

# PASTOS



REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PASTOS | N.º 46 (2). DICIEMBRE 2016 | WWW.SEEPASTOS.ES S E P



Con la colaboración de:



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA Y PESCA,  
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



Fundación Biodiversidad

# PASTOS

N.º 46 (2). DICIEMBRE 2016



## En portada...

© Pedro M<sup>º</sup> Herrera Calvo

Un joven ejemplar de raza Avileña nos observa con recelo mientras sus compañeras van apurando los pastos otoñales de una dehesa de *Quercus pyrenaica* en la comarca de La Vera, al norte de Cáceres. Muchos lugares de ambas vertientes del Sistema Central mantienen una gestión pastoral activa de las diferentes formaciones de roble rebollo, contribuyendo a mantener un estado de conservación favorable de las dehesas, montes, mosaicos y pastos forestales. Este tipo de manejo compartido del territorio combina una actividad ganadera de calidad con niveles altos de biodiversidad y servicios ecosistémicos.

### EDITORES PRINCIPALES

#### Juan Busqué Marcos

Centro de Investigación y Formación Agrarias  
del Gobierno de Cantabria  
juanbusque@cifacantabria.org

#### Ramón Reiné Viñales

EPS-Huesca, Universidad de Zaragoza  
rreine@unizar.es

### EDITORES ASOCIADOS

#### Botánica-Ecología

Arantza Aldezábal (Universidad del País Vasco)  
Segundo Ríos (Universidad de Alicante)

#### Producción Vegetal

Josep Cifré (Universidad de las Islas Baleares)  
Olivia Barrantes (Universidad de Zaragoza)

#### Producción Animal

Manuel Delgado (Universidad de Sevilla)  
Rafael Celaya (SERIDA, Principado de Asturias)

#### Sistemas Silvopastorales

Javier Ruiz-Mirazo (Pastores por el Monte Mediterráneo)  
María Dolores Carbonero (IFAPA, Junta de Andalucía)

#### Europa

Giuseppe Parente (Universita degli Studi Di Udine)  
Guy Beaufoy (European Forum for Nature Conservation  
and Pastoralism)

#### Latinoamérica

Carlos M. Arriaga (Universidad Autónoma del Estado  
de México)

ISSN: 2340-1672

#### Disponibilidad única on line en:

<http://polired.upm.es/index.php/pastos>

#### Diseño y maquetación:

MOEBO

© Sociedad Española de Pastos

Con la colaboración de:



# SUMARIO

<b>Editorial</b>	<b>4</b>
<b>1. Revisión Científica</b>	<b>5</b>
El uso pastoral como alternativa de gestión de los hábitats vinculados a los rebollares ibéricos Pedro M <sup>a</sup> Herrera Calvo	<b>6-23</b>
<b>2. Ponencia a la 55<sup>a</sup> Reunión Científica de la SEEP</b>	<b>24</b>
Plant breeding as tool to challenge climatic changes in forage production. A Review Jesús Moreno-González y Laura Campo	<b>25-43</b>
<b>3. Artículo Científico</b>	<b>44</b>
Caracterización de germoplasma de agrostis y festucas de los grupos rubra y ovina del norte de España José Alberto Oliveira Prendes, Pedro Palencia García y Juan Manuel González Triguero	<b>45-60</b>
<b>4. Reuniones Científicas</b>	<b>61</b>
<b>56 Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (S.E.E.P.). “Renaturalización vs. Ruralización”</b>	<b>62-64</b>
<b>Reseñas de libros</b>	
<b>Instrucciones para autores</b>	

Estimados amigos de Pastos, tenemos el gusto de presentaros un nuevo e interesante número de nuestra revista. Los tres artículos originales que contiene abordan investigaciones y revisiones detalladas sobre aspectos diferentes de nuestro universo pascícola. En primer lugar, Pedro M. Herrera nos aporta una reflexión profunda sobre la importancia del pastoreo en la conservación de un hábitat aparentemente forestal muy abundante en la península ibérica, los rebollares de *Quercus pyrenaica*. Tras su lectura quedan patentes los dos aspectos que caracterizan muchos de nuestros ecosistemas mediterráneos: que su pastoreo es un aprovechamiento muy importante y de alto valor estratégico para la ganadería extensiva, y que este uso es también necesario para la conservación del hábitat. Conjuguar este equilibrio es fundamental para el buen funcionamiento del mundo rural, algo que dista aún de reconocerse adecuadamente en las principales políticas agrarias que tenemos. El segundo trabajo de José Alberto Oliveira y cols. presenta resultados precisos sobre el interés de un gran número de accesiones silvestres de varias especies de los géneros *Agrostis* y *Festuca* procedentes del norte de España para su utilización en céspedes. Este trabajo pone de manifiesto la gran diversidad biológica disponible y su carácter funcional para nuestro bienestar, algo que es cada vez más necesario poner en valor. Por último, queremos agradecer sinceramente el gran trabajo de revisión de Jesús Moreno y Laura Campo sobre las estrategias de la mejora genética vegetal para una producción forrajera mejor adaptada a las nuevas condiciones de cambio climático que ya estamos experimentando. El artículo aporta conocimientos clave para uno de los retos fundamentales que tenemos en el futuro próximo de seguir produciendo alimentos de calidad bajo condiciones más limitantes de disponibilidad de recursos. Este último trabajo se presentó por su primer autor como ponencia del área de Producción Vegetal en la 55ª Reunión Científica de la S.E.P. de Lugo en 2016.

Dentro de nuestro empeño en publicar trabajos que aporten al mejor conocimiento de aspectos relacionados con los pastos, queremos en esta ocasión manifestar nuestro deseo, como editores, de potenciar en la revista la inclusión de más trabajos de carácter técnico. Trabajos que permitan a técnicos, ganaderos y encargados de la gestión del territorio encontrar ideas y soluciones sobre cómo mejorar la planificación de la gran cantidad de aspectos en donde los pastos, su uso y aprovechamiento están presentes. Si tenéis cualquier idea o proposición al respecto, estaremos encantados de escucharos. Gracias de nuevo y esperamos que disfrutéis de este nuevo número.

Por último, podréis observar en este número de Pastos algunas novedades como el cambio de siglas y de logo de nuestra Sociedad Científica aprobado en la asamblea de la RC de Barcelona y la presencia del logo de la Fundación Biodiversidad en la parte inferior de la mayor parte de las páginas. Esto es el resultado de un contrato anual de patrocinio de esta entidad con nuestra revista, que ayuda a cubrir sus gastos.

**Juan Busqué** ([juanbusque@cifacantabria.org](mailto:juanbusque@cifacantabria.org))

**Ramón Reiné** ([rreine@unizar.es](mailto:rreine@unizar.es))

*Editores Principales de Pastos*

# 1

## REVISIÓN CIENTÍFICA

## EL USO PASTORAL COMO ALTERNATIVA DE GESTIÓN DE LOS HÁBITATS VINCULADOS A LOS REBOLLARES IBÉRICOS

Pedro M<sup>a</sup> Herrera Calvo

Fundación Entretantos. Calle Arzobispo José Delicado 1. 47014 Valladolid. [www.entretantos.org](http://www.entretantos.org)

### PASTORALISM AS AN ALTERNATIVE FOR MANAGING PYRENEAN OAK WOODLAND HABITATS IN THE IBERIAN PENINSULA

#### Historial del artículo:

Recibido: 31/06/2016  
Revisado: 30/06/2016  
Aceptado: 08/05/2017  
Disponible online: 08/11/2017

#### \* Autor para correspondencia:

pedromarih@gmail.com

ISSN: 2340-1672

Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/pastos>

#### Palabras clave:

*Quercus pyrenaica*, pastoreo, ganadería extensiva, gestión forestal, sistemas silvopastorales, hábitats de interés.

#### Keywords:

Iberian Oak tree habitats, *Quercus pyrenaica*, pastoralism, grazing, extensive livestock farming, forest management, silvopastoral systems, habitats of interest.

#### RESUMEN

Las comunidades de *Quercus pyrenaica* Willd., o rebollares, constituyen uno de los hábitats forestales más significativos y abundantes de la península ibérica. Su amplia distribución en España y Portugal, unida a sus valores de conservación y a su importancia como hábitat de interés, ha motivado una gran cantidad de estudios y publicaciones científicas y técnicas abordando diferentes aspectos botánicos, ecológicos y de gestión. No obstante, la situación actual de estas formaciones es muy preocupante y muchas de ellas parecen sumidas en un patente estado de degradación. El artículo pone de manifiesto cómo la pérdida de los usos y la gestión tradicionales y, especialmente, la caída del pastoreo, constituyen factores que han conducido a esta situación, aunque apenas aparecen recogidos en las propuestas de manejo y conservación. A partir de estas consideraciones y de un extenso análisis de referencias bibliográficas, el trabajo trata de afinar el diagnóstico de la situación de los rebollares, plantear el rol de la ganadería y descubrir los mecanismos de la gestión y el conocimiento tradicional que pudieran actualizarse como herramientas y modelos de conservación para revertir la delicada situación de estas formaciones.

#### ABSTRACT

The communities of *Quercus pyrenaica* Willd. or "rebollares", make one of the most abundant and significant forest habitats in the Iberian Peninsula. Their wide distribution in Spain and Portugal plus their status as a habitat of interest with great conservation and importance values, has produced a remarkable scientific and technical literature. These studies have analysed the main botanical, ecological and management issues involving those habitats. However, the current situation of these communities is deeply worrying, and many of them look embedded in advanced degradation stages. The article shows how loss of traditional uses and management, especially lack of grazing, are important drivers in this situation, though references to those drivers are scarce on literature. Starting from this grounds and performing a wide literature review, the article tries to sharpen the diagnosis of the current situation, analysing the role of livestock practices and sorting out the traditional knowledge that may be updated as conservation tools to eventually revert the complicated situation of these communities.

## INTRODUCCIÓN, ¿PORQUÉ EL USO PASTORAL DE LOS REBOLLARES?

Los rebollares, entendiendo como tales aquellas formaciones boscosas en las que la especie dominante es el roble rebollo o melojo, *Quercus pyrenaica* Willd., constituyen algunos de los bosques más extensos y extendidos de la península ibérica, ocupando entre 500.000 y 600.000 ha en nuestro país (Calvo et al, 2003).

Los melojares o rebollares ibéricos están incluidos en la Directiva de Hábitats como *hábitats de interés*, debido a su elevado nivel de biodiversidad, dentro del grupo de “bosques mediterráneos caducifolios” (92) con el código 9230: Robledales galaico-portugueses con *Quercus robur* y *Quercus pyrenaica*, entendido de forma amplia, en el sentido establecido por la “Guía básica de los tipos de hábitat de interés comunitario de España” (Bartolomé et al., 2005) que considera incluidos en dicha denominación todos los robledales marcescentes mediterráneos o submediterráneos dominados por el melojo (*Quercus pyrenaica*), pero además aquellos robledales mixtos de *Quercus robur* y *Quercus pyrenaica* del noroeste ibérico.

Éstos constituyen una tipología de ecosistemas forestales típicamente ibéricos, que han sido ampliamente estudiados dentro de la comunidad científica. Sin embargo, el análisis de las publicaciones más relevantes editadas en los últimos años sobre estas formaciones olvida, a menudo, la relevancia del pastoreo como factor de interés, tanto de cara a su caracterización ecológica como al modelo de gestión y conservación de los rebollares. Esta ausencia se deja notar incluso en las referencias al hábitat 9230 (García y Jiménez, 2009) de las “Bases ecológicas para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España” (VV.AA., 2009) donde la ganadería aparece mencionada, de forma muy esporádica, como un factor inespecífico de degradación. Únicamente a la hora de hablar de aprovechamientos se recoge el uso de la bellota como alimento para el ganado, matizando que su baja apetecibilidad ha impulsado la sustitución de las dehesas de roble melojo por otros *Quercus*. También se menciona, de forma somera, el uso del ramón como forraje y el adehesamiento, como únicas propuestas de gestión en la que la presencia de ganado se percibe como una parte del sistema.

En la misma línea, la revisión de la bibliografía científica a menudo nos deja descripciones de los melojares o rebollares como formaciones abocadas a un manejo residual propio de zonas marginales y habitualmente se considera que este tipo de hábitat apenas está ligado a los sistemas tradicionales de aprovechamiento (únicamente para leñas y caza). Esta misma simplificación se aprecia también en las propuestas de manejo y conservación, relegando al olvido el importante papel histórico que en el manejo de estos espacios ha tenido el uso ganadero.

Este trabajo pretende acercarse por un camino distinto a la conservación y gestión de los rebollares ibéricos redescubriendo algunos de los principales mecanismos tradicionales de gestión ganadera que subyacen bajo muchas formaciones actuales, tratando de actualizarlos y de indicar sus posibilidades reales como herramientas de conservación y gestión. Esta tarea se aborda con ánimo complementario a las publicaciones revisadas; buscando ofrecer alternativas a los instrumentos existentes de manejo y conservación.

El trabajo se apoya, fundamentalmente en una amplia revisión bibliográfica. Está dividido en tres partes, primero una caracterización de los rebollares ibéricos y su gestión. La segunda parte plantea la actual estrategia de gestión de los rebollares y analiza sus principales lagunas y debilidades. Finalmente, la tercera parte plantea unas bases para la gestión multifuncional de los melojares ibéricos basadas en el manejo ganadero y desgranando distintos ejemplos prácticos que tratan de abarcar la casuística existente. El trabajo se completa con un pequeño apartado de recapitulación, conclusiones y propuestas

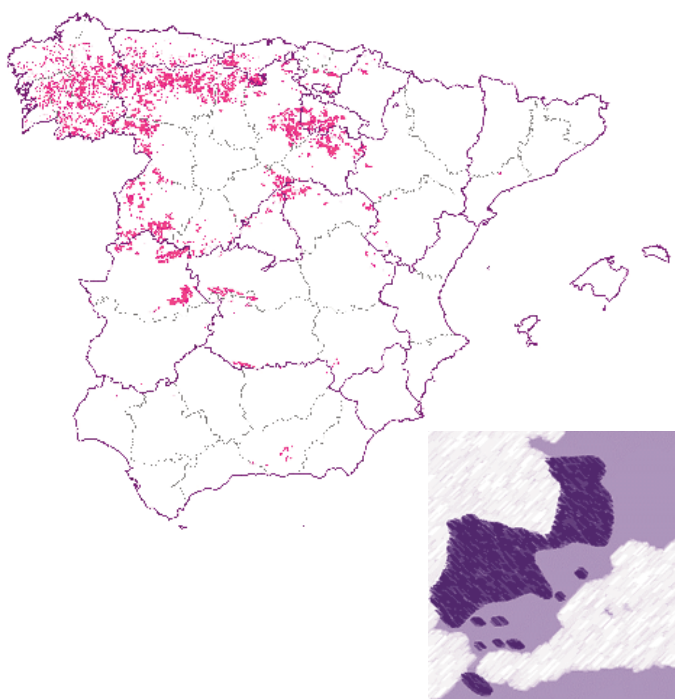
## UNA VISIÓN GENERAL DE LOS REBOLLARES IBÉRICOS

Los rebollares o melojares son bosques típicos de media montaña mediterránea y submediterránea que constituyen una de las formaciones arboladas más extendidas de nuestro país (la segunda tras los encinares). Además de rebollo o melojo, los dos nombres comunes más utilizados en España, se le conoce por otros muchos nombres según su localización (Vilches de la Serna, 2012): marojo, roble negro, tozo, roure reboll en Valencia y Cataluña, caxigo o toziu en Asturias; carvallo negro, cerqueiro o cerquiño en Galicia, ametza en el País Vasco y carvalho negral en Portugal, entre otros.

Globalmente, su área de distribución mundial es bastante restringida: sin poder considerarse un endemismo ibérico, sí presenta una distribución muy ligada a la Península (Figura 1), aunque se extiende también por algunos territorios del suroeste de Francia hasta Bretaña y norte de Marruecos (Carvalho et al., 2005; Mesón y Montoya, 1985, Gavilán 2007). No obstante, es en España y Portugal donde tiene su mayor expresión territorial, abarcando desde la Estremadura Portuguesa hasta la costa mediterránea y desde la Cordillera Cantábrica a la Bética (Fernández Parajes, 2005; Castro, 2004, Martínez y Moleiro, 1982). En el noroeste se encuentra a menudo mezclado con *Quercus robur*, con el que comparte una amplia franja de límite natural, en la que se localizan numerosas formaciones mixtas e híbridos de ambas especies *Quercus x andegavensis* (Barrio Anta et al. 2003). Las mayores extensiones en España aparecen en el cuadrante noroccidental, destacando la provincia de León (Calvo et al., 2003; Regina, 2000) y todo el cinturón montañoso de la Meseta norte, aunque aparece citado en todas las provincias del país. En Portugal, se estima que ocupe cerca de

62.000 ha. (Carvalho *et al.*, 2005), distribuida por el interior norte del País y particularmente abundante en las sierras interiores de la provincia de Trás-os-Montes (Castro, 2004).

El rebollo es considerado como una especie asociada a ambientes de transición entre bosques templados de caducifolias (Europa Central y Atlántica) y formaciones vegetales típicamente mediterráneas (Castro, 2004), igual que sucede con otros robles marcescentes ibéricos como *Quercus faginea*, *Q. humilis* o *Q. canariensis* (Castro, 1997). En la cornisa cantábrica y Galicia este papel de transición se hace también evidente entre los robledales de carácter más eurosiberiano (*Quercus robur* y *Q. petraea*) y las especies propiamente mediterráneas del género *Quercus* (Meson, 1982), mientras que en la Bética y el sur son las condiciones típicas de la montaña mediterránea la que facilitan su presencia relictica.



**FIGURA 1.** Distribución mundial y en España de los rebollares. Fuentes: mundial: Blanco *et al.*, 1997. España: Atlas y manual de los hábitats de España (MAGRAMA, 2005), elaboración propia.

**FIGURE 1.** World and Spanish distribution of Pyrenean Oak Tree woodlands. Sources: World: Blanco *et al.*, 1997. Spain: Atlas and cartography of Spanish Habitats (MAGRAMA, 2005). Elaborated by the author.

La especie aparece en una gran variedad de subtipos de clima, con una clara preferencia por las zonas mediterráneas y submediterráneas, donde tiende a ocupar situaciones de media montaña con precipitaciones por encima de 725 mm y una menor intensidad de la sequía estival (por encima de 100-125 mm de precipitación). Además, presenta una alta resistencia al frío y la continentalización gracias a una foliación tardía y de ciclo corto (Allué y San Miguel, 1991). Se localiza en un am-

plio rango de altitudes, entre los 200 y los 1.800 m. Se puede resumir su situación diciendo que los rebollares ocupan los pisos meso y supramediterráneos en la región Mediterránea y sus equivalentes meso y supratemplado en la región Euroasiática

En cuanto a sus preferencias edáficas, la especie es considerada como claramente silicícola, prefiriendo suelos formados a partir de litologías ácidas, aunque en ocasiones pueden aparecer también sobre calizas lavadas y descalcificadas (Allué, 1995; Carvalho *et al.*, 2005; Meson, 1982, Rivas 1975). Edafológicamente, los rebollos prefieren sistemas de regosoles/cambisoles (Allué, 1995; Santa Regina *et al.*, 1991) aunque aparecen en otras tipologías de suelos, especialmente en los bordes de su distribución (Fernández Parajes, 2005).

En el norte de la Península, el rebollo se suele encontrar formando parte de bosques mixtos con otros robles, especialmente *Quercus robur* y compartiendo ubicación con bosques de hayas (*Fagus sylvatica*) y robledales atlánticos de *Quercus petraea*. Esta situación cambia en los enclaves más mediterráneos, donde a menudo se relaciona con alcornocales, encinares e incluso comunidades de coníferas como *Pinus sylvestris* o *Pinus pinaster* (Castro, 1997). El estrato arbustivo y la orla forestal suele estar compuesta por un amplio abanico de especies leñosas, incluyendo leguminosas retamoides, espinares, diferentes tipos de brezal y otros matorrales mediterráneos.

