÓN Y RETOS DE LA AGRICULTURA PARA EL SIGLO XXI:**

**Debates sobre quién, cómo y con qué implicaciones sociales, económicas y ecológicas alimentará el mundo.**

24 / 26 de Abril, 2017. Palacio de Congresos Europa. Vitoria-Gasteiz. Álava. País Vasco. Europa.

### GUNTZAILEAK/COLABORAN/COLLABORATING ORGANIZATIONS



### LAGUNTZA EKONOMIKOA/APOYAN/WITH SUPPORT FROM