El estrato herbáceo es clave en cuanto al valor forrajero de los rebollares. Los diferentes tipos de pastizales que se asientan bajo los rebollos o en su entorno han sido ampliamente estudiados en su área de distribución (González Bernáldez y Díaz Pineda, 1980; Sánchez *et al.*, 2006). Se puede citar una amplia colección de pastizales típicos de rebollar, por ejemplo: vallicares con *Agrostis castellana*, vallicares frescos con *Festuca rubra* o *Festuca ampla*, pastizales silíceos de *Festuca indigesta*, majadales con *Poa bulbosa*, pastizales húmedos de *Molinia caerulea*, cervunales con *Nardus stricta*, etc.

## Algunas cuestiones morfológicas

La morfología de *Quercus pyrenaica* ha sido ampliamente estudiada en diversos trabajos que han contribuido a un profundo conocimiento de las principales características de la especie y su autoecología, incluyendo determinadas peculiaridades específicas en función de su distribución y ubicación (Fernández Parajes, 2005; Pérez-Ramos, 2014, Lorite 2008, Entrocassi *et al.*, 2004), por lo que únicamente se hará referencia a algunos aspectos importantes para el planteamiento del trabajo.

Una cuestión clave en este sentido lo constituyen las características radiculares del rebollo. Su sistema radicular incluye dos tipologías diferenciadas de raíces: una raíz pivotante principal responsable de la fijación al sustrato y del bombeo de nutrientes y una gran cantidad de raíces secundarias, que se

Con la colaboración de:



localizan generalmente cerca de la superficie y se desarrollan en paralelo a ella. Siendo una especie predominantemente silícicola, una de las grandes ventajas con las que cuenta de cara a su desarrollo en estos suelos es su elevada capacidad para extraer nutrientes de las capas más profundas. El posterior depósito de oxalato cálcico a través de la caída de la hoja, contribuye a elevar el pH de los horizontes superficiales, mejorando su fertilidad. Se considera que el reciclado de nutrientes es bastante rápido, lo que contribuye a su elevada resiliencia y capacidad de adaptación (García y Jiménez, 2009; Pardo *et al.*, 2003).

Por su parte, las raíces secundarias del rebollo presentan un intenso poder de rebrote, emitiendo grandes cantidades de tallos aéreos que fácilmente alcanzan coberturas muy densas (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1979; Serrada, 1993; Allué, 1995; Barrio *et al.*, 2000; Carvalho *et al.*, 2005). Estos rebrotes forman parte habitual del sotobosque del melojar. Además, si el tronco principal es talado, los brotes laterales se desarrollan con gran vigor y profusión. Así, la eliminación de la parte aérea de estos bosques conduce, en la mayoría de los casos, al desarrollo de densos rebrotes o bardales, superficies casi mono-específicas de bajo porte y alta densidad, típicos de esta especie. (Allué, 1995; Barrio *et al.* 2000; Serrada, 1993; Torre y Ceballos, 1979). La evolución de estos rebrotes en el tiempo conlleva generalmente, un proceso de pérdida de vigor y degradación debido a la fuerte competencia existente entre los chupones. (Allué, 1995; Barrio *et al.*, 2000; Grandas *et al.*, 1997; Fernández Parajes, 2005).

Estas características determinan en buena parte el comportamiento de los rebollos ante las perturbaciones y los diferentes tratamientos que se utilizan en su manejo, por lo que han influido de manera decisiva en la actual configuración de los rebollares ibéricos.

### Tipologías y variabilidad de los rebollares

El bosque originario de roble rebollo presenta una gran variedad dinámica y estructural a lo largo de su área de distribución, por lo que resulta difícil establecer un modelo de referencia. La bibliografía disponible apunta, en general, a que en las etapas más jóvenes el roble rebollo suele dar lugar a formaciones casi mono-específicas, debido a su gran capacidad de rebrote, y que sólo en etapas más maduras se incorporan otras especies arbóreas y arbustivas.

En la actualidad, los manuales de caracterización de las masas de rebollar distinguen, al menos, seis formaciones diferentes de roble rebollo en función de su estado evolutivo y su dasometría (Figura 2). En todas ellas es importante tener en cuenta que pueden darse procesos de degradación que alteren las condiciones de desarrollo, dirigiéndolas hacia estadios irregulares y degradados. Además, es frecuente que aparezcan masas mixtas y también diversos estadios de abandono, especialmente en las dehesas. También conviene resaltar que el rebollo tiende a formar mosaicos con otros tipos de hábitat (matorrales, pastizales y orlas boscosas), generando



Grupo 1: Tallares menores. *Salas de los Infantes (Burgos)*



Grupo 2: Tallares latizales, que incluyen masas densas jóvenes. *Salas de los Infantes (Burgos)*



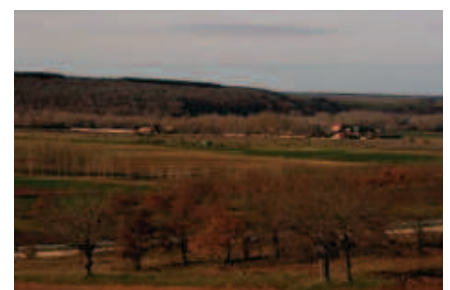
Grupo 3: Tallares desarrollados. *El Rebollar (Salamanca)*



Grupo 4: Masas irregulares, que agrupan varias clases de edad simultáneamente. *La Carballeda (Zamora)*



Grupo 5: Masas maduras: masas regulares, bien tallares maduros bien masas con pies procedentes de semilla y rebrote. *La Garganta (Cáceres)*



Grupo 6: Dehesas. *Arlanzón (Burgos)*

**FIGURA 2.** Tipología de los rebollares ibéricos (interpretación con fotografías propias a partir de Rodrigo y Quintana, 2013; Roig *et al.*, 2007; Valbuena y Lorenzo, 2009).

**FIGURE 2.** Typology of Iberian Pyrenean Oak Tree Woodlands (interpretation, with pictures by the author, from typologies by Rodrigo y Quintana, 2013; Roig *et al.*, 2007; Valbuena y Lorenzo, 2009)

Con la colaboración de:



unidades funcionales complejas, que acreditan un valor especial de cara a la conservación de la biodiversidad.

## Valor de conservación

Los bosques de *Quercus pyrenaica* están protegidos a nivel europeo por la Directiva 92/43/CEE e incluidos en la Red Natura 2000, participando en diferentes esquemas de clasificación de hábitats: EUNIS Habitat Classification 200410 (G 1.7 Thermophilous deciduous woodland) (Davies *et al.*, 2004), Palearctic Habitat Classification 1996 (41.6 *Quercus pyrenaica* forests), CORINE biotopes (Moss y Wyatt, 1994) (p. ej. 41.563, 41.564 Luso-Galician acidophilous oak forests). Sus altos valores de biodiversidad además, han llevado a su inclusión como espacios de interés en algunas comunidades autónomas como Cataluña o a su integración en listas rojas como es el caso de Andalucía, donde está incluido como "vulnerable" en el Decreto 104/1994, B.O.J.A. (González, 2006). Este hábitat, además, aparece recogido en numerosos espacios protegidos de la Red Natura 2000, especialmente en el cuadrante noroeste de la península (Figura 3).

habiéndose multiplicado por 2.4 el área basimétrica en los últimos 10 años (Perea *et al.*, 2014a). Además, la superficie cubierta por rebollares está aumentando y se estima que la superficie podría incluso superar el millón de hectáreas (5,7% de la superficie forestal de España) en el próximo inventario forestal. Un 54 % de esta superficie está caracterizada como estructuras en monte bajo (Ministerio de Agricultura, 1997-2007; Montero y Serrada, 2013; Sociedad Española de Ciencias Forestales, 2010). Por desgracia, esta expansión no significa un buen estado de salud del hábitat y, en la mayor parte de la literatura, su situación se define como sometida a un proceso generalizado de degradación. Este proceso se manifiesta en forma de puntiseado, agotamiento, estancamiento del crecimiento, escasa producción de semillas, baja regeneración sexual, acumulación de combustible e incremento en el riesgo de incendios debido a las elevadas densidades del rebrote (Montes *et al.*, 2004; Perea *et al.*, 2014a; Salomón y Valbuena, 2013; Serrada y Miguel, 1994).

## Principales amenazas sobre los rebollares ibéricos

Según las fuentes consultadas, las principales amenazas que sufren los rebollares ibéricos parecen estar relacionadas con las transformaciones productivas y de usos del suelo generadas por los intensos cambios socioeconómicos acaecidos durante las últimas décadas. Las mejoras tecnológicas, la globalización económica y los procesos de urbanización, entre otros factores, han repercutido de forma intensa en el medio rural, generando procesos de abandono, reestructuración de explotaciones, nuevas dinámicas territoriales, envejecimiento poblacional, etc. Este conjunto de efectos se ha convertido en el principal agente transformador del rebollar (Montes y San Martín, 2011), sin perder de vista el efecto sinérgico de otros impactos de ámbito planetario como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad. En la misma línea, los cambios sociales y las demandas de servicios (ambientales, culturales y paisajísticos) promueven también cambios profundos en la percepción de este tipo de espacios, abriendo la puerta a enfoques más diversos, multidisciplinares y creativos así como a nuevos modelos de gestión (Perea *et al.*, 2014b; Rodrigo y Quintana, 2013; Serrada *et al.*, 2011).

La pérdida de las labores de gestión y mantenimiento incrementan fuertemente la sensibilidad de los rebollares ante el fuego. Las producciones de estas formaciones son costosas de extraer y carecen de una demanda suficiente y adaptada a los mercados actuales. El abandono de los turnos de corta interrumpe también el ciclo de uso de biomasa combustible facilitando la acumulación de biomasa en el monte, que continúa una vez sobrepasado el turno de corta. Sin tratamientos alternativos que puedan manejar esta acumulación, se dispara la vulnerabilidad y la sensibilidad de estas formaciones ante los incendios forestales (Calvo *et al.*, 1999; García y Jiménez, 2009). La gran capacidad de recuperación tras un incendio o



**FIGURA 3.** Presencia del roble rebollo en espacios protegidos de la Red Natura 2000 en España. Fuente: Atlas y cartografía de los hábitats españoles (MAGRAMA, 2005). Elaboración propia.

**FIGURE 3.** Presence of Pyrenean oak in Natura 2000 sites in Spain. Source: Atlas and Cartography of Spanish habitats (MAGRAMA, 2005), elaborated by the autor.

## LA CONSERVACIÓN DE LOS REBOLLARES IBÉRICOS, UNA ESTRATEGIA INCOMPLETA

Los rebollares constituyen formaciones que en la actualidad parecen estar expandiéndose en nuestro país. Los datos comparativos del II y III Inventario Forestal Nacional (IFN) reflejan un incremento considerable de la espesura de estos bosques,

Con la colaboración de:

una perturbación puntual incrementa también el riesgo de sufrir incendios recurrentes debido a la acumulación de altas densidades de biomasa aérea. Cuando la recurrencia entre incendios es frecuente, el rebollo tiende a formaciones densas y achaparradas que se mantienen en estadios muy jóvenes. (Barrio Anta *et al.*, 2003; Izco, 1987).

Mientras muchas actividades tradicionales han sido y son consideradas como una amenaza, resulta curioso que la pérdida de los turnos de corta no haya sido percibida de igual manera, sino más bien como una oportunidad para la regeneración de los robledales (Ruiz-Peinado *et al.*, 2009; Vilches de la Serna, 2012). En ocasiones se ha argumentado, incluso que el abandono de las prácticas históricas abre la puerta a una recuperación de áreas potenciales de rebollo previamente deforestadas. Y si bien este planteamiento podría ser cierto a escala local y bajo determinadas condiciones, pierde de vista la complejidad de estas áreas y los efectos que la caída de la gestión origina sobre los mosaicos, pastizales y espacios abiertos del delicado sistema que se articula en torno a los rebollares.

Algunas publicaciones consideran como otro factor de riesgo muchas de las labores agroganaderas que se practican en el territorio histórico de esta especie (Allué, 1997). Según este planteamiento, la sustitución de los robledales por cultivos y pastos habría relegado este hábitat a las laderas y pendientes más inclinadas (Tenorio *et al.*, 1997). Además, malas prácticas selvícolas como clareos, retirada de los ejemplares más robustos, etc., pueden haber contribuido a acelerar su degradación (Díaz-Maroto *et al.*, 2007). No obstante, la rápida capacidad de regeneración de los rebollares y la relativa rapidez en el reciclado y bombeo de nutrientes favorecen la resiliencia de estas comunidades (Pardo *et al.*, 1997). La sustitución de los robledales por otras especies forestales, principalmente varias especies de pinos, se cita también en todo el cuadrante noroccidental de la península ibérica como un factor de degradación de los melojares (Pulido *et al.*, 2007; Rico, 2008). En el caso extremeño, por ejemplo, se apunta a que en las laderas bajas los rebollares están siendo progresivamente sustituidos por cultivos leñosos de cerezos y otros frutales, mucho más rentables (Pulido *et al.*, 2007).

La fragmentación del área de distribución del rebollo también es considerada como una de las amenazas destacadas (Cruz *et al.*, 2009; Vilches de la Serna, 2012), tanto debido a la escasa entidad de muchas de sus superficies como a las dificultades orográficas de sus territorios. Otra amenaza que se cita frecuentemente es el bajo nivel de madurez ecológica que presentan muchas de estas masas (García y Jiménez, 2009). Además, las comunidades más desarrolladas en la actualidad se localizan fundamentalmente en zonas de altas pendientes y difícil acceso, de modo que su desarrollo natural y resiliencia favorecen formaciones densas y jóvenes con una fuerte competencia intraespecífica (Barrio Anta *et al.*, 2003; Díaz-Maroto *et al.*, 2007).

En Andalucía algunos autores plantean que el principal factor de riesgo es su poca adaptación a las altas temperaturas y la sequía estival del clima mediterráneo andaluz, haciendo hincapié en el carácter subatlántico y relíctico de esta especie (Luis-Calabuig, 2000). Un criterio similar se utiliza para establecer una cierta sensibilidad de esta especie ante el cambio climático, igualmente relacionada con su sensibilidad a los incendios forestales y a una mayor aridez del suelo.

Finalmente, otras amenazas específicas sobre las masas de rebollo, responden a los problemas de baja variabilidad sexual. La ausencia de regeneración por semilla, al existir una escasa producción de bellota y una bajísima supervivencia de las plántulas, "fosiliza" los rebollares que aparecen estancados y degradados en formaciones con escasa diversidad estructural (Perea *et al.*, 2014b). No obstante, a pesar de que el origen asexual parece ser el predominante en la mayoría de las formaciones actuales al proceder de rebrotes que dejaron de ser pastoreados o cortados, algunos análisis muestran que la contribución del rebrote vegetativo es diferente en cada población, aunque hay mayor proporción de rebrote vegetativo en los montes bajos que en las dehesas (Rodrigo y Quintana, 2013), indicando que la mayor clonalidad de los montes bajos no supone necesariamente pérdidas de diversidad genética (Valbuena-Carabaña, 2013).

## Unas medidas de conservación lastradas por un diagnóstico incompleto

La paradoja del diagnóstico anterior consiste en que actualmente la presión humana está disminuyendo en muchas de las zonas habitadas por el rebollo. Además, varias de las prácticas consideradas más dañinas han sido prácticamente erradicadas y la carga ganadera ha disminuido sustancialmente. En cambio, la situación de los rebollares se mantiene atrapada en un avanzado estado de degradación (Bravo *et al.*, 2008; Montes *et al.*, 2004; Serrada y Miguel, 1994; Valbuena-Carabaña y Gil, 2013). La conclusión inmediata es que algún factor no ha sido correctamente interpretado en este análisis, lo que hace necesario buscar perspectivas diferentes para afinar dicha interpretación. Desde nuestro punto de vista el abandono de las prácticas tradicionales es, precisamente, una de las causas principales y más evidentes de la progresiva degradación de los rebollares, y la ausencia de alternativas sostenibles de gestión una de las barreras a superar.

Estas lagunas en el diagnóstico han motivado también un sesgo notorio a la hora de diseñar propuestas de conservación. Dichas propuestas generalmente sugieren su conversión en montes altos (previo paso por estructuras de fustal sobre cepa), apostando por impulsar la productividad (tanto en las producciones tradicionales como las más modernas) y ligándola a los importantes servicios medioambientales que proporcionan los rebollares maduros: protección hídrica, fijación de CO<sub>2</sub>, paisajísticos, y otros usos recreativos (Adame *et al.*, 2010; Canellas *et*

al., 1994; Mesón y Montoya, 1985; Montoya, 1982; Serrada y Miguel, 1994). De forma complementaria, las propuestas de conservación recogidas en las Bases de gestión del hábitat (García y Jiménez, 2009) apuntan, sobre todo a potenciar la regeneración natural del bosque, aumentar su extensión y combatir la fragmentación. Una parte de esta expansión podría apoyarse en la sustitución de repoblaciones forestales que hayan cumplido su turno productivo. También se apunta hacia el control de especies invasoras en los robledales (con menciones específicas hacia las introducciones de eucaliptos), hacia el desarrollo de pequeñas masas capaces de interconectar espacios entre poblaciones fragmentadas y el seguimiento de las masas que muestran síntomas acusados de degradación.

En la misma línea, se apuesta por una regulación estricta de los usos del suelo, reduciendo la competencia con el rebollar, por ejemplo, de formaciones como los castañares, que generan un nivel de servicios ambientales inferior. Esta regulación debe controlar, asimismo, la transformación de los rebollares para otros usos, así como la sobreexplotación de sus recursos. La herramienta de elección para desarrollar este control se apoya fundamentalmente en la extensión de las figuras de planificación forestal y de espacios naturales. Finalmente, la prevención y el control de los incendios forestales es otra de las líneas estratégicas básicas para favorecer la conservación de los rebollares, realizando tratamientos preventivos, especialmente en las masas marginales de pequeño tamaño, en aquellas cuyo sotobosque acumula una cantidad elevada de biomasa o aquellas invadidas por matorral u otras especies pirófitas.

La puesta en marcha de estas propuestas no resulta nada fácil. La conversión desde las etapas de monte bajo (latizales jóvenes) hacia estadios más maduros se realiza, generalmente a través de la práctica de resalveos (Canellas *et al.*, 1994; Salomón y Valbuena, 2013; San Miguel, 1986; Serrada y Miguel, 1994; Valbuena-Carabaña *et al.*, 2009). Sin embargo, dichas actuaciones parecen no haber dado el resultado esperado (Montes *et al.*, 2004; Perea *et al.*, 2014a) debido al desequilibrio que se produce entre la escasa biomasa aérea remanente y el enorme desarrollo radicular de las cepas de rebollo. Además, los rebollares presentan otras complicaciones de cara a una gestión puramente selvícola. Por ejemplo, existen dudas fundamentadas sobre la rentabilidad y viabilidad de algunos de sus posibles aprovechamientos actuales o futuros (biomasa o piezas de madera de calidad, por ejemplo). Finalmente, la gran variedad de servicios y producciones que se demandan de estas formaciones resultan complejas de programar y extraer, por no hablar del elevado coste de los distintos tratamientos. Esta situación requiere una definición clara y realista de los objetivos de conservación y una planificación muy cuidadosa, lo que complica enormemente la puesta en funcionamiento de modelos selvícolas clásicos. Algunos autores (García González, 2007) llegan a plantear modelos "a la carta" definidos para este tipo de hábitats en función de los objetivos y características específicas de cada masa. Las implicaciones

económicas y de gestión de estas propuestas son evidentes, como lo es el esfuerzo que requieren en materia de recursos e instrumentos, mientras que los resultados, al menos en cuanto a la reversión de los procesos de degradación, permanecen inciertos.

Buscando nuevos enfoques, algunos autores se han centrado en el papel que juega la fauna y su extensa red de interacciones en la estructura, dinámica y regeneración sexual de las masas de rebollo (Perea *et al.*, 2014a). Estos autores señalan que la gestión de las poblaciones animales suele quedar relegada a un segundo plano en la definición de propuestas de manejo y conservación, planteando como alternativa el manejo del rebollar en forma de mosaicos para facilitar la acción dispersora de diversas especies como roedores o arrendajos, contribuyendo a la colonización de nuevas zonas. Los mosaicos favorecen, además, la supervivencia de plántulas en zonas donde la presión de ungulados es elevada y el matorral puede proteger el desarrollo de las plántulas jóvenes. Es importante también promover medidas que regulen las interacciones planta-animal, favoreciendo la regeneración sexual de los rebollares y la colonización de nuevos espacios.

A pesar de las propuestas de conservación enumeradas, lo cierto es que la conservación de las formaciones de roble melojo no está avanzando de manera adecuada (García González, 2007). Los rebollares se resienten cuando el manejo se concentra en un producto determinado, por ejemplo las leñas o la madera, sufriendo desequilibrios entre su parte aérea y su parte radical. Esta situación demanda un mayor conocimiento de los procesos fisiológicos que relacionan los sistemas radicales con sus partes aéreas (Valbuena-Carabaña y Gil, 2014) alejando estas formaciones de los formatos convencionales de explotación forestal.

## LAS BASES DE UNA GESTIÓN MULTIFUNCIONAL DE LOS MELOJARES IBÉRICOS APOYADA EN EL MANEJO GANADERO

La evidencia sugiere inequívocamente que los rebollares deben ser considerados, de forma general, como sistemas multifuncionales para obtener producciones muy diversas: leñas, carbón, elementos para tonelería, curtido de pieles, piezas de madera, pastos, refugios y lugares de estancia para el ganado y otras producciones, a veces muy específicas y tradicionalmente reguladas por las autoridades del Estado, por ejemplo piezas curvas para la construcción naval (Álvarez y Mediavilla, 2003; Ruano, 1997). Además, los rebollares eran proveedores de un amplio abanico de bienes y servicios de gran importancia a nivel local (Castro, 2004), por lo que estas formaciones fueron sometidas a un intenso y complejo uso colectivo. No cabe duda de que los rebollares ibéricos, especialmente en el cuadrante noroccidental, han sido históricamente sistemas

fuertemente intervenidos (Madrazo García de Lomana, 2007; Vilches de la Serna, 2012) con una función destacada en muchas economías rurales.

Entre las producciones del rebollar destaca especialmente la ganadería extensiva. Diversos trabajos científicos y técnicos (Castro 2004; Junta de Castilla y León, 2007; Doce, 2010; Peñera et al, 2014a) han ido redescubriendo el papel clave del pastoreo en el manejo y devenir histórico de estas formaciones, reconociendo la profunda impronta que ha dejado en su actual configuración. La relación del roble rebollo con la ganadería extensiva, tanto de vacuno como de ovino y caprino está ampliamente documentada, permitiendo entrever un modelo de gestión mucho más cercano a los sistemas silvopastorales que a los modelos típicos de manejo forestal (Castro, 2004; Joffre 1991; Plataforma por la ganadería extensiva y el pastoralismo, 2015). Aun así parece claro que la importancia de la actividad ganadera ha sido claramente subestimada y que esta laguna se extiende, además, a otras especies de robles donde igualmente el manejo ganadero tradicional ha pasado desapercibido. El abandono de la ganadería extensiva en los lugares más pobres y marginales de la península y la regeneración posterior del estrato arbóreo puede estar mimetizando unas pautas de recesión que afectan a estas formaciones, como parece indicar, por ejemplo, el retroceso de los robledales atlánticos frente al avance del hayedo (Vera et al, 2006).

El Atlas forestal de Castilla y León (Junta de Castilla y León, 2007) muestra también su estrecha vinculación con terrenos comunales.

Dehesas boyales y otros montes compartidos estaban frecuentemente ocupados por rebollos, ya que la complejidad de su manejo requería el aporte de trabajo de toda la comunidad, que también se beneficiaba conjuntamente de sus resultados.

Dos palabras definen, por tanto, el uso tradicional de los rebollares: multifuncionalidad y comunidad. Y es esta multifuncionalidad la que permite deducir que los melojares constituían, en esencia, auténticos sistemas agroforestales, concretamente agro-silvo-pastorales (Guitton, 1994; Nair, 1993), caracterizados por acoger, de forma simultánea, árboles y/o arbustos, un estrato herbáceo y herbívoros pastadores, principalmente domésticos. Los árboles son valorizados en estos sistemas por sus producciones (madera, leñas, ramón, bellotas, plantas medicinales y para consumo humano, hongos, tintes, cortezas y taninos, etc.), por las de los hábitats que protegen (cultivos, pastos, matorrales) o por los servicios que proveen: mantenimiento de la fertilidad del suelo, protección frente a la erosión, amortiguación de las variables meteorológicas, aumento de la diversidad biológica, transferencia de fertilidad, aporte de materia orgánica, fijación de carbono, protección de cuencas, etc. (Torquebiau, 2000). El principio productivo fundamental de estos sistemas radica en el beneficio mutuo entre los elementos que los componen (Buttoud, 1994).

Los rebollares del centro oeste peninsular, en todo caso, constituían elementos clave en el manejo y alimentación de las ganaderías, proporcionando valiosos recursos alimenticios a



**FIGURA 4.** Rebollo tallado en una antigua dehesa boyal.

**FIGURE 4.** Pyrenean Oak tree sculpted in an old Dehesa Boyal.

Con la colaboración de:



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



Fundación Biodiversidad

través de diferentes sistemas de producción que incluían ramoneo y utilización de distintos materiales vegetales. Los rebaños de ganado menor utilizaban estos bosques en sus recorridos habituales (Debussche, 2001) y también eran muy importantes para el ganado vacuno y de trabajo.

Otro aspecto fundamental a la hora de entender el funcionamiento y el manejo agrosilvopastoral de los rebollares es que la superficie arbolada no forma en sí una unidad de gestión, sino más bien constituye el núcleo de un mosaico que incluye diferentes parcelas. Entre ellas se localizan comunidades vinculadas a diferentes estadios sucesionales del rebollar, incluyendo pastizales (vallicares, majadales, cervunales), matorrales (brezales, jarales, piornales), orlas (espinares, grandes escobonales) e incluso otras formaciones como prados de siega, sotos de castaño, riberas de montaña, etc. Muchas de estas formaciones corresponden también a hábitats de interés recogidos en la Directiva de hábitats, por ejemplo: brezales (4030 y 4060), pastizales ibéricos síliceos de *Festuca indigesta* (6160), matorrales mediterráneos con genistas (4090), matorrales termomediterráneos y pre-estépicos (5330), etc. Es este mosaico, y no el monte arbolado en sentido estricto, el que constituye la unidad funcional de estas formaciones y el que acredita muchos de sus valores, por ejemplo una elevada biodiversidad. Gran parte de la fauna del rebollar necesita la variabilidad que ofrecen estos mosaicos para desarrollar su ciclo vital, aprovechando diferentes nichos y recursos. Los rebollares ibéricos son conocidos por su riqueza faunística, por ejemplo en mariposas diurnas o ropalóceros (Urones, 1982; Viejo *et al.*, 1988) que depende en buena parte de las zonas de contacto con otras comunidades (Jiménez-Valverde *et al.*, 2004). La gestión de los rebollares también mejora sustancialmente al incluir dentro del sistema las diferentes parcelas y características del mosaico. Las producciones y servicios de cada una de estas teselas se combinan de forma estructurada a lo largo del ciclo anual, aprovechándose en su momento óptimo, de tal forma que unas producciones se complementan con otras y van supliendo carencias y debilidades, dando una gran coherencia al conjunto. El vehículo principal mediante el cual se integran unas producciones con otras y se unifica el sistema es el pastoreo. Los animales circulan de parcela en parcela en los momentos precisos del año, generando patrones complejos de explotación, descanso y regeneración que son responsables de la estructura y dinámica de todo el conjunto.

Incomprensiblemente, la entrada de ganado en los rebollares ha sido prohibida en numerosas ocasiones para favorecer su regeneración, normalmente bajo el argumento de que se pueden provocar lesiones a los árboles adultos. Se trata de un argumento discutible y, en todo caso, temporal; a los pocos años estas lesiones serían prácticamente inexistentes y los rebaños contribuirían al control del rebrote, favoreciendo el paso de monte bajo a monte alto y potenciando la conservación de estos mosaicos. Por el contrario, muchos de

los efectos del pastoreo citados actualmente como negativos para la conservación de bosques y mosaicos estarán ligados más bien a manejos incorrectos, entre los que destaca el exceso de concentración de carga en torno a puntos de suplementación y los escasos o inexistentes periodos de descanso del pastizal previstos en la programación del pastoreo.

## La mata como sistema de gestión tradicional de los rebollares

El modelo tradicional básico de gestión de los rebollares es la mata: un rebrote de raíz joven y uniforme en el que no se practican labores de selección ni resalveos. Las matas se cortan completamente "a hecho" (o matarrasa) para obtener su producción en turnos de 12-20 años según sus características, e incluso, ocasionalmente más cortos, si la necesidad lo requiere. Los rebollares gestionados en forma de matas ocupaban terrenos marginales, generalmente relegados a las laderas inclinadas y las tierras altas, donde las matas formaban mosaicos. La propiedad (y explotación) de la mata era habitualmente de carácter comunal, basada en turnos o suertes. No obstante, dada su amplia distribución, se encuentran diferentes modelos de propiedad y de gestión, incluyendo propiedades privadas. La estructura de monte bajo dominante en los rebollares españoles es coherente con la explotación a matarrasa (Ministerio de Agricultura, 1997-2007). Es más, se estima que muchas de las formaciones actualmente catalogadas como montes altos son en realidad antiguos montes bajos en los que se ha abandonado la gestión tradicional (Valbuena-Carabaña *et al.*, 2009)

La matarrasa ha sido considerada desde la perspectiva forestal como una causa específica de degradación del rebollar, predecesora de su destrucción (Allué, 1997; Luis-Calabuig, Tárraga, Calvo, Díez, y Marcos, 1993) y causante de pérdida de vigor y aparición de síntomas de enfermedad en la vegetación (Allué, 1995; Barrio *et al.*, 2000b; Grandas *et al.*, 1997). Esta práctica ha sido fuertemente cuestionada desde el ámbito forestal y de conservación y a menudo se ha desalentado, limitado e incluso prohibido en buena parte de los planes de ordenación y gestión. Se asume que el aprovechamiento secular en monte bajo ha promovido la reproducción asexual de las masas y ha conllevado pérdidas de variabilidad genética, aunque algunas investigaciones apuntan en sentido diferente (Valbuena y Gil, 2014).

Muchos técnicos han considerado las matarrasas como mecanismos simples de obtención de leñas y carbones (Torre y Ceballos, 1979; Valbuena-Carabaña, 2013; Jiménez de Embún, 1977). No obstante, las fuentes consultadas apuntan en una dirección completamente diferente. En lugar de ser un mecanismo lineal y simple, la gestión tradicional de las matas habría generado sistemas silvopastorales complejos y bien modulados en su diseño y ejecución, capaces de extraer recursos de

forma sostenible a partir de áreas marginales con suelos pobres, poco aptos para el desarrollo de cultivos o pastizales. Se desarrollaron, así, modelos de explotación sutiles y creativos basados en el aprovechamiento del rebrote. Las matarrasas proporcionaban, por supuesto un recurso clave para la supervivencia: la leña para el invierno. A esta producción, no obstante, se sumaba toda una serie de productos muy apreciados. Las hojas verdes, digestibles para los rumiantes, proporcionaban un suplemento alimenticio para el ganado local, especialmente cuando la sequía estival reducía fuertemente la disponibilidad de pasto herbáceo. También las ramas más finas y las hojas secas, separadas durante el proceso de corta o recogidas del suelo durante el invierno, se utilizaban como cama para el ganado estante. Estos materiales se reincorporaban después a los suelos de cultivo, mezclados con las deposiciones de los animales, como fertilizante de alta calidad, en parte transferido desde los horizontes profundos del suelo del rebollar. La matarrasa dejaba intacto el complejo sistema radicular del monte, aprovechando las dos potencialidades específicas del rebollo: por un lado la gran capacidad de rebrote de raíz que permitía recuperar la masa aérea en un periodo de tiempo muy corto, y por el otro, la capacidad de bombeo profundo de nutrientes que alimentaba prados y cultivos. Esta combinación era suficiente para evitar, en gran medida, los procesos de degradación, erosión y pérdida de fertilidad. Una mata, además, puede mantenerse en turnos de rotación de 16-20 años durante unos 200-300 años antes de mostrar signos preocupantes de degradación y necesitar medidas claras de regeneración (Bravo et al., 2008 b). Las dos herramientas que desarrollan este modelo multifuncional son una actividad ganadera cuidadosamente planificada y ejecutada y una gestión comunal que implicaba al conjunto de la población (que necesitaba el combustible de uso doméstico). La gestión se articulaba en torno a instituciones locales que establecían las normas y limitaciones y programaban las labores de ojeo, evaluación y sorteo, asignando los turnos y aprovechamientos.

El sistema de producción de las matas podía ajustarse a condiciones específicas. Por ejemplo, algunos rebollares acreditaban localmente producciones muy concretas que eran capaces de generar trabajos especializados (duelas para toneles, traviesas de ferrocarril, taninos para curtitoría, carbón vegetal, piezas de construcción naval...). Estas producciones introducían cambios en los sistemas de gestión, pero generalmente se incorporaban al modelo general de aprovechamiento. En el caso de los curtidores, por ejemplo, era más importante el resalveo de las matas y los turnos de rotación algo más largos para que hubiera pies grandes con corteza. El verano previo a la corta, los árboles se descortezaban siguiendo métodos similares a los alcornoques (ASAM, 2012) para aprovechar los taninos de las cortezas. Este tipo de aprovechamientos eran comunes, por ejemplo, en el sur de Salamanca, en zonas próximas a grandes centros textiles como la ciudad de Béjar. Similares adaptaciones se producían también en otras producciones, manteniendo siempre la calidad como sistema silvopastoral, la multifuncionalidad y el manejo ganadero.

## Las dehesas boyales, el corazón del sistema comunal

Las matas, aunque muy extendidas, no eran los únicos sistemas silvopastorales que aprovechaban los rebollos. Las dehesas, y sobre todo las dehesas boyales, mucho mejor tratadas en la literatura científica (Luis-Calabuig *et al.*, 1993), constituyen el caso más relevante. Las dehesas boyales solían ser terrenos que se utilizaban para la alimentación del ganado de labor. A pesar de que tanto la propiedad como los sistemas de gestión variaban sustancialmente entre distintas localidades, se pueden citar algunas características compartidas, por ejemplo la presencia de grandes rebollos de más de 18,5 cm de diámetro, en baja densidad, oscilando alrededor de los 250 pies/ha e incluso cubiertas más reducidas (Rodrigo y Quintana, 2013). El roble rebollo ha sido siempre una de las especies preferidas para las dehesas boyales (Figura 5), tanto por la variedad de su propia producción como por su efecto favorecedor sobre el pasto. Además, estas dehesas de rebollo y sus mosaicos asociados ofrecían múltiples combinaciones para mantener la capacidad forrajera durante todo el ciclo anual, lo que permitía sostener la necesaria fuerza animal a lo largo de todas las labores de cultivo.

La dehesa boyal era un mecanismo vital en la producción agraria de cualquier pueblo, por lo que su propiedad y gestión solía mantenerse en el ámbito comunal y de proximidad, única manera de organizar el complejo calendario anual de labor. Este tipo de dehesas, por tanto, eran a menudo de uso gratuito para los vecinos que, a cambio, aportaban la mano de obra para las diferentes labores de mantenimiento que conllevaban (Estébanez y Pombo, 2002). Existen numerosos ejemplos de gestión de las dehesas boyales, destacando el entorno del Sistema Central, que muestran amplias variaciones locales sobre el objetivo común de sostener el ganado de labor (Borrero, 1992; Estébanez y Pombo, 2002; Madrazo García de Lomana, 2007; Pardo Navarro *et al.*, 2003; Reiné *et al.*, 2009). El proyecto *Trenzando diversidad*, desarrollado por la Asociación Salmantina de Agricultura de Montaña (ASAM, 2012), por ejemplo, ha recogido una muestra variada de dichos sistemas en el sur de la provincia salmantina. Algunos de estos pueblos combinaban ganaderías complejas con animales de casa (vacas, cabras y ovejas), de labor (vacas, bueyes y equinos) y trashumantes (ovejas y vacas), complementando el aporte de las dehesas con las matarrasas. Además, muchas de estas localidades tenían otras dehesas, tanto privadas como comunales, que a menudo se manejaban mediante normas consuetudinarias en los que el ganado entraba y salía siguiendo un ritmo anual que establecía los turnos asignados al ganado del pueblo, el pasto arrendado a particulares y los periodos de reposo y descanso. La gobernanza tradicional de estos pastizales es otra característica común de muchos sistemas pastoriles que han conseguido mantener niveles de biodiversidad y de servicios ambientales por encima de las expectativas de su entorno inmediato (Herrera *et al.*, 2014).

Con la colaboración de:





© Pedro M. Herrera

**FIGURA 5.** Antiguas dehesas boyales en Arlanzón (Burgos).

**FIGURE 5.** Dehesa Boyal in Arlanzón (Burgos).

En la actualidad las dehesas boyales, en especial las que mantienen un buen número de árboles viejos y de gran porte, son consideradas como territorios de altísimo valor ecológico y patrimonial en los territorios que las acogen (Junta de Castilla y León, 2007), en cambio, su papel central como sistema silvopastoral (que en su momento estuvo dirigido específicamente al sustento del ganado de labor) a menudo pasa desapercibido y se olvida que la esencia de su arquitectura y conservación está en el pastoreo.

### Gestión ganadera en la actualidad

Los procesos de mecanización y la pérdida de la tracción animal de la segunda mitad del Siglo XX, y posteriormente la despoblación, supusieron la decadencia de muchos sistemas pastorales, entre ellos las matas y las dehesas boyales, aunque no marcaron el fin del aprovechamiento silvopastoral de los rebollares. Distintos lugares de la Península Ibérica, especialmente en su cuadrante noroccidental acogen en la actualidad ganadería extensiva en rebollares. El entorno del Sistema Central, por ejemplo, presenta diferentes ejemplos de explotaciones tanto de ganado vacuno (especialmente en el sur de Ávila, Salamanca y Segovia y el norte de Cáceres) como de ganado menor: ovino y en menor medida, caprino. El modelo de explotación, no obstante, ha cambiado radicalmente. Si el modelo tradicional de explotación utilizaba casi todas las tipologías de

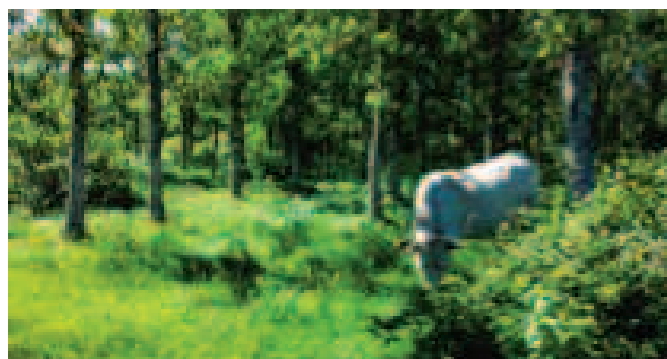
rebollar y fundamentalmente las matas y las dehesas boyales (los tipos 2 y 6 de la clasificación dasométrica de la figura 2), los rebollares pastoreados en la actualidad pertenecen, fundamentalmente a los talleres desarrollados de los grupos 3 y 5 (Figura 6). Se trata, en general, de comunidades en mosaico que incluyen formaciones arbóreas densas y cerradas, de porte medio-alto (hasta 15 m.) mantenidas mediante una combinación de desbroces mecánicos y/o pastoreo.

En todo caso, el uso ganadero de los robledales de melojo o rebollo todavía es común en estas zonas de montaña, existiendo numerosas prácticas tradicionales activas. La presencia de roble rebollo aporta un gran interés pastoral, ya que contribuye a prolongar el ciclo vegetativo del pasto y aporta recursos suplementarios que complementan la alimentación del ganado en los periodos de mayor escasez. En primavera, por ejemplo, el ganado aprovecha fundamentalmente el pastizal, alimentándose con mayor intensidad fuera del dosel arbóreo, en el mosaico asociado al rebollo, donde el pasto estacional es más nutritivo. En cambio, al llegar el verano el ganado comienza a utilizar mayoritariamente el pasto herbáceo que se mantiene verde bajo el dosel. Una vez se agosta el pasto; a final de verano, el ganado ramonea las hojas y brotes de los árboles, aprovechando después el pasto herbáceo de otoño si las condiciones han sido benignas. A finales de otoño y en invierno el rebollar aún proporciona brotes, frutos y líquenes de los árboles.

Con la colaboración de:



El valor proteico de las hojas de roble rebollo oscila a lo largo del año, con un máximo en primavera ascendiendo hasta 160 gr/kg y mínimo en otoño, donde desciende hasta unos 80 gr, mientras a lo largo del verano se mantiene más o menos constante en torno a 100-120 gr/kg. En general se puede señalar que el ramón de roble tiene una cantidad de proteína relativamente elevada con respecto al pasto herbáceo, una menor cantidad de fibra vegetal y la presencia de compuestos que pueden tener efectos sobre la digestión e incluso un cierto nivel de toxicidad sobre los rumiantes, fundamentalmente taninos y fenoles (Doce, 2010).



© Carlos Lanchas



© Carlos Lanchas

**FIGURA 6.** Vacas pastando el interior de los rebollares del sur de Salamanca en dos momentos diferentes del año.

**FIGURE 6.** Cattle grazing inside a Pyrenean Oak Woodland in the south of Salamanca in two different stages of the year.

Las especies herbáceas de los bosques pastoreados de rebollo, en cambio, suelen tener valores de proteína bruta menores que los de otras especies de pastizales herbáceos, pero en su favor tienen que en verano van secándose más lentamente, manteniendo valores nutritivos relativamente altos incluso cuando la estación está avanzada. Así, explotaciones ganaderas de vacuno frecuentes en Salamanca, Zamora, León y todo el Sistema Central, logran cubrir en torno al 65% de los requerimientos anuales del rebaño mediante el pastoreo del rebollo y su entorno, como muestra, por ejemplo el informe sobre la elegibilidad para pagos directos de la PAC de los pastos leñosos (Plataforma por la ganadería extensiva y el pastoralismo, 2015)

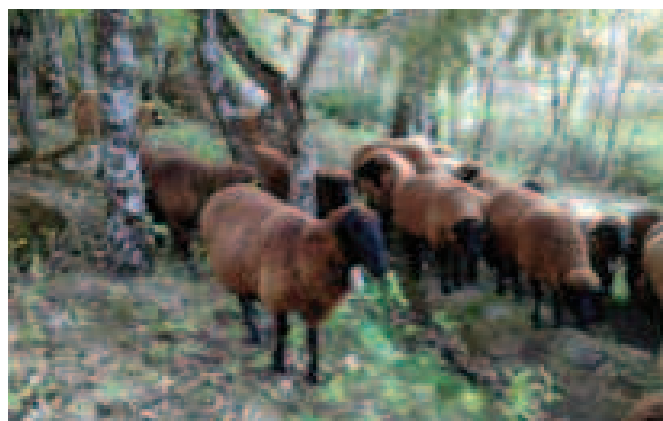
Con la colaboración de:



Los rebollares tienen también un papel destacado en la alimentación del ganado caprino y ocasionalmente el ovino (Figura 7), por ejemplo en algunas explotaciones del norte de Cáceres que mantienen razas y variedades muy interesantes como las cabras verata y malagueña o la oveja merina negra. El ganado pastorea los 365 días del año siguiendo una zonificación y programación adaptada a las condiciones del mosaico, que incluye parcelas cultivadas con frutales, olivos e higueras junto con pastos comunales arbolados y pastos abiertos. También se aprovechan otros recursos como brotes, hojas y bellota de roble e incluso algunos bastante específicos, como los brotes tiernos de oxicedro (*Juniperus oxicedrus* subsp. *badia* (H. Gay) Debeaux), ávidamente ramoneados por los corderos. El rebollo forma el eje central de estos sistemas que frecuentemente acogen simultáneamente otras ganaderías.



© Guy Beaufoy



© Fernando Lorente

**FIGURA 7.** Cabras y rebaño de merina negra ramoneando las matas de rebollo en las sierras del norte de Cáceres.

**FIGURE 7.** Goats and a Black Merino flock browsing Pyrenean oak tree sprouts in the mountains northern Cáceres.

## Pautas para la gestión sostenible de rebollares ibéricos basadas en el manejo silvopastoral

El argumento central de este trabajo, que surge del análisis anterior, es que un pastoreo adecuado de las superficies de rebollo no solamente es positivo para estas formaciones

(Castro, 2004; Pardo Navarro *et al.*, 2003; Reiné *et al.*, 2009) sino que puede considerarse como una medida de gestión imprescindible a la hora de definir alternativas viables para la conservación de los rebollares y sus mosaicos asociados. Castro (2004) argumenta que las comunidades vegetales asociadas a los rebollares presentan una estructura contingente propia, resultante de las condiciones locales e históricas, así como de su modelo de uso. La pérdida de la actividad ganadera en los rebollares, según esta autora, dificulta el enfoque integral y silvopastoral que requiere el correcto manejo y la conservación funcional de estos hábitats. La relación comprobada entre los rebollares y la ganadería extensiva determina la base conceptual de este enfoque.

Así, la ganadería extensiva es fundamental a la hora de controlar el crecimiento del rebrote y por tanto para el desarrollo de la funcionalidad de los rebollares (Figura 8). La realización manual de esta labor es inviable desde el punto de económico salvo en espacios muy localizados. La alternativa evidente es el pastoreo con ganado rústico y ramoneador que, mediante una programación adecuada, aproveche estos recursos directamente en la época estival, cuando el pasto ya escasea fuera del dosel arbóreo. Además de esta labor de retirada de biomasa, el efecto de recirculación de nutrientes, favorecido por la presencia de ganado en estos montes, puede jugar un papel interesante en el mantenimiento de la calidad del rebollar.



© Pedro M. Herrera



© Pedro M. Herrera

**FIGURA 8.** Comparación entre bosques de roble rebollo, vigor bajo y abandono del pastoreo frente a vigor alto y pastoreo programado.

**FIGURE 8.** Comparison between Pyrenean Oak woodlands, low growth and pastoral abandonment vs. high growth and scheduled grazing.

Este patrón es compartido también por otras formaciones de robles atlánticos y subatlánticos. Algunos trabajos que relacionan aspectos sociológicos y económicos con la dinámica de los montes inciden en esta cuestión (Abril *et al.*, 1993), estableciendo un proceso de retroalimentación positivo entre el manejo ganadero y la respuesta de estos hábitats.

## RECAPITULACIÓN, CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

En conclusión, la situación actual de los hábitats vinculados al roble rebollo se explica a partir de factores derivados de un uso, gestión y posterior abandono en el que el pastoreo y la ganadería han sido determinantes. Históricamente, los rebollares ibéricos y los mosaicos de los que forman parte han constituido el núcleo de diferentes sistemas silvopastorales adaptados a las condiciones de su entorno. Estos sistemas formaron, en un tiempo no muy lejano, una parte esencial del modo de vida de numerosos pueblos de buena parte de la Península Ibérica. Muchos de ellos, además, formaban parte de bienes comunales cuyo manejo y aprovechamiento era compartido por la comunidad que aplicaba diferentes modelos de gestión, fuertemente influidos por las condiciones socioambientales de cada lugar. Su producción se desarrollaba mediante una cuidadosa planificación y organización de labores forestales y ganaderas que eran asignadas a distintas personas y grupos. Cada uno de estos sistemas atesora un importante patrimonio de conocimientos tradicionales que pueden ser rescatados con el objetivo de mejorar la conservación de los rebollares actuales. La recuperación de este conocimiento tradicional, su investigación y puesta al día, así como una mejor comprensión de estos sistemas de manejo constituyen un interesante apoyo de cara a definir nuevas medidas de conservación, planificación y gestión. Por ello resulta urgente el análisis y la investigación de los diferentes mecanismos y resultados, la catalogación de buenas prácticas y modelos de éxito, y no menos importante, la incorporación de los ganaderos y pastores que atesoran este conocimiento tradicional a la conservación de estas formaciones.

Las actuales propuestas de conservación y gestión de los rebollares, apoyadas fundamentalmente en la gestión selvícola, a pesar de estar orientadas a conseguir estadios maduros de desarrollo, son insuficientes para revertir su degradación. Además suponen fuertes inversiones en recursos humanos y materiales que luego no obtienen un retorno adecuado fruto de la explotación sostenible de los bienes y servicios del rebollar. La conservación de los rebollares ibéricos se encuentra en un momento delicado, enfrentada a la falta de resultados y a la presión ejercida por nuevos factores socioambientales como el cambio global o las crisis económicas.

El manejo ganadero insuficiente o ausente ocupa, a nuestro juicio, un lugar destacado en las carencias de gestión, ante lo que se impone retomar la perspectiva silvopastoral como modelo de

Con la colaboración de:

gestión y conservación. Los instrumentos y medidas de planificación y conservación de los rebollares ibéricos deben incorporar (de forma general, con sus excepciones y adaptaciones) los usos ganaderos extensivos, complementando el manejo forestal y el resto de medidas. Un modelo de pastoreo cuidadosamente diseñado, programado y ejecutado, que acoja la necesaria participación de las poblaciones y los ganaderos locales que mantienen este conocimiento tradicional, puede contribuir de forma decisiva a conjurar los procesos de degradación que afectan a estos bosques e invertir la situación de declive.

Evidentemente, el manejo ganadero por sí solo no constituye una garantía de que los rebollares reciban una gestión adecuada. Las labores ganaderas constituyen una parte de la producción agroforestal, lo que implica que las cargas y calendarios deben estar adecuadamente planificados y combinados con otras labores y producciones. Muchos de estos sistemas, por su parte, incluyen mosaicos diversos en los que se intercalan otros hábitats de interés. Los modelos de conservación y gestión no debieran referirse únicamente a formaciones individuales, sino que, desde una perspectiva funcional y territorial, deben tener en cuenta su integración en estos mosaicos, que deben configurarse como unidades funcionales y de gestión. Además, resulta prioritario realizar un análisis similar sobre otras formaciones de robles ibéricos, igualmente definidos en origen por su integración en sistemas silvopastorales.

Desgraciadamente, los rebollares ibéricos también están siendo maltratados en las políticas agrarias y en la Política Agraria Común, enfrentándose a una situación muy delicada. Las políticas agrarias tienen por delante el importante papel de reconocer estos espacios como superficies agrarias, objeto de un manejo pecuario que contribuye a incrementar fuertemente la productividad natural de los sistemas sobre los que se asientan (además de mantener otros servicios ecosistémicos de gran demanda). Es necesario que desde las administraciones con competencias en agricultura se reconozcan estos sistemas y se les dote de un apoyo técnico y jurídico adecuado. La utilización ganadera de fincas o territorios ocupados mayoritariamente por especies arbóreas y arbustivas es una realidad muy extendida en el sur de Europa, que se contrapone fuertemente al planteamiento de la PAC, en el que los elementos leñosos penalizan la superficie que los ganaderos pueden declarar (Plataforma por la ganadería extensiva y el pastoralismo, 2015). Y si bien algunos sistemas agrosilvopastorales, como las dehesas, se encuentran con un tratamiento relativamente benévolo (aunque en el fondo discriminatorio frente a los pastizales ocupados únicamente por herbáceas), las ganaderías que utilizan bosques pastoreados se encuentran con penalizaciones que a menudo pueden reducir drásticamente la superficie declarada y afectar a su propia viabilidad económica. Esta situación resulta especialmente significativa en el contexto de los rebollares ibéricos y sus matorrales asociados que, en ocasiones, pueden no resultar admisibles o perder completamente su elegibilidad. No obstante, no se trata de un hecho

aislado, sino una situación relativamente común en el sur de Europa. Otros países, como Francia, abogan por mecanismos silvopastorales para la conservación de otras especies similares, por ejemplo *Quercus pubescens* (CERPAM, 2015).

Finalmente, aunque parezca una perogrullada, la propia ganadería extensiva demanda un reconocimiento explícito tanto en el ámbito político como en el marco legal e institucional. Un modelo ganadero que obtenga su producción pastando directamente sobre el terreno y utilizando de forma mayoritaria y sostenible recursos locales es, sin duda, una herramienta clave para mejorar la gestión y garantizar la conservación a largo plazo de los rebollares ibéricos.

## AGRADECIMIENTOS

Este artículo ha sido elaborado en el marco del convenio de colaboración entre el EFNCP y la Fundación Entretantos para la investigación y apoyo a los sistemas ganaderos extensivos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRIL A. G., LAYSECA M., GRANDE M. A. (1993). La ordenación integral de montes. Compatibilidad y adaptación ecológica de la diversidad de usos en el marco de la sierra de Guadarrama. *Agricultura y Sociedad*. 73, 195–219.
- ADAME P., RÍO M., Y CAÑELLAS I. (2010). Modeling individual-tree mortality in Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) stands. *Annals of Forest Science*, 67(8), 810–810. [http://www.magrama.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia\\_11\\_12\\_tcm7-45511.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_11_12_tcm7-45511.pdf)
- ALLUÉ M. (1995). Ordenación de las masas de *Quercus pyrenaica* Willd., *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 1, 107–135. [http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos\\_secf/article/viewFile/13781/13631](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/viewFile/13781/13631)
- ALLUÉ M. (1997). La gestión de los robledales segovianos de *Quercus pyrenaica* Willd. Retrospectiva, *Ecología*, 11, 189–205.
- ALLUÉ M., SAN MIGUEL A. (1991). Estructura, evolución y producción de tallares de *Quercus pyrenaica* Willd. en el centro de España. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, (1) 35–48. <http://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/viewFile/4665/3989>
- ÁLVAREZ F. Y MEDIAVILLA G. (2003). Podas y trasmochos en las ordenanzas forestales del sistema central español y su impronta en el paisaje forestal actual. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 38: (35-41) [http://www.secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos\\_secf/article/viewFile/10294/10198](http://www.secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/viewFile/10294/10198)
- ASAM. (2012). *Cuaderno de apuntes El sistema tradicional*. Proyecto Trenzando Diversidad. Asociación Salmantina de Agricultura de Montaña. Salamanca.

- BARTOLOMÉ C., ÁLVAREZ J., VAQUERO J., COSTA M., CASERMEIRO M., GIRALDO J., ZAMORA J. (2005) *Tipos de hábitats de interés comunitario en España*. Ministerio de Medio Ambiente. [http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-prottegidos/th\\_creditos\\_tcm7-24323.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-prottegidos/th_creditos_tcm7-24323.pdf)
- BARRIO ANTA M., DÍAZ-MAROTO HIDALGO I. J., ÁLVAREZ GONZÁLEZ J. G. Y VILA LAMEIRO P. (2003). El problema de la regeneración de robles caducifolios y marcescentes en el Noroeste de España. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. No.15. 2003. Pág 95-100. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2976355&info=resumen&idioma=SPA>
- BARRIO ANTA M., DÍAZ-MAROTO I., Y ROJO A. (2000). Gestión de rebollares en montes de UP en el PN del Lago de Sanabria (Zamora). *Revista Montes*. vol. 62 p. 21-28. [https://scholar.google.es/scholar?q=BARRIO%2C+M.%2C+D%3%8DAZ-MAROTO%2C+I.J.%2C+ROJO%2C+A.%3B+2000.+Gesti%C3%B3n+de+rebollares+en+montes+de+utilidad+p%C3%BAblica+en+el+Parque+Natural+del+Lago+de+Sanabria&btnG=&hl=es&as\\_sdt=0%2C5#0#0](https://scholar.google.es/scholar?q=BARRIO%2C+M.%2C+D%3%8DAZ-MAROTO%2C+I.J.%2C+ROJO%2C+A.%3B+2000.+Gesti%C3%B3n+de+rebollares+en+montes+de+utilidad+p%C3%BAblica+en+el+Parque+Natural+del+Lago+de+Sanabria&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5#0#0)
- BORRERO M. (1992). La organización de las dehesas concejiles en la "Tierra" de Sevilla. *Historia, Instituciones, Documentos*, 19, 89–106.
- BRAVO FERNÁNDEZ A., ROIG GÓMEZ S., AROCA FERNÁNDEZ M. J., GASTÓN GONZÁLEZ A. Y SERRADA HERRERO R. (2008 a). Pastoreo y regeneración: condicionantes a la gestión forestal. Caso del monte Cabeza de Hierro (Rascafría, Madrid). *Actas de La XLVII Reunión Científica de La Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.*, 551–557.
- BRAVO J. A., ROIG S., SERRADA R. (2008 b) Selvicultura en montes bajos y medios de *Quercus ilex* L., *Q. pyrenaica* Wild. y *Q. faginea* Lam. Compendio De Selvicultura Aplicada En España. Fund. Conde Del Valle Salazar. Ministerio de Educación y Ciencia: 656-744
- BUTTOUD G. (1994). Les systèmes agroforestiers dans les pays en développement: quels enseignements? *Revue Forestière Française*. Ecole nationale du génie rural, 1994, pp.152-164 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01072676/>
- CALVO L., SANTALLA S., MARCOS E., VALBUENA L., TÁRREGA R. Y LUIS E. (2003). Regeneration after wildfire in communities dominated by *Pinus pinaster*, an obligate seeder, and in others dominated by *Quercus pyrenaica*, a typical resprouter. *Forest Ecology and Management*, 184(1-3), 209–223. [http://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00207-X](http://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00207-X)
- CALVO L., TÁRREGA R. Y DE LUIS E. (1999). Post-fire succession in two *Quercus pyrenaica* communities with different disturbance histories. *Annals of Forest Science*, 56(5), 441–447. <http://doi.org/10.1051/forest:19990508>
- CANELLAS I., MONTERO G., MONTOTO J. L., BACHILLER A. Y SAN MIGUEL A. (1994). Transformation of rebollo oak coppice (*Quercus pyrenaica* Willd.) into open woodlands by thinning at different intensities. Preliminary results. In IUFRO [International Union of Forestry Research Organizations] Meeting on Mountain Silviculture, Valsain (España), 27 Sep -1 Oct 1993. INIA. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=ES9500518>
- CARVALHO J., SANTOS J., REIMÃO D., GALLARDO J., ALVES P., GROSSO-SILVA J., SANTOS T., PINTO A., MARQUES G., MARTINS L., CARVALHEIRA M. (2005). *O carvalho negral*. CITAB. Ed. Sersililo <http://repositorio.utad.pt/handle/10348/1524>
- CASTRO E. B. (1997). *Los Bosques Ibéricos: Una Interpretación Geobotánica*. GeoPlaneta Editorial S. A. [https://books.google.es/books/about/Los\\_bosques\\_ib%C3%A9ricos.html?id=vyRFAAAAYAAJ&pgis=1](https://books.google.es/books/about/Los_bosques_ib%C3%A9ricos.html?id=vyRFAAAAYAAJ&pgis=1)
- CASTRO M. (2004). *Análisis de la interacción vegetación-herbívoro en sistemas silvopastorales basados en Quercus pyrenaica*. (Tesis doctoral. Universidad de Alcalá Ed.). Universidad de Alcalá, Madrid. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/5813/3/tese.pdf>
- CEBALLOS L., RUÍZ DE LA TORRE J., (1979). *Árboles y arbustos*, E.T.S.I. de Montes de Madrid.
- CERPAM, BARON D. E. B. Y BEYLIER B. (2015). *La chêne pubescent*. Sylvopastoralismes-. CERPAM et CRPF.
- CRUZ P., FERNÁNDEZ A. Y REQUE J. A. (2009). Propuesta tipológica forestal para los bosques de *Quercus pyrenaica* de la comarca del Bierzo del noroeste de España, empleando análisis multivariante. Forest typology proposal for the *Quercus pyrenaica* in the Bierzo region , northwest Spain , using multivariate analysis. *Bosque* Vol. 30(3), 180–191.
- DAVIES C., MOSS D. Y HILL M. (2004). *EUNIS habitat classification revised 2004*. European Environment Agency. [https://www.researchgate.net/profile/Mark\\_Hill10/publication/238708061\\_EUNIS\\_HABITAT\\_CLASSIFICATION\\_REVISSED\\_2004/links/55080e410cf26ff55f7fc7c5.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mark_Hill10/publication/238708061_EUNIS_HABITAT_CLASSIFICATION_REVISSED_2004/links/55080e410cf26ff55f7fc7c5.pdf)
- DEBUSSCHE M. (2001). Changes in the vegetation of *Quercus pubescens* woodland after cessation of coppicing and grazing. *Journal of vegetation science*. Vol. 12, Issue 1, pages 81–92, February 2001 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1654-1103.2001.tb02619.x/abstract>
- DEL RÍO GON ALEZ S., HERRERO CEMBRANOS L. Y PENAS MERINO Á. (2007). Bioclimatic analysis of the *Quercus pyrenaica* forests in Spain. *Phytocoenologia*, 37(3-4), 541–560. <http://doi.org/10.1127/0340-269X/2007/0037-0541>
- DÍAZ-MAROTO I., VILA-LAMEIRO P., GUCHU E. Y DÍAZ-MAROTO M. (2007). A comparison of the autecology of *Quercus robur* L. and *Q. pyrenaica* Wild.: present habitat in Galicia, NW Spain. *Forestry*, 80(3), 223–239. <http://forestry.oxfordjournals.org/content/80/3/223.full.pdf+html>
- DOCE R. R. (2010). *Consumo de hojas jóvenes de roble (Quercus pyrenaica) por el ganado vacuno: aspectos nutricionales e intoxicación*. Tesis doctoral. Instituto de Ganadería de Montaña. Universidad de León. [http://digital.csic.es/bitstream/10261/25934/1/Raquel%20Rodr%C3%AD-guez%20Doce\\_Tesis.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/25934/1/Raquel%20Rodr%C3%AD-guez%20Doce_Tesis.pdf)
- ENTROCASSI G., GAVILÁN R. Y SÁNCHEZ MATA D. (2004). Aplicación de análisis multivariante a los bosques ibéricos de *Quercus pyrenaica*. *Fitosociología*, 41(1 suppl. 1), 143–154.

- ESTÉBANEZ N. L. Y POMBO E. S. (2002). Gestión, aprovechamiento y paisaje de las dehesas de Guadarrama y Somo Sierra (Madrid). *Ería*, 58, 231–245.
- FERNÁNDEZ PARAJES J. (2005). *Autoecología, calidad de estación y xilología de Quercus pyrenaica Willd. en Galicia*. Tesis doctoral. Ed. Universidad de Santiago de Compostela. <https://dspace.usc.es/bitstream/10347/9551/1/b19949364.pdf>
- GARCÍA GONZÁLEZ M. D. (2007). Tratamientos selvícolas observados en masas puras de rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) en Castilla y León. *Cuadernos de La SECF*, 21, 43–47.
- GARCÍA I., JIMÉNEZ P. (2009). Robledales de *Quercus pyrenaica* H.9230. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 66 p. [http://www.jolube.es/Habitat\\_Espana/documentos/9230.pdf](http://www.jolube.es/Habitat_Espana/documentos/9230.pdf)
- GAVILÁN R. G., MATA D. S., VILCHES B. Y ENTROCASSI G. (2007). Modelling current distribution of Spanish *Quercus pyrenaica* forests using climatic parameters. *Phytocoenologia*, 37(3), 561–581. <http://doi.org/10.1127/0340-269X/2007/0037-0561>
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ F. Y DÍAZ PINEDA F. (1980). Bases para la tipificación integrada de los pastizales de dehesa. *Pastos*, 10(1), 20–43. <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/674>
- GONZÁLEZ G. L. (2006). *Los árboles y arbustos de la Península Ibérica e Islas Baleares: especies silvestres y las principales cultivadas*. Mundi-Prensa Libros, 2006 <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=ubjSw8-s8EC&pgis=1>
- GRANDAS J., DÍAZ-MAROTO I. Y SILVA-PANDO F. (1997). Indicadores selvícolas de la calidad de estación de los bosques gallegos de *Quercus pyrenaica* Willd. *Actas II Congreso Forestal Español* [https://scholar.google.es/scholar?q=grandas+pyrenaica+1997&btnG=&hl=es&as\\_sdt=0%2C5#0](https://scholar.google.es/scholar?q=grandas+pyrenaica+1997&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5#0)
- GUITTON J. (1994). L'agroforesterie? *Revue Forestière Française*, 1994, ENGREF, Ecole nationale du génie rural, des eaux et des forêts, Nancy (FRA) .... <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/26605>
- HERRERA P., DAVIES J., MANZANO P., (2014) The Governance of Rangelands. Collective Action for Sustainable Pastoralism. Earthscan. Routledge. [http://cmsdata.iucn.org/downloads/governance\\_book.pdf](http://cmsdata.iucn.org/downloads/governance_book.pdf)
- IZCO J. (1987). Galicia. La Vegetación de España. 1987 - Universidad de Alcalá de Henares. [https://scholar.google.es/scholar?q=izco+1987&btnG=&hl=es&as\\_sdt=0%2C5#1](https://scholar.google.es/scholar?q=izco+1987&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5#1)
- JIMÉNEZ-VALVERDE A., CANO J. M. Y MUNGUIRA M. L. (2004). Patrones de diversidad de la fauna de mariposas del Parque Nacional de Cabañeros y su entorno (Ciudad Real, España central) (Lepidoptera, Papilionoidea, Hesperioidea). *Animal Biodiversity and Conservation*, 27(2), 15–24.
- JOFFRE R., HUBERT B. Y MEURET M. (1991). Les systemes agro-sylvo-pastoraux mediterraneens: enjeux et reflexions pour une gestion raisonnee. Dossier MAB (UNESCO). No. 10. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF19940002263>
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN (2007). *Atlas forestal de Castilla y León*. Ed. JCYL.
- LORITE J., SALAZAR C., PENAS J., VALLE F., PEÑAST J., VALLE F. (2008). Phytosociological review on the forests of *Quercus pyrenaica* Willd. *Acta Botanica Gallica*, 155(2), 219–233. <http://doi.org/10.1080/12538078.2008.10516105>
- LUIS-CALABUIG E., (2000). *Quercus pyrenaica. Libro Rojo de la Flora Silvestre Amenazada de Andalucía. Tomo II: Especies Vulnerables*. Junta de Andalucía. págs 303–330. <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/porta/web/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnextoid=07db9f89b02ba010VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=4b2fa7aaaf4f4310VgnVCM2000000624e50aRCRD>
- LUIS-CALABUIG E., TÁRREGA R., CALVO L., DIEZ C. Y MARCOS E. (1993). Análisis Fisionómico de los Ecosistemas de *Quercus pyrenaica* Willd. en la cuenca del Duero. Congreso Forestal Español (pp. 405–410).
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ M.E., MORALES Á. A. Y ÁLVAREZ M. L. (2006). Estudio fitosociológico y bromatológico de los pastizales con interés ganadero en la provincia de Salamanca. *Stud. Bot.*, 25, 9–61.
- MADRAZO GARCÍA DE LOMANA G. (2007). *La evolución del paisaje forestal en la vertiente segoviana de la Sierra de Guadarrama*. Tesis doctoral. Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid. [https://www.uam.es/gruposinv/forestal/docs/tesis/tesis\\_gonzalo.pdf](https://www.uam.es/gruposinv/forestal/docs/tesis/tesis_gonzalo.pdf)
- MAGRAMA (2005) Atlas y manual de los hábitats naturales y seminaturales de España. [http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/atlas\\_manual\\_habitats\\_espanioles.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/atlas_manual_habitats_espanioles.aspx)
- MARTÍNEZ PARRAS J. M., MOLERO MESA J. (1982). Ecología y fitosociología de *Quercus pyrenaica* Willd. en la provincia Bética. Los melojares béticos y sus etapas de sustitución. *Lazaroa*, 4, 91–104.
- MESÓN GARCÍA M. L. Y MONTOYA OLIVER J. M. (1985). Vegetación forestal y degradación de los bosques de "*Quercus pyrenaica*" Willd. en España. Madrid : Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=229126>
- MESON M. (1982). Aspectos botánicos y fenológicos de *Quercus pyrenaica* Willd. *Boletín-de la Estacion Central de Ecología*. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302136147>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. (1997-2007). III Inventario Nacional Forestal Nacional.
- MONTERO G. Y SERRADA R. (2013). *La situación de los bosques y el sector forestal en España*. ISFE 2013. Pontevedra. [https://scholar.google.es/scholar?lookup=0&q=Situaci%C3%B3n+de+los+bosques+y+del+sector+forestal+en+Espa%C3%B1a.&hl=es&as\\_sdt=0,5#2](https://scholar.google.es/scholar?lookup=0&q=Situaci%C3%B3n+de+los+bosques+y+del+sector+forestal+en+Espa%C3%B1a.&hl=es&as_sdt=0,5#2)

- MONTES C. Y MARTÍN F. S. (2011). *La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España. Síntesis de resultados*. Fundación Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. <http://www.ecomilenio.es/informe-sintesis-eme/2321>
- MONTES F., CAÑELLAS I. Y RÍO M. DEL. (2004). The effects of thinning on the structural diversity of coppice forests. *Annals of Forest Science*. Vol. 61, No. 8, December 2004 <http://www.afs-journal.org/articles/forest/abs/2004/08/F4059/F4059.html>
- MONTERO G., SERRADA R. (2013). *La situación de los bosques y el sector forestal en España-ISFE 2013*. Pontevedra. [https://scholar.google.es/scholar?lookup=0&q=Situaci%C3%B3n+de+los+bosques+y+del+sector+forestal+en+Espa%C3%B1a.&hl=es&as\\_sdt=0,5#2](https://scholar.google.es/scholar?lookup=0&q=Situaci%C3%B3n+de+los+bosques+y+del+sector+forestal+en+Espa%C3%B1a.&hl=es&as_sdt=0,5#2)
- MONTOYA J. M. (1982). Selvicultura, ordenación y economía de los rebollares de *Quercus pyrenaica* Willd. Boletín - la Estación Central de Ecología. *Boletín de la Estación Central de Ecología*, 11 (22): 3-13, 4. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302136146>
- MOSS D. Y WYATT B. (1994). The CORINE biotopes project: a database for conservation of nature and wildlife in the European community. *Applied Geography*. Volume 14, Issue 4, October 1994, Pages 327-349 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0143622894900264>
- NAIR P. (1993). *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers. London. [http://www.worldagroforestry.org/Units/Library/Books/PDFs/32\\_An\\_introduction\\_to\\_agroforestry.pdf?n=161](http://www.worldagroforestry.org/Units/Library/Books/PDFs/32_An_introduction_to_agroforestry.pdf?n=161)
- PARDO NAVARRO F., MARTÍN JIMÉNEZ E. Y GIL SÁNCHEZ L. (2003). El uso tradicional de la Dehesa Boyal de Puebla de la Sierra (Madrid): efectos sobre la vegetación a corto y largo plazo. «Actas de La II Reunión Sobre Historia Forestal» *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 178, 173-178. <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2978157.pdf>
- PARDO F., GIL L. Y PARDOS J. A. (1997). Field study of beech (*Fagus sylvatica* L.) and melojo oak (*Quercus pyrenaica* Willd) leaf litter decomposition in the centre of the Iberian Peninsula. *Plant and Soil*, 191(1), 89-100. <http://doi.org/10.1023/A:1004237305438>
- PEREA R., SAN MIGUEL A. Y GIL L. (2014a). Interacciones planta-animal en la regeneración de *Quercus pyrenaica*: ecología y gestión. *Ecosistemas*, 23(2), 18-26. <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/875/814>
- PEREA R., VALBUENA-CARABAÑA M., SAN MIGUEL A. Y GIL L. (2014b). El efecto de los ungulados silvestres sobre la supervivencia de las plántulas de *Quercus pyrenaica*: importancia del matorral no apetecido. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 174, 167-174. <http://oa.upm.es/35416/>
- PÉREZ-RAMOS I. M. (2014). El milagro de regenerar en especies mediterráneas de Quercus. ¿Cómo serán los bosques del futuro? *Ecosistemas* 23(2):13-17 [Mayo-Agosto 2014] <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/910>
- PLATAFORMA POR LA GANADERÍA EXTENSIVA Y EL PASTORALISMO. (2015). *Informe sobre la elegibilidad para pagos directos de la PAC de los pastos leñosos españoles. Justificación y conclusiones*. Plataforma por la Ganadería Extensiva y el Pastoralismo. <http://www.ganaderiaextensiva.org/InformeElegibilidadPastos.pdf>
- PULIDO F., SANZ R., ABEL D., EZQUERRA F. J., GIL A., GONZÁLEZ G., VÁZQUEZ F. (2007). *Los bosques de Extremadura: evolución, ecología y conservación*. Junta de Extremadura. <http://aym.juntaex.es/medioambiente/actualidad/LibroBosquesExtremadura.htm>
- REGINA I. S. (2000). Biomass estimation and nutrient pools in four *Quercus pyrenaica* in Sierra de Gata Mountains, Salamanca, Spain. *Forest Ecology and Management*. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112799002194>
- REINÉ R., BARRANTES O., BROCA A., FERRER C. (2009). *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. [http://www.uco.es/integraldehesa/components/com\\_booklibrary/ebooks/Multifuncionalidad%20de%20los%20pastos.pdf](http://www.uco.es/integraldehesa/components/com_booklibrary/ebooks/Multifuncionalidad%20de%20los%20pastos.pdf)
- RICO E. (2008). Repoblación forestal y sustitución de especies en montes de utilidad pública de la provincia de Soria. *Ager*, Vol 7, Zaragoza 1940-1975, 77-108.
- RIVAS C. S. D. E. (1975). Sobre *Quercus pyrenaica* Willd. (Fagaceae). *Annals. Inst. Bot. Cavanilles*, 32(2), 779-792.
- RODRIGO C. Y QUINTANA G. (2013). *Guía de gestión para los rebollares (Quercus pyrenaica Willd.)*. SECF (Ed.), 6o CFE.
- ROIG S., DEL RÍO M., RUIZ-PEINADO R., CAÑELLAS I. (2007). Tipología dasométrica de los rebollares (*Quercus pyrenaica* Milld.) de la zona centro de la Península Ibérica. In *Actas XLVI Reunión científica de la SEEP*. Vitoria, España. p. 535-542. [https://scholar.google.es/scholar?q=Tipolog%C3%ADa+dasom%C3%A9trica+de+los+rebollares+%28Quercus+pyrenaica+Willd.%29+de+la+zona+centro+de+la+Pen%C3%ADnsula+Ib%C3%A9rica.&btnG=&hl=es&as\\_sdt=0%2C5#0#0](https://scholar.google.es/scholar?q=Tipolog%C3%ADa+dasom%C3%A9trica+de+los+rebollares+%28Quercus+pyrenaica+Willd.%29+de+la+zona+centro+de+la+Pen%C3%ADnsula+Ib%C3%A9rica.&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5#0#0)
- RUANO Á. (1997). Los robles trasnochados o ipinabarrros: una apuesta sostenible de futuro para una técnica forestal olvidada. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*. Vol 30. Pp 137-142. [http://www.secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos\\_secf/article/viewFile/10082/9986](http://www.secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/viewFile/10082/9986)
- RUIZ-PEINADO R., LÓPEZ-SENEPLEDA E., ALONSO PONCE R., ROIG S., SÁNCHEZ-PALOMARES O. Y MONTERO G. (2009). Áreas potenciales del rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) en la Comunidad de Madrid: aproximación a partir de la teoría de campos. *Actas 5º Congreso Forestal Español* (pp. 1-9).
- SALOMÓN R. Y VALBUENA-CARABAÑA M. (2013). Clonal structure influences stem growth in *Quercus pyrenaica* Willd. coppices: Bigger is less vigorous. *Forest Ecology and Management*. May 2013. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112713001059>

- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ M.E. AMOR MORALES A., LADERO ÁLVAREZ M. (2006) Estudio fitosociológico y bromatológico de los pastizales con interés ganadero en la provincia de Salamanca. *Studia botanica*, Nº 25, 2006, págs. 9-61. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2393712>
- SAN MIGUEL A. (1986). Experiencias españolas sobre aprovechamientos silvopascícolas en tallares de quejigo (*Quercus faginea* Lamk.) y rebollo (*Q.pyrenaica* Willd.), pp: 286-289. In F. C. Gulbenkian (Ed.), *I Congresso Florestal Nacional de Portugal*. Lisboa.
- SAN MIGUEL A., CAÑELLAS I., MONTERO G.; SERRADA R. (1995). Situación actual de la investigación forestal sobre las especies mediterráneas. IUFRO (Ed.). *Proc. XX IUFRO World Congress*. Tampere (Finlandia).
- SANTA REGINA I. S., GALLARDO J. F., RICO M., MARTÍN A., GALLEGU H. A., MORENO G., CUADRADO S. (1991). Datos preliminares sobre biomasa aérea, producción y características edafoclimáticas de ecosistemas forestales de *Quercus pyrenaica* (Sierra de Gata, Salamanca), In *III Jornadas de la Asociación Española de Ecología Terrestre*, León.
- SERRADA HIERRO R., AROCA FERNÁNDEZ M. J., ROIG GÓMEZ S., BRAVO FERNÁNDEZ A. Y GÓMEZ SANZ V. (2011). *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector forestal. Notas sobre gestión adaptativa de las masas forestales ante el cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. [http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/SECTOR\\_FORESTAL\\_DOCUMENTO\\_COMPLETO\\_tcm7-185468.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/SECTOR_FORESTAL_DOCUMENTO_COMPLETO_tcm7-185468.pdf)
- SERRADA R. (1993). Tipificación dasométrica de los rebollares de la Comunidad de Madrid. Alternativas silvopastorales. Diseño de un plan experimental., *Congreso Forestal Español - Lourizán 1.993*. Ponencias y comunicaciones. Tomo II, 623-629.
- SERRADA R. Y MIGUEL A. S. (1994). Dasometric classification and alternative silvopastoral uses of rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) stands in Madrid . *Investigación Agraria Sistemas Recursos Forestales*. Fuera de s, p.79-88. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=ES9500519>
- SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIAS FORESTALES. (2010). *Situación de los bosques y del sector forestal en España*. Sociedad Española de Ciencias Forestales. [https://scholar.google.es/scholar?q=Situaci%C3%B3n+de+los+bosques+y+del+sector+forestal+en+Espa%C3%B1a.&btnG=&hl=es&as\\_sdt=0%2C5#1](https://scholar.google.es/scholar?q=Situaci%C3%B3n+de+los+bosques+y+del+sector+forestal+en+Espa%C3%B1a.&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5#1)
- TENORIO M., MORLA C. Y SÁINZ H. (1997). Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica. Editorial Planeta, Barcelona. [https://scholar.google.es/scholar?q=Costa+Tenorio%2C+Los+bosques+ib%C3%A9ricos.+Una+interpretaci%C3%B3n+geobot%C3%A1nica.+Barcelona%3A+Planeta.&btnG=&hl=es&as\\_sdt=0%2C5#1](https://scholar.google.es/scholar?q=Costa+Tenorio%2C+Los+bosques+ib%C3%A9ricos.+Una+interpretaci%C3%B3n+geobot%C3%A1nica.+Barcelona%3A+Planeta.&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5#1)
- TORQUEBAU E. (2000). A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie*. Volume 323, Issue 11, November 2000, Pages 1009-1017 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0764446900012397>
- TORRE J. R. DE LA Y CEBALLOS L. (1979). *Arboles y Arbustos de la España Peninsular. ETSI de Montes*. Madrid. 512 pp. [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0,5&q=ceballos+tore+%C3%81rboles+y+arbustos+de+la+Espa%C3%B1a+Peninsular+1979#0](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&q=ceballos+tore+%C3%81rboles+y+arbustos+de+la+Espa%C3%B1a+Peninsular+1979#0)
- URONES C. (1982). Los Ropalóceros (Hex. Lepidoptera) de los robledales de *Quercus pyrenaica* Willd. del suroeste salmantino. *Bol. Asoc. Esp. Entom.* 5(1981), 161-179.
- VALBUENA-CARABAÑA M. (2013). ¿Reduce el aprovechamiento en monte bajo de *Quercus pyrenaica* Willd. sus niveles de diversidad genética? *Actas del 6º CFE* (pp. 1-17). Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- VALBUENA-CARABAÑA M. Y GIL L. (2013). Genetic resilience in a historically profited root sprouting oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) at its southern boundary. *Tree Genetics & Genomes*, 9(5), 1129-1142. <http://doi.org/10.1007/s11295-013-0614-z>
- VALBUENA-CARABAÑA M. Y GIL L. (2014). Efectos de la gestión selvícola pasada y presente sobre la diversidad genética actual y futura de *Quercus pyrenaica* Willd. en Sierra Nevada. *Revista Ecosistemas*, 23(2), 90-98. <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/901>
- VALBUENA-CARABAÑA M., DELGADO GALA S., LORENZO Z., GONZÁLEZ DONCEL I., GIL L. (2009). Caracterización de cepas de tallares de *Quercus pyrenaica* Willd. 5º CFE . Sociedad Española de Ciencias Forestales - Junta de Castilla y León (Ed.), (pp. 1-14). <http://seforestales.org/publicaciones/index.php/congresos/article/download/7939/7862>
- VERA F.W.M., BAKKER E.S. Y OLF H. (2006). Large herbivores: missing partners of western European light-demanding tree and shrub species? In: DANELL K ET AL (EDS) *Large herbivore ecology, ecosystem dynamics and conservation*. Cambridge University Press. 203-231.
- VIEJO J. L., MARTÍN J. Y DE SILVA C. (1988). Patrones de distribución de las mariposas de Madrid (Insecta, Lepidoptera, Papilionoidea et Hesperioidea). *Ecología*, 2, 359-368.
- VILCHES DE LA SERNA P. B. (2012). *Estudio integral de los bosques de Quercus pyrenaica Willd. en la Península Ibérica*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. <http://eprints.ucm.es/24998/1/T35273.pdf>
- VV.AA., 2009. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN J. (1977). *El monte bajo*. Ministerio de Agricultura.Madrid.

# 2

PONENCIA A LA 55<sup>a</sup> REUNIÓN  
CIENTÍFICA DE LA SEEP



## PLANT BREEDING AS TOOL TO CHALLENGE CLIMATIC CHANGES IN FORAGE PRODUCTION. A REVIEW

Jesús Moreno-González\* y Laura Campo

Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM), Instituto Galego de Calidade Alimentaria (INGACAL). Apartado 10, 15080 A Coruña (España)

### LA MEJORA GENÉTICA VEGETAL COMO HERRAMIENTA PARA AFRONTAR LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE. UNA REVISIÓN

#### Historial del artículo:

Recibido: 13/06/2016  
Revisado: 09/09/2016  
Aceptado: 10/02/2017  
Disponible online: 08/11/2017

#### \* Autor para correspondencia:

jesus.moreno.gonzalez@xunta.gal

ISSN: 2340-1672

Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/pastos>

#### Keywords:

Genetic improvement, C3 and C4 plants, forage plants, germplasm material, plant domestication, maize hybrids.

#### ABSTRACT

Literature was reviewed concerning climatic changes, especially increase in carbon dioxide concentration [CO<sub>2</sub>] and temperature during the last centuries, and connecting these changes with biochemical pathways in plants, mainly photosynthesis activity and respiration. Plant breeding has been successful in moving the genome of plants for selecting different characteristics, such as high oil and protein of the maize kernel, increase of yield in several crops along different eras, resistance to diseases and pests and adaptation to environmental conditions. Therefore plant breeding is proposed as a tool to challenge the climatic change through development of new varieties with complex traits adapted to future environments, such as higher temperatures and lower rainfall. Utilization of natural or induced polyploidy has demonstrated to be a good aid to increase vigor, yield, resistance to diseases, and adaptation of forage crops to stress. Development of synthetic varieties for forage plants seems to be a good option for achieving breeding goals in cross-pollinated crops. Hybridization between different species and within species is sometimes used for increasing the vigor, the adaptation to environmental stress and the yield of cultivars. Hybrids between two species (e.g., from genus *Lolium*) produce usually a high rate of aneuploid plants in the F<sub>1</sub> generation. Recurrent selection for raising the rate of balanced euploid plants in the F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>... generations of the allopolyploid hybrids is needed for getting stable varieties adapted to the target stress. Commercial hybrid seed is preferred to synthetics provided that the additional yield and features compensate the extra cost of seed production. Results of forage maize hybrids related to the worldwide cultivated "B73 × Mo17" hybrid, which were selected for earliness, are presented. Exploration of new C4 tropical species, such as Teff, likely will help to produce forage in poor watering conditions. The use of <sup>13</sup>C isotopic discrimination seems to be a good indicator to breed for water use efficiency (WUE) in C3 plants. Biotechnological tools, such as molecular markers, will facilitate to achieve breeding objectives sooner. Breeding suggestions for development of new varieties in C3 and C4 species adapted to future environments should consider the possible biotic and abiotic stresses generated by the climatic change. Automated phenotyping platforms are used for simulating stress environments. Domestication of wild species may be an alternative for developing a new crop to meet the requirement of environmental change. Crop domestication is a difficult task; however the use of rational strategies, including breeding for reducing the effect of limiting factors and strengthening favorable traits will help to achieve the desired objectives. Use of autochthonous germplasm as base material is crucial for providing genetic variability and genes adapted to environmental conditions.

#### Palabras clave:

Mejora genética de plantas, plantas C3 y C4, plantas forrajeras, bancos de germoplasma, domesticación de plantas, híbridos de maíz.

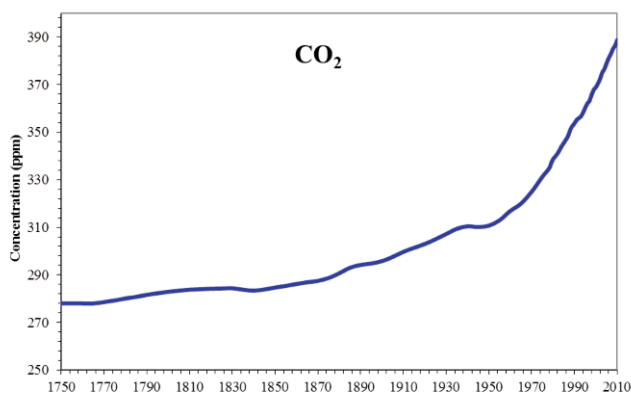
#### RESUMEN

Se revisó la literatura en lo referente al cambio climático, especialmente al aumento de la concentración de dióxido de carbono [CO<sub>2</sub>] y la temperatura durante los últimos siglos, así como su relación con las rutas bioquímicas en plantas, principalmente la actividad fotosintética y la respiración. La mejora genética de plantas ha tenido éxito en cambiar el genoma de las plantas seleccionando diversas características, tales como alto contenido de aceite y proteína en el grano de maíz, aumento del rendimiento en varios cultivos durante diferentes eras, resistencia a plagas y enfermedades y adaptación a las condiciones ambientales. Por lo tanto se propone a la mejora genética de plantas como una herramienta útil para afrontar el cambio climático mediante el desarrollo de nuevas variedades con caracteres complejos adaptados a los ambientes futuros. La utilización de la poliploidía natural o inducida ha demostrado ser una buena ayuda para aumentar el vigor, rendimiento, resistencia a enfermedades y adaptación de cultivos forrajeros a estrés. El desarrollo de variedades sintéticas en plantas pratenses parece ser una buena opción para alcanzar los objetivos de mejora en cultivos de polinización cruzada. La hibridación entre especies y dentro de especies gramíneas y leguminosas forrajeras se utiliza para aumentar el vigor, la adaptación al estrés y el rendimiento de las variedades. Híbridos entre dos especies (e.g. del género *Lolium*) producen generalmente una alta tasa de plantas aneuploides en la generación F<sub>1</sub>. La selección recurrente para elevar la tasa de plantas euploides (i.e. con equilibrio cromosómico) en las generaciones F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>... del híbrido alopoloide es necesaria para obtener variedades estables adaptadas al estrés. La semilla híbrida comercial se prefiere a las variedades sintéticas siempre que el incremento del rendimiento y otras características compensen el coste adicional de producción de semilla. Se presentan los resultados de híbridos de maíz forrajero relacionados con el híbrido ampliamente cultivado B73 x Mo17 y seleccionados para precocidad. La exploración de nuevas especies tropicales C4, tal como Teff, ayudará probablemente a producir forraje en condiciones de sequía y calor. El uso de la discriminación isotópica <sup>13</sup>C parece ser un buen indicador para mejorar la eficiencia en el uso del agua (EUA) en plantas C3. Las herramientas biotecnológicas, tales como marcadores moleculares, facilitarán alcanzar más pronto los objetivos de mejora genética. Se sugiere que la mejora genética durante el proceso de desarrollo de nuevas variedades en plantas C3 y C4 adaptadas a los ambientes futuros deberá tener en cuenta los estreses bióticos y abióticos generados por el cambio climático. La domesticación de especies silvestres puede ser una alternativa para obtener un nuevo cultivo que cumpla los requisitos del cambio ambiental. Plataformas automatizadas de fenotipado se utilizan para simular ambientes de estrés. La domesticación para desarrollar un cultivo es una tarea difícil; sin embargo el uso de estrategias racionales, incluyendo la mejora genética para conseguir eliminar factores limitantes y fortalecer los rasgos favorables ayudará a lograr los objetivos deseados. El uso de germoplasma autóctono como material base es esencial para proporcionar variabilidad genética y genes adaptados a las condiciones ambientales.

# 1. CLIMATE

## Concentration of CO<sub>2</sub> [CO<sub>2</sub>]

The change of atmospheric conditions is a tangible reality nowadays, characterized by an increase in the [CO<sub>2</sub>] as result of human activity, mainly caused by combustion of fossil fuel and cement emissions, as well as a negative balance of carbon storage in the terrestrial biosphere due to deforestation and breaking up of natural ecosystems. The same occurs in the oceans that have a negative CO<sub>2</sub> dynamic flow (Canadell *et al.*, 2007). The cement production has increased in the last 100 years due to the massive use in the building sectors of developed and developing countries. The cement manufacture contributes about 5 % to the increase of CO<sub>2</sub> in the atmosphere (Worrell *et al.*, 2001). About 65% of this contribution comes from the process of decarbonization of the limestone heated at high temperatures 1400-1500 °C releasing CO<sub>2</sub> and forming CaO; other 25% comes from the energy consumed for heating the furnaces up to those temperatures; and another 10% is due to the processes of extraction and transport of limestone.



**FIGURE 1.** Evolution of carbon dioxide concentration [CO<sub>2</sub>] in the atmosphere (Source: Environment European Agency).

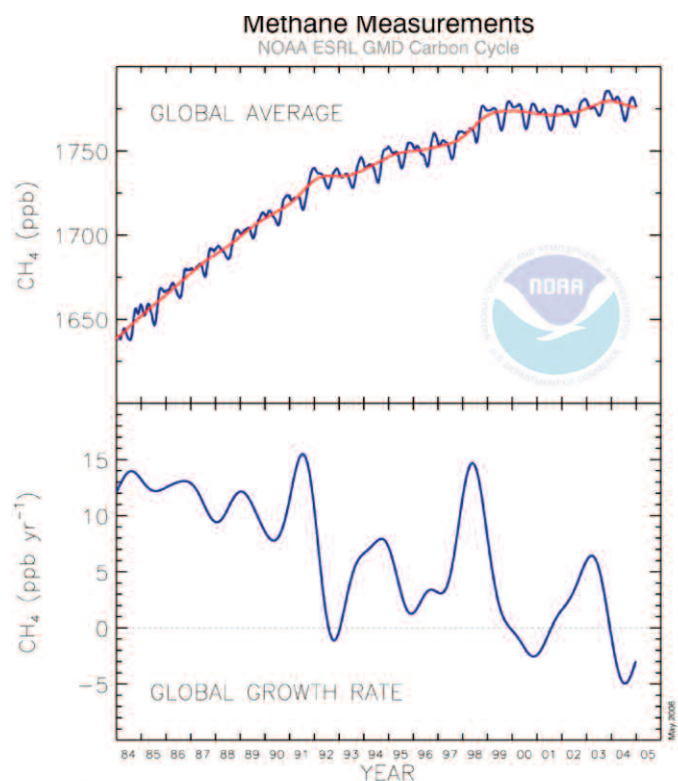
**FIGURA 1.** Evolución de la concentración de dióxido de carbono [CO<sub>2</sub>] en la atmósfera (Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente).

The global CO<sub>2</sub> content in the atmosphere raised from 286 ppm at the beginning of the industrial revolution (around year 1750) up to 388 ppm in 2006 (Canadell *et al.*, 2007), reaching up to 400 ppm in 2015 and 2016 (NOAA, 2016). The [CO<sub>2</sub>] had remained approximately stable with average of 280 ppm during the present interglacial period until year 1750 and at least 10 000 years back. The rate of present increase is not linear and it was accelerated during the last decades. It has been forecasted that the [CO<sub>2</sub>] will reach double the concentration that had before the industrial revolution at the end of this century (Terashima *et al.*, 2014). Figure 1 shows the [CO<sub>2</sub>] evolution since years 1750 to 2010 (European Environment Agency, 2013).

Con la colaboración de:



**METHANE (CH<sub>4</sub>).** Methane is another greenhouse gas with a factor 26 times greater than CO<sub>2</sub> for trapping heat and bouncing it back to the lithosphere. The contribution to the atmosphere is caused by anthropogenic and natural emissions. The anthropogenic causes related to agriculture include mainly ruminant livestock during the processes of digestion and fermentation of cellulose feeds, as well as the CH<sub>4</sub> produced in rice cultivation by artificial flooding irrigation in this crop (Dalsøren *et al.*, 2016). Termites and woodworms, which digest the cellulose of the wood, as well as wetlands and the loss of gas in power generation and mining, also have a remarkable contribution to the emissions of this gas. The atmosphere methane concentration evolved from 1640 ppb in 1984 to 1775 ppb in 2005, according to Figure 2 (NOAA, 2006). The measurement of CH<sub>4</sub> continues increasing and reached 1820 ppb in 2013.

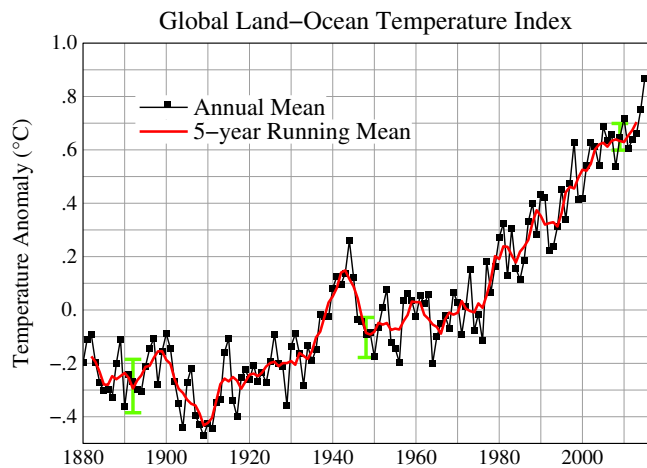


Top: Global average atmospheric methane mixing ratios (blue line) determined using measurements from the GMD cooperative air sampling network. The red line represents the long-term trend. Bottom: Global average growth rate for methane. Contact: Dr. Ed Dlugokencky, NOAA ESRL GMD Carbon Cycle, Boulder, Colorado, (303) 497-6228 (ed.dlugokencky@noaa.gov, <http://www.cmdl.noaa.gov/ccgg>).

**FIGURE 2.** Evolution of methane from 1984 to 2005 [Source: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)].

**FIGURA 2.** Evolución del metano desde 1984 a 2005 (Fuente: NOAA).

**TEMPERATURE.** The increases in the content of gases in the atmosphere, such as CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> and others, have caused a continuous rise in the global temperature until the year 2015, which was 0.6° C higher than the 20th century average, 0.8° C more than the year 1880 and 1° C greater than the year 1910 (NOAA, 2013; Smith *et al.*, 2008). There is also a high variability in the manifestation of the climate from year to year and from one to another area in the world (e.g., El Niño and La Niña effects).



[http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs\\_v3/fig.A2.gif](http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/fig.A2.gif)  
Update of Hansen, *et al.*, 2010.

**FIGURE 3.** Global change in temperature on earth and the ocean (Datasets from the Hadley Centre HadCM3 Climate Model - See more at:

[http://ete.cet.edu/gcc/?/globaltemp\\_teacherpage/#sthash.Nx8M0ixg.dpuf](http://ete.cet.edu/gcc/?/globaltemp_teacherpage/#sthash.Nx8M0ixg.dpuf)

[http://ete.cet.edu/gcc/?/globaltemp\\_teacherpage/](http://ete.cet.edu/gcc/?/globaltemp_teacherpage/)

**FIGURA 3.** Cambio global de temperatura en la tierra y el océano.

## 2. RELATIONSHIP WITH PLANTS

The present models of biochemical pathways in relation to plant physiology predicted an increase in the rate of plant respiration in the dark, even exponentially, when the temperature increases; however modern empirical research concerning 231 species in 7 biomes has found that the respiration of plants converge at high temperatures due to mechanisms that protect them against higher energy expenditure (Heskel *et al.* 2016). There is not difference in the rate of dark respiration between C3 and C4 plants (Bird *et al.* 1992). In a recent study, when the [CO<sub>2</sub>] increased in artificial atmosphere (from 396 to 792 ppm), there was an increase in transcription of genes that encode enzymes of respiration of plants at the end of the light period, but they did not manifested higher activity (Watanabe *et al.*, 2014). There was also an increase in the production of primary metabolites such as starch and sugars, which denotes a greater photosynthetic activity in a large number of C3 plants, although the studies are still not conclusive in all species. The high [CO<sub>2</sub>] does not increase photosynthetic activity in C4 plants but can indirectly increase C fixation during drought periods in these plants (Leakey *et al.*, 2009). These two factors, increase in [CO<sub>2</sub>] and temperature change of environmental conditions, are both directly related to genes that encode enzymes and proteins of plants that in some cases stimulate their regulation and sometimes decelerate them. A high [CO<sub>2</sub>] increases the C/N ratio by which plants show symptoms of stress as if they had N deficit, with a premature aging of leaves (Terashima *et al.*, 2014). However a high [CO<sub>2</sub>] increases the efficiency in the use of the N and decreases the use of water.

Con la colaboración de:



## 3. GENETIC IMPROVEMENT OF PLANTS

The genetic improvement of plants has been successful in modifying the genotypes of plants to achieve more efficient crops for the desired characters under selection, by using appropriate breeding methods. Plant breeding requires genetic variability in the species that are being improved to reach its objectives. The selection methods evaluate the available genotypes and choose the most suitable for the next generation.

The artificial selection carried out by plant breeders is similar, saving distances, times and scales, to what happens in nature according to the theory of the natural evolution of the species, which was exposed by C. Darwin in his book "On the Origin of the Species" in 1859. The existing variation in biological organisms, which is created by random natural mutations of genes and fortuitous crosses, is subjected to the pressure imposed by the different environmental conditions in the various regions of the world. Only those mutants or favorable genotypes that fit the specific conditions in each environment are capable to survive for the next generation, what determines the evolution and differentiation of the species. Fisher (1930) established the fundamental theorem of natural selection which proposes that the rate of adaptation (fitness) of an organism is proportional to their genetic variation. This was shown later by Falconer and Mackay (1981) and other authors when comparing selection methods in which the genetic gain and the response to selection depends on the genetic variance (Moreno-Gonzalez and Cubero, 1993).

## 4. RECURRENT SELECTION

In all selection schemes, it is necessary to start from a plant material with sufficient and sustained variability throughout the process. One of the most efficient methods is the so-called cyclic or recurrent selection since this has provided good results to improve quantitative characters which are governed by many genes with small effects and segregating at different frequencies in many crops. The selection program aims to gradually increase the frequency of favorable alleles that are responsible for the character of selection, cycle after cycle. The general scheme involves three stages per selection cycle: (1) creation of a family structure; (2) evaluation of families in repeated experiments tested in different environments; (3) recombination of genotypes selected in the evaluation trials (Moreno-Gonzalez and Cubero, 1993). After that, a new cycle starts immediately. This scheme was the base for numerous selection programs, which have been accomplished in public research centers and private seed companies and have achieved an unquestionable success in improving the performance of traits subjected to selection in several grass and forage crops, such as *Zea mays* L., *Lolium perenne* L., *L. multiflorum* L., *Festuca arundinacea* Schreb., *Medicago sativa* L., *Lotus* spp, *Poa pratensis* L., *Trifolium repens* L., *Dactylis glomerata* L., *Secale cereale* L., *Avena sativa* L. and *Eragrostis tef* Zucc.

## 5. KEY EXPERIMENTS OF ARTIFICIAL SELECTION

The most spectacular experiment about artificial selection of plants is the one which is being presently carried out in the University of Illinois. It is a long duration experiment in which selection for both directions high contents in oil and protein and low contents in oil and protein is being conducted in the maize grain. It began in the year 1899 from 163 ears from the maize open pollinated variety called 'Burr White'. The 24 highest in protein ears, the 12 lowest in protein ears, the 24 highest in oil ears, and the 12 lowest in oil ears were selected to start the strains known as IHP ("Illinois high protein"), ILP ("Illinois low protein"), IHO ("Illinois high oil"), and ILO ("Illinois low oil"), respectively (Dudley and Lambert, 1992).

This experiment shows the major genetic changes achieved in quantitative traits, such as protein and oil contents in maize grain for more than 100 generations of selection (Dudley and Lambert, 2004; Moose *et al.*, 2004). Responses to the selection changed in both directions from 4.6% of oil in the original population up to 22.4% in IHO, and down to 0.5% in ILO after 100 generations. Also, populations changed from originally 10.9% of protein up to 30.5% in IHP and down to 4.2% in ILP after 100 generations. Really a maize crop which was initially rich in starch became into an oilseed crop and a protein-rich crop.

Other noteworthy experiment with over 50 years of selection is one carried out in the University of Iowa, where two populations of maize are subjected to the Reciprocal Recurrent Selection method to increase the grain yield. After 11 cycles, the direct response to selection in the cross between the two populations showed an increase of 6.9% per cycle, accumulating 76% improve along the selection process (Keeratinijakal and Lamkey, 1993)

## 6. YIELD IMPROVEMENT OF COMMERCIALIZED CULTIVARS IN DIFFERENT CROPS AND DIFFERENT ERAS

Genetic improvement has helped to raise the yield of many crops over the years, changing its morphological and physiological characteristics at the same time. Some examples are as follows:

**CORN.** Maize yield has been continuously increasing since the adoption of corn hybrids in the 1930's to the present day. Approximately 50% of the increase is due to the genetic improvement and the other 50% to the introduction of modern agronomical and farming practices (Duvick, 2005). However genetic gain will have a greater contribution in the future because there are new tools such as molecular markers to aid in the selection. Not only yield is higher, but also the characteristics of the new hybrids have changed, especially those that confer resistance

to a wide range of biotic stresses, (viruses, pests, diseases) and abiotic stress, such as drought (Campos *et al.* 2006) plant density (Tollenaar, 1989) and lodging tolerances. New hybrids also improved morphological characteristics (e.g., number, deep and size of kernels, upright leaves, greater number of leaves above the ear, stable yield) and physiological changes to promote efficiency of growth and better distribution of metabolites in the plant (e.g., smaller tassels) (Duvick, 2005), as well as better use of nitrogen and water (O' Neill *et al.* 2004). However other characteristics have not changed, e. g., harvest index (Tollenaar and Lee, 2006). Inversely to what occurs in wheat, to get more grain yield, more fodder is needed to synthesize grain starch in the maize plant. Anyhow, the new hybrids yield more than their predecessors in both favorable and unfavorable conditions.

**WHEAT.** The yield of wheat also increased through different eras from the 1930s to the 2000s, as well as the indices of quality of wheat flour. This has been due in large part to the introduction of one, two or more of the dwarf or semidwarf genes (*Rht1*, *Rht2*,..., *Rht14*; *Rht* stands for reduction of height), (Gale and Youssefian, 1985; Ellis *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2013). This has enabled the use of most productive cropping practices, such as application of high nitrogen doses, a higher plant density without increase in plant lodging, as well as an augmentation in the harvest index.

An experiment with 48 varieties of wheat belonging to the above mentioned periods was carried out for the evaluation of the quality of the flour in Turkey. The trials confirmed that there was an increase of the flour protein from 11.34 percent in the varieties of the 1933-1964 period to 12.13 percent in those of the 1991-1996 period; also the modern varieties showed a greater lysine content than the old ones (Anjum *et al.*, 2008).

In Italy, the genetic improvement of wheat achieved a reduction of the sensitivity to photoperiod and an increase of earliness in modern varieties compared with the old ones (Motzo and Giunta, 2007). Also in Spain, the bread wheat yield increased from years 1930 to 2000 at a rate of 35 kg/ha/yr (Sánchez-García *et al.* 2013)

In the North of China, the productivity increased significantly due to the genetic improvement of wheat during the last six decades (1950-2009) (Zheng *et al.*, 2015). In the context of the evaluation of the varieties from different eras, experiments were also carried out in artificial facilities that mimicked a temperature 1.1° C above than that found outdoors. The results showed that the genetic improvement of wheat may have had a positive effect on adaptability of wheat to the impact of global warming (Zheng *et al.*, 2015).

**TOMATO.** A recent study has evaluated a wide range of commercial varieties of tomatoes for industrial processing releasing during the last 80 years (Barrios-Masias and Jackson, 2014). Modern varieties have doubled the yield per hectare relative to the old ones. At the same time, certain phenological characteristics (early



© J. Moreno-González

Harvest of trials of forage maize hybrids.

Recolección de ensayos de evaluación de híbridos de maíz forrajero.

flowering and concentrated fruit juice) were associated with morphological characteristics (smaller plant size and lower biomass), as well as with physiological characteristics (higher concentration of N in foliage and a higher rate of photosynthesis) in modern varieties. These results show that the selection of certain characteristics may be relevant for the future improvement of tomato varieties.

## 7. POLYPLOIDY

It has been widely used as a natural or induced event in many forage species.

**LOLIUM.** Two *Lolium* species widely spread in pastures and meadows, such as perennial ryegrass (*L. perenne*) and Italian ryegrass (*L. multiflorum*) often exhibit autotetraploidy. The autotetraploids are originated by simple duplication of chromosomes in the diploid state. Chromosomal duplication may be artificially induced by application of colchicine in coleoptile or radicle of recently germinated seedlings (i.e., meristematic tissues where intensive cell division occurs), using proper protocols, characterized by chemical doses, temperature, time, and *in vitro* culture media. Some characteristics of the autotetraploid varieties of *L. perenne* and *L. multiflorum* are defined because they have larger cells and leaves than the diploid varieties (Sugiyama, 2005).

Sugiyama's data show that the tetraploid leaves have a greater rate of elongation than diploid leaves, however the duration of the elongation process is not longer in tetraploids. Leaves of tetraploid varieties also reach longest aging, since mature cells have a longer life.

It has been also shown that tetraploid varieties have greater competitive capacity and lower tolerance to cold than diploids. The difference of these characters between the two levels of ploidy is greater than between varieties within the same level. During the process of forming autotetraploids in either *L. multiflorum* or *L. perenne*, no significant differences were found for vegetative characters between euploids and aneuploids in the second and third generation, whereas differences were indeed found for reproductive characters such as seeds, which were favorable for the euploids (Klinga, 1986)

**FESCUE.** The vast majority of commercial varieties of Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Schreb. var. *Arundinacea*) growing in Northern Europe and America are alohexaploids ( $2n = 6 \times = 42$ ). Hexaploid means that the basic number of chromosomes, in this case 7, is multiplied by six. The prefix "alo" means that the chromosomes come from at least two different species. In this case the Fescue was originated by crossing two different species. One of them is the diploid Fescue of meadows (*F. pratensis* [Huds.] Darbysh.), which has provided two sets of chromosomes

Con la colaboración de:

designated by PP, while the other species was the tetraploid fescue (*F. arundinacea* var. *Glaucescens* Boiss), which has brought four groups of chromosome designated by G1G1 and G2G2. However the genomic nature of the Mediterranean Fescue, also hexaploid, is different from the Northern Tall Fescue and it has been formed from different diploid and tetraploid species (Oregon State University, 2016).

The *F. arundinacea* Schreb. var. *Arundinacea* has also been called *Lolium arundinaceum* (Schreb.) Darbysh or *Schedonorus arundinaceus* (Schreb.) Dumort (Craven *et al.*, 2009) due to its proximity to the genus *Lolium*. However this change of name has caused much debate among experts and there is not agreement on the subject.

The Tall Fescue is very productive and widely adapted as pasture during cold seasons. It is characterized by having one of the longest periods of growth under cold conditions

**WHITE CLOVER.** Evidence was found recently demonstrating that the white clover (*Trifolium repens* L.) is an allotetraploid ( $2n = 4x = 32$ ) which comes from the crossing between *T. pallenscens* ( $2n = 2x = 16$ ) and *T. occidentale* ( $2n = 2x = 16$ ), (Williams *et al.*, 2012). The *T. occidentale* is predominantly a self-fertile species growing in a habitat restricted to the maritime area near the European coast and “Gulf Stream” influence. In contrast *T. pallenscens* is a clover of Alpine origin, predominantly cross-pollinated, but also self-fertile, with pale pink petals and located preferably in altitudes above 1800 m in Europe. White clover is a stoloniferous plant widely distributed in the grasslands of Europe, Asia and Africa.

Hybridization between *T. pallenscens* as female and *T. occidentale* as male was artificially obtained (Williams *et al.*, 2012). Some of the F1 plants were inter-fertile. Four viable plants were developed from the selection of 200 seedlings obtained in the F1 crossing. One of the plant was the F1 hybrid called 440-1 ( $2n = 16$ ), which incorporated chromosomes of both *T. pallenscens* and *T. occidentale* (Williams *et al.*, 2012) with white flowers. So it is possible to create a wide population of diploid and tetraploid plants originated from that artificial crossing, which incorporates the favorable characteristics of the two *Trifolium* into the white clover genome. This population may be used for selecting new cultivars due to its great variability and plasticity in a future breeding program.

**RED CLOVER.** Red clover (*Trifolium pratense* L.) is an autotetraploide ( $2n = 4x = 48$ ) with induced polyploidy that produces more forage yield than the diploid form, because of the wider leaves due to a larger size of cells especially in the meristematic tissues. They have a longer persistence and higher resistance to the fungus sugar-beet powdery mildew (Jakesova *et al.*, 2011) than the diploids. One problem encountered is that the tetraploid form produces fewer seeds per plant than the diploid. Thus use of commercial tetraploid seed is not economically profitable so far (Vleugles *et al.*, 2015).

## 8. INTERGENERA AND INTERSPECIES HYBRIDIZATION

Hybrids between different species, either from same or different genus, produce in general heterosis, i.e. an offspring which shows higher yield and qualities than the average of the two parents, and in many cases it is superior to the best parent. But above all, it creates a great variability in the population resulting from the crossing, which in turn it allows selecting the best genotypes in each selection cycle and incorporating the favorable characteristics from each one of the parents into the commercial varieties that are being developed.

Hybridization is not always easy. In many cases, it is necessary to perform the emasculation of the female parent and even more complex techniques to overcome the sexual incompatibility barriers that exist between species. It should be studied which parent is the most suitable to use as a female concerning the yield of viable seed. Thus reciprocal crossings need to be evaluated by exchanging the parental male and female. Another problem arising in interspecies hybridization is that the seed from the cross is not always fertile or is only partially fertile due to unbalance in the number of chromosomes (aneuploidy). In these cases, it is possible to use the immature embryo rescue technique by transferring the embryos to *in vitro* culture for their development according to suitable protocols of favorable conditions, such as temperatures, enzymes, chemical components and time. Selection among aneuploid plants from F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>... generations of inter-species hybrids for achieving balanced euploid plants is needed for getting stable commercial hybrids. Some examples of interspecies hybridization are as follows:

**HYBRID OF *L. MULTIFLORUM* × *L. PERENNE*.** The cross between perennial ryegrass (*L. perenne*) × Italian ryegrass (*L. multiflorum*) is an allotetraploid ( $2n = 4x = 28$ ). It can be produced artificially, but it sometimes arises naturally. This hybrid incorporates the permanence of the perennial ryegrass in the field and the fast growth of the Italian ryegrass, in addition to the heterosis vigor. It is a fast growing species, which combines semi-prostrated and erect stems providing versatility for consumption in grazing and cutting.

A study of chromosome association comparing the allotetraploide hybrid (*L. perenne* × *L. multiflorum*) with the autotetraploide of perennial ryegrass (*L. perenne*,  $2n = 4x$ ) showed that the average ratio between the number of tetravalent matings / number of bivalent matings was 0.18 for the allotetraploid hybrid while it was 0.49 for the autotetraploide (Deniz and Dogru, 2008). This indicates that the allotetraploid hybrid population must be further selected for increasing the number of tetravalents through successive generations to reach a stable hybrid population where individual plants can produce viable seeds. The stable hybrid population will become a potential breeding material useful for the development of new hybrid cultivars.

**HYBRID OF *L. MULTIFLORUM* × *L. TEMULENTUM*.** The cross between a variety of *L. multiflorum* and another of *L. temulentum* originated self-fertile F1 plants capable of producing F2 seeds with about a 57% germination rate when temperature conditions were adequate (Kiyoshi *et al.*, 2012). This indicates the possibility of producing recombinant lines between the genomes *L. temulentum* and *L. multiflorum* and selecting among them the most suitable genotypes.

**FESTULOLIUM** is called the cross between a *Festuca* spp. and a *Lolium* spp. Many possible combinations between these two genera were found. In general, two species of fescue, *F. arundinacea* and *F. pratensis* may cross each one by two raygrasses, *L. perenne* and *L. multiflorum* giving rise to four Festulolium. The proximity of *Festuca arundinacea* to the genus *Lolium* is so great that the first species has been recently named *Lolium arundinaceum* although later evidence was found for not accepting this change of name. The four Festulolium hybrids are as follows:

Maternal Progenitor	Paternal Progenitor	Progeny of Hybrid
<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Festulolium pabulare</i>
<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Lolium perenne</i>	<i>Festulolium holmbergii</i>
<i>Festuca pratensis</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Festulolium braunii</i>
<i>Festuca pratensis</i>	<i>Lolium perenne</i>	<i>Festulolium loliaceum</i>

The two last Festulolium are allotetraploids of chromosomal constitution ( $2n = 4x = 28$ ) according to the following nomenclature:

*Festuca pratensis* ( $2n = 2x = 14$ ) × *L. multiflorum* ( $2n = 2x = 14$ ) = *Festulolium braunii* ( $2n = 4x = 28$ )

*Festuca pratensis* ( $2n = 2x = 14$ ) × *Lolium perenne* ( $2n = 2x = 14$ ) = *Festulolium loliaceum* ( $2n = 4x = 28$ )

The Festulolium which is close to the fescue type can be characterized by: plant vigor similar to Fescue; spring growth earlier than Fescue; high performance; high-quality forage similar to rye-grass; tendency to bloom only in the 1st cut; high persistence; growth upwards; tolerance to drought and floods; resistance to winter cold. Other species of Festulolium have been named according to the following nomenclature (Hopkins *et al.*, 2009) (table 1).

**TABLE 1.** Nomenclature of hybrid species of Festulolium (Hopkins *et al.*, 2009).

**TABLA 1.** Nomenclatura de especies híbridas de Festulolium (Hopkins *et al.*, 2009).

Parental femenino	Parental masculino	Especie híbrida
<i>F. arundinacea</i>	<i>L. multiflorum</i>	<i>Festulolium pabulare</i>
<i>F. arundinacea</i>	<i>L. perenne</i>	<i>Festulolium holmbergii</i>
<i>F. gigantea</i>	<i>L. perenne</i>	<i>Festulolium brinkmannii</i>
<i>F. gigantea</i>	<i>L. multiflorum</i>	<i>Festulolium nilssonii</i>
<i>F. pratensis</i>	<i>L. multiflorum</i>	<i>Festulolium braunii</i>
<i>F. pratensis</i>	<i>L. perenne</i>	<i>Festulolium loliaceum</i>
<i>F. pratensis</i>	<i>L. perenne</i>	<i>Festulolium elongata</i>
<i>F. pratensis</i>	<i>L. perenne</i>	<i>Festulolium loliacea</i>
<i>F. rubra</i>	<i>L. perenne</i>	<i>Festulolium frederici</i>

Con la colaboración de:



© Julio López Díaz

Seed multiplication field of Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam. cv. Pomba) registered by CIAM

Campo de multiplicación de semillas de Raigrás Italiano (*Lolium multiflorum* Lam. cv. Pomba) registrado por el CIAM.

Many varieties of Festulolium have been already registered in the national list of varieties in different countries of Europe (Ghesquiere *et al.*, 2010)

**BLUEGRASS HYBRIDS (BGH)** were developed by crossing two species, Texas bluegrass (TBG) (*Poa arachnifera* Torr.) × Kentucky bluegrass (KBG) (*Poa pratensis* L.). Studies of comparisons of BGH cultivars with KBG cultivars suggested that the BGH exhibited improvement in drought stress, heat tolerance and resistance to the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), relative to KBG (Merewitz, 2011; Reinert and Read, 2008). The maintenance of higher rates of transpiration and photosynthesis, water use efficiency (WUE) and increased root viability was associated with the improvement in heat tolerance of the BGH cultivars (Abraham *et al.*, 2008). In another study, BGH cultivars revealed significantly ( $P < 0.05$ ) higher turf color indices and lower water-use in comparison with Tall Fescue cultivars (Githinji *et al.*, 2009). Likewise, intra-specific hybrids of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) are also developed from the cross of two elite bluegrass cultivars. After evaluation of seed-propagated plants that are harvested from single-clone apomictic genotypes in the F<sub>1</sub> generation, the best intra-specific hybrids are selected and registered as new cultivars for commercialization. Some of them are claimed to show tolerance to low mowing heights and resistance to some important turf diseases (Brede, 2011).

## 9. SYNTHETIC VARIETIES

The most efficient way of exploiting heterosis in cross-pollinated plants is through the development of hybrids. However, hybrid seeds are only used commercially if they are easy to produce and if the advantages offered by the best performance of hybrids will compensate the high expenses incurred

1	9	5	10	4	8	2	6	3	5
2	10	6	5	1	3	7	8	9	4
3	8	7	6	7	9	5	10	1	2
4	2	10	1	8	5	6	3	10	7
5	3	8	9	6	3	4	1	2	9
6	1	9	4	10	7	3	2	7	8
7	4	1	2	3	10	9	5	8	6
8	5	3	4	2	6	1	7	9	10
9	7	4	8	5	1	10	6	4	3
10	6	2	7	9	2	8	4	5	1

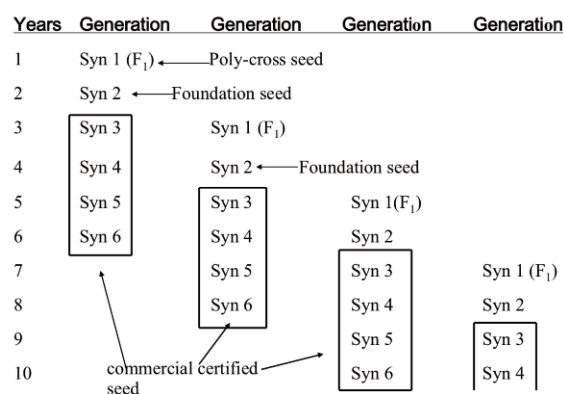
**FIGURE 4.** Scheme of polycrosses between selected clones (generation Syn0) for harvesting seed of the generation F1 of a synthetic variety (Syn 1).

**FIGURA 4.** Esquema de policruzamientos (generación Syn 0) entre clones seleccionados para cosechar semilla de la primera generación F1 de una variedad sintética (Syn 1).

as a result of hybrid seed production. In other cases, the development of synthetic varieties (SV) is the best option. The breeding procedure for development of SV consists in making crosses among elite plant clones according to a partial diallel design, following by evaluation of their progenies in replicated trials in various environments and years and selecting the clones that have shown better general combining ability (GCA). Once the best clones are selected, they should be laid out according to a scheme of poly-cross (similar to a *sudoku*) called generation Syn 0, in such a way that each clone receives pollen from the others. The harvested seed constitutes the first generation Syn 1 of the SV (Figure 4).

The Syn 1 is an F<sub>1</sub> generation mixture of seed harvested in each clone. According to genetic theory the F<sub>1</sub> performance is generally superior to the F<sub>2</sub> and successive generations. The Syn 2 is obtained from Syn 1 by open-pollination of bees and wind and it is called foundation seed; its performance is equivalent to an F<sub>2</sub> generation and remains stable for the remaining generations. Seed companies receive the foundation seed from breeders and multiply it by open-pollination for three or four further generations to increase the amount of commercial seed of the synthetic varieties during different generations, which are called Syn 3, Syn 4, Syn 5, and Syn 6 (Figure 5). All these generations Syn 2 to Syn 6 are equivalent to and F<sub>2</sub> and are certified seeds to be used by farmers. After the 6th generation, it is considered that the seed may have lost its purity and it is necessary to go back to reconstitute the Syn 1 with the original clones that remain in the poly-cross field of breeders, and the process continues. The commercial SV are used mostly for cross-pollinated grasses and forage species

**ALFALFA.** Evolution of alfalfa yield in the field along years shows discrepancies according to the different authors consulted. Comparison of trials of alfalfa varieties released in different “Eras” shows that there was genetic gain for yield between Era 1 (1898-1900) and Era 2 (1940-1950), but not between Era 2



**FIGURE 5.** Multiplication of F<sub>1</sub>, foundation seed and certified seed of synthetic varieties along different years and generations.

**FIGURA 5.** Multiplicación de F<sub>1</sub>, semilla base y semilla certificada de variedades sintéticas durante varios años y generaciones.

and Era 3 (1975-1980), resulting in a stagnation from 1955 until 1975, although varieties of Era 3 were most enduring in the field than those of Era 2 and these in turn were even more than those of Era 1 (Holland and Bingham, 1994). In other studies of trials in different universities of USA, there was no evidence to conclude that performance had changed over the decades prior to 1977 (Wiersma *et al.*, 1977). According to crop annual statistics from the USDA no increase in alfalfa yield was noted in farmer fields from 1919 until 1955, although there was increased in the period from 1955 until mid- to -late 70s. After this date there has been stagnation. However, a study conducted by Loiselle (1992) indicates an increase in yield of 1% between 1975 and 1992. Several studies reported on the contribution of breeding to alfalfa yield with a genetic yield gains of 0.15-0.3% per year since the late 1950s up to mid 1980s and early 1990s (Hill *et al.*, 1988; Holland and Bingham, 1994).

In general, most of the studies conclude that the genetic gain in alfalfa varieties through different eras was low until 1990.

### 10. INTRA-SPECIFIC HYBRIDS

**MAIZE.** The increase in size and vigor of hybrids between varieties and races of different origin has been known for several centuries and the old breeders had used it empirically to develop new cultivars. The first hybrids were described by Shull (1908), which marks the beginning of the exploitation of heterosis in maize. Since then, and mainly after 1930, the surface of maize sown with hybrid seed have augmented first in USA and then in Europe and around the world (Hallauer *et al.* 1988). Maize yield also continues increasing and today the challenge of seed companies is to develop new corn hybrids that provide greater performance than those released in the previous years. Additionally, new hybrids continue to be more resistant to pests, diseases and abiotic stress than old ones. The superior performance of newer hybrids at high density reveals a better tolerance to stress in these hybrids (Chen *et al.* 2016).



The varieties of maize crop can be adapted to environmental conditions different from those where they were originally grown by using proper breeding methods. This is the key of success why high-yielding maize varieties have spread all over the world in relative short time. One example is the elite maize Hybrid B73 × Mo17 developed by Iowa State University, USA, in the 1970s. Hybrids related to B73 × Mo17 were sown worldwide and are still being cultivated in large part of the world today. Variability in the maize genome, which is conserved in germoplasm banks, is very large for many traits, including those related to adaptability, such as growing degree units (GDU) up to flowering (Rincen *et al.* 2014), GDU up to harvesting, cold tolerance (Revilla *et al.*, 2014, 2016), drought tolerance and resistance to diseases and pests. This variability for several traits may be incorporated into lines B73 and Mo17 to obtain lines related to B73 and Mo17, which still continue showing heterosis. Adaptation of B73 and Mo17 to shorter season environments has been carried out in the Center of Agriculture Research at Mabegondo (CIAM), A Coruña, Spain. More than 120 lines were developed from backcrosses and crosses of B73 to early germplasm material. All 120 lines were crossed to the tester EC560, which is related to Mo17, and compared to the reference Hybrid B73 × Mo17, in addition to three commercial checks, and the cross of line B73 to tester EC560 in replicated trials in three environments. The results of hybrids of the top-20 selected lines crossed by a tester concerning biomass dry matter and growing degree units (GDU), which is the sum of average daily temperature above 6 °C threshold and expressed in °C d, from planting up to female flowering are presented in Table 2. All crosses were earlier than the reference hybrid B73 × Mo17 as indicated by lower GDU for females flowering. In addition some of the crosses yielded equal or higher than the reference hybrid. Trying to look for early hybrids, the EC611 × tester EC560 seems interesting because it was 120 GDU less, approximately 9 days earlier at female flowering time, it also had 8% more dry matter at harvest (DMH), lodged 2% less, and only yielded 2 t/ha less than the B73 × Mo17 reference hybrid (data not shown for DMH and lodging).

The example of corn has moved to the development of hybrids in other cross-fertilized crops, such as sunflower, sugar beet, cabbage, *Brassica rapa* (Chinese cabbage), rapeseed, rye, and in some fertilized crops, such as tomato, wheat etc, in addition to pasture cops. Hybrids are generally higher yielding than varieties.

**PASTURE LEGUME CROPS.** The development of semi-hybrids and hybrids has been also proposed in clovers and alfalfa.

**CLOVERS.** An example is the development of the semi-hybrids which has been proposed in red clover. The method is to restrict the self-incompatibility by using three self-incompatible alleles in the population “A”, such as S1, S2 and S3. This population is pollinated by bees with pollen from another population “B” that shows heterosis with A and has a S0 allele cross-compatible with the previous ones in order to form the hybrid A × B. All plants with

**TABLE 2.** Best linear unbiased estimate (BLUE) means of hybrids of the top-20 selected inbred lines developed from material involving B73, and crossed to tester EC560 related to Mo17 over three environments for forage dry matter (DM) yield and growing degree units (GDU) up to female flowering.

**TABLA 2.** Medias BLUE de híbridos de las 20 mejores líneas dentadas seleccionadas a partir de material relacionado con B73 y cruzadas por el tester “EC560” relacionado con Mo17, evaluados en tres ambientes para el rendimiento de materia seca del forraje y los grados-días hasta la floración femenina.

Pedigree of lines ‡	Inbred lines	Forage DM Yield (t/ha)	Female GDU (° C d)
EC136_B73(2)-1-1	EC612A, B	23.31	933.83
EC134_B73(2)-5-1	EC619A, B	23.40	986.88
EC133A_B73-7-1-1	EC605	22.40	933.12
EC135(2)_B73-3-2	EC622A	21.94	954.46
<b>B73 × Mo17 †</b>	Reference1	22.04	1010.84
EC134_B73(2)-7-1	EC620, EC621A-D	21.41	953.26
EC135_B73(2)-6-1	EC625	21.07	978.34
EC136_B73-9-1-1	EC611	20.05	891.73
EC133A_B73-4-1-2	EC604	21.16	940.09
<b>B73 × EC560 †</b>	Reference2	21.16	1028.30
EC134_B73(2)-3-1	EC627	20.98	989.93
EC134_B73-2-1-1	EC618	20.54	947.58
EC136_B73-4-1-2	EC628	20.27	915.13
EC135_B73(2)-2-1	EC629	20.15	968.20
EC134_B73(2)-6-1	EC630	20.63	995.07
EC133A_B73(2)-1-3	EC606	20.26	972.01
EC136(2)_B73-4-1	EC609A, B	19.38	906.22
EC136_B73-1-1-2	EC610A, B	19.10	920.30
<b>Experimental Hybrid</b>		19.79	935.91
EC135_B73-8-1-1	EC624	19.71	961.03
<b>DKC4117 (check1)</b>	Commercial1	18.87	877.98
EC133A(2)_B73-1-1	EC601	18.97	955.09
EC133A_B73-8-1-1	EC632	18.48	939.58
EC133A(2)_B73-3-3	EC602	18.86	956.33
<b>LG3303 (check 2)</b>	Commercial2	16.41	845.43
<b>ELDORA (check 3)</b>	Commercial3	16.79	1021.35
Standard error		1.13	25.20

† Reference hybrids B73 × Mo17 and B73 × EC560;

‡ All lines were crossed to tester EC560 related to Mo17, except commercial checks

sporophyte of genetic constitution S1S2, S1S3 and S2S3 from population “A” can receive pollen carrying the allele S0 from the “B” population or any other allele that is not part of the sporophyte, in this case S3, S2 and S1 allele, respectively. This gives rise to semi-hybrids (Friday & Krohn, 2010).

**ALFALFA.** The great jump for developing hybrid varieties of alfalfa was the finding of a male-sterile cytoplasm (MSC) (Pedersen and Stucker, 1969; Brown and Bingham 1984). An *Rf* gene that restores fertility in the MSC was also found, what allows developing MSC lines. A patent exists on this subject for hybrid seed production. The female parental line, say A(MSC, *rfrf*) has male-sterile cytoplasm and *rfrf* genes, which do not restore fertility. The maintainer line, say A(N, *rfrf*) is used as male to multiply the line A(MSC, *rfrf*). The male maintainer has normal cytoplasm (N); thus, it is fertile and has the same genotype as A(MSC, *rfrf*) for the great majority of all remaining genes. The cross A(MSC, *rfrf*) × A(N, *rfrf*) will be able to produce enough seed of A(MSC, *rfrf*) to be used as female parental in the hybrid production field.

© Julio E. López Díaz



Seed multiplication field of Red Clover (*Trifolium pratense* L. cv. Maragato) registered by INIA-CIAM.

Campo de multiplicación de semillas de Trébol violeta (*Trifolium pratense* L. cv. Maragato) registrado por el INIA-CIAM.

Another line, say B(N, *rfrf*) that shows heterosis with A should be found. Simultaneously, the restorer *RfRf* genes of fertility are introduced in B by recurrent backcrosses of B(N, *rfrf*) to a donor line carrying restorer genes, say Y(N, *RfRf*). This produces the male line B(N, *RfRf*) with normal cytoplasm. The cross A(MSC, *rfrf*) × B(N, *RfRf*) produces the hybrid [A × B](MSC, *RfRf*) which is fertile. The hybrid seed production is sketched in Figure 6.

The process of obtaining all required lines, which are involved in hybrid production, is laborious. Line A(MSC, *rfrf*) is previously developed by repeated backcrossing of A(N, *rfrf*) to a source line having MS cytoplasm, say X(MSC, *rfrf*). Simultaneously, line B(N, *RfRf*) is created by the same method. In addition lines A(N, *rfrf*), B(N, *rfrf*) should be also conserved. (Figure 6)

One of the first commercial hybrid alfalfa variety was tested in 25 trials together with other commercial and experimental no-hybrid varieties through six US Central States during years 1998 to 2001 (Wiersma, 2001). Consistently, the hybrid alfalfa ranked in the top 10% of each test environment; meanwhile the next most consistent no-hybrid variety only had four appearances in this category. This gives an idea of the stability of the hybrid variety though environments (Wiersma, 2001).

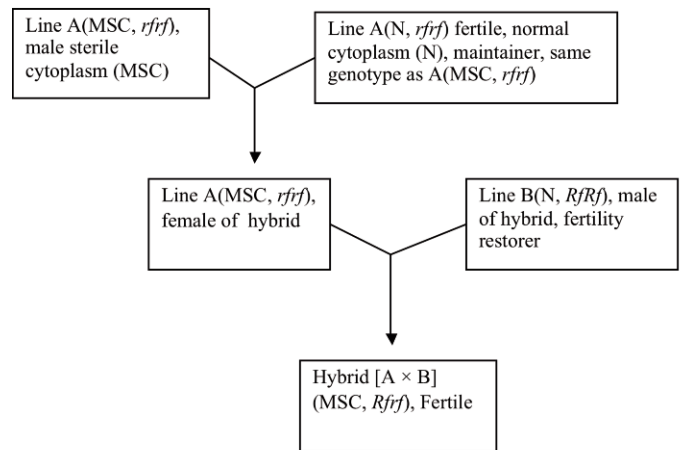


FIGURE 6. Scheme for the production of an alfalfa hybrid.

FIGURA 6. Esquema de producción de un híbrido de alfalfa.

### 11. MOLECULAR MARKERS

A large influx of scientific data has been accumulated over the past thirty years, demonstrating the utility of molecular markers (isoenzymes, RAPDS, RFLPs, SSRs, AFLPs, and SNPs) to examine and map the identity of the genotypes of different varieties of corn and other crops (Senior et al., 1998). Molecular markers have also confirmed its utility to aid in the selection and the development of new varieties, what is called

Con la colaboración de:



marker-assisted selection (Ribaut and Hoisington, 1998; Moreno-Gonzalez, 1999; Chang *et al.*, 2016). High density markers, specially SNPs, along the genome allows to determine the placement of genes and the position of QTLs associated to traits of interest (Rincent *et al.*, 2014).

In addition markers have been proposed to establish genetic variability and distances among populations of both alfalfa and clover from different regions of the world with the purpose of searching for heterosis in improvement programs, what may be used for creating hybrids and semi-hybrids (Nagl, 2011). As the genetic distance is higher, it would be expected greater heterosis.

## 12. C4 PLANTS

C4 plants are named so because the first product of carbon fixation in photosynthesis is a molecule of four carbons, the oxaloacetic acid (OAA), followed by the formation of a four-carbon organic compound, malate (M). Biochemical pathway reactions that occur in the mesophyll and bundle sheath cells of C4 plants were first described by Slack and Hatch (1967). More detailed C4 pathways were later studied (Gutierrez *et al.* 1974). In addition, Sage (2003) studied the evolution of plants and first appearance of the C4 pathway. He estimated that the earliest C4 photosynthesis plants arose in grasses, probably 24–35 million years ago. The earliest C4 dicots are likely members of the Chenopodiaceae dating back 15–21 million years; however, most C4 dicot families are estimated to have appeared relatively recently, perhaps less than 5 million years ago (Sage, 2003).

In contrast, the C3 plants originate as the first product of photosynthesis, a three carbon compound, the phosphoglycerate.

The C4 plants are more efficient than the C3 in the fixation of CO<sub>2</sub>, especially in conditions of drought and heat, since they use the CO<sub>2</sub> from photorespiration, even when the stomata are closed because of drought and hot. In order to not miss the CO<sub>2</sub> produced in the photorespiration and to encourage the binding of this molecule to the Rubisco enzyme, the C4 plants have modified the anatomy of their plant tissue cells. Vascular bundles (phloem) of leaves are surrounded by two layers of cells. The inner cells have chloroplasts where photosynthesis occurs, while the outer cells have low conductance to the diffusion of CO<sub>2</sub> due to a suberization of their cell walls, thus preventing the exit of the CO<sub>2</sub> of photorespiration.

The C4 plants also use the N more efficiently. Only 3.2% of the total number of species in nature, about 8100, are C4 (Sage, 2017). However, the C4/C3 distribution predicts the global coverage of C4 vegetation to be 18.8 million km<sup>2</sup> (17.7 % of total), while C3 vegetation covers 87.4 million km<sup>2</sup> (82.3 % of total) (Still *et al.*, 2003). These authors estimated that the gross primary production (GPP) of C4 plants is 35.3 Pg

C/ year, about 23.5 % of total GPP, while that of C3 plants is 114.7 Pg C/year, about 76.5 % of total GPP (Still *et al.*, 2003). With different simulation model, Ito (2003) estimated that 20.3% of total leaf mass was attributable to C4 plants, besides that 8.7% of soil organic matter is due to C4-derived carbohydrates. Accordingly, C4 plants may play a quantitatively important role in the global carbon cycle.

The C4 crops include maize (*Zea mays*), sorghum (*Sorghum bicolor*), sugarcane (*Sacharum officinalis*), millet (several species), Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) used as turf grass in hot environments, switchgrass (*Panicum virgatum*) which has been utilized as a source of biofuel, purple nutsedge (*Cyperus rotundus*), johnsongrass (*Sorghum halepense*) in addition to some amarantaceae and chenopodiaceae. A C4 crop that has attracted attention in recent years is “Teff” (*Eragrostis teff*) from Ethiopia that has been recently spread over arid areas of the world and has also been tested in Spain and may be used for grain and forage production. The teff yield response to irrigation has been simulated in semi-arid environments by using the FAO “AquaCrop” model, calibrated with data from the North of Ethiopia (Araya *et al.*, 2010). The model revealed that the water use efficiency (WUE) for teff grain increased when a supplemental irrigation from 0 to 95 mm was applied after flowering; however the WUE for teff biomass decreased when the same irrigation was applied (Araya *et al.*, 2010). Thus, the biomass crop is more resistance to drought than the grain crop. It is suggested that other C4 plants like Teff, including semi-domesticated forage species, should be explored to find tolerance to drought.

Another interesting area of research would be to explore the possibility of converting a plant C3 to C4, likely using genetic engineering tools; however achieving this goal is not an easy task since it implies changing many genes responsible for the anatomy of plant tissues, as well as for the biochemical pathways of photosynthesis. There is a research proposal in rice that tries to discover the genes responsible for the C4 biochemical processes and the anatomy of arrangement of cells in leaf tissues (Zhu *et al.*, 2010; Glover, 2014). The crossing of a C4 by a C3 plant that would be capable of producing viable seed would open routes to this research.

## 13. C3 PLANTS

### Discrimination of the <sup>13</sup>C isotope in C3 plants under drought. Water use efficiency (WUE)

One of the challenges necessary to be answered will be modeling the adaptation of plants to the undeniable increase in temperature. Higher temperatures will cause more evapotranspiration in plants to maintain the thermal equilibrium necessary for preserving efficiently biochemical reactions in



© Julio López Díaz

Seed multiplication of Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) in a winter house isolated small chamber. Entry from the germplasm bank of CIAM.

Multiplicación de semilla de Festuca Alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) en cámara pequeña aislada de invernadero. Entrada del banco de germoplasma del CIAM.

leaves, and therefore a greater expenditure of water will be necessary. Leaf temperature was negatively correlated with transpiration because of stomata close, air vapor pressure deficit (VPD), and soil water (Pallas *et al.*, 1967). This is undoubtedly an imminent scenario to which crops will have to adapt. Thus, it seems imperative to select plants for greater WUE.

Superior C3 plants which possess the conventional biochemical route of assimilation of carbon have a ratio (R) of isotopes  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  between 20 and 38 ‰ lower in the plant tissues than in the outside atmosphere, whereas in plants C4 which use the route of the dicarboxylic acid, the ratio R is between 10 and 20 ‰ lower in the plant tissues than in the atmosphere, with wide variation in measurements from some authors to others (Bender, 1968; Bender, 1971; Farquhar *et al.*, 1982). The isotope discrimination of  $^{13}\text{C}$  ( $\Delta^{13}\text{C}$ ) is defined as a simple mathematical formula between the R of any product after the carboxylation in the plant ( $R_{\text{product}}$ ) and the R in the atmospheric air ( $R_{\text{air}}$ ) (Farquhar *et al.* 1982), according to the following equation:

$$\Delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = 1000 \times (1 - R_{\text{product}} / R_{\text{air}})$$

The  $\Delta^{13}\text{C}$  is mainly due to lower reactivity of the  $^{13}\text{C}$  isotope for the carboxylase enzyme, ribulose-1, 5-bisphosphate (RuP2) compared to the  $^{12}\text{C}$  isotope. Another reason for discrimination is due to higher resistance to the diffusion of the  $^{13}\text{C}$  with respect to the  $^{12}\text{C}$  when  $\text{CO}_2$  enters the plant through the stomata opening (Farquhar *et al.*, 1982).

Regardless of the mechanism operating in the assimilation of carbon, a canopy that uses more water than another will have more open stomata causing a drop in leaf temperature and a lower discrimination of  $^{13}\text{C}$  ( $\Delta^{13}\text{C}$ ) in the plant. Therefore the parameter  $\Delta^{13}\text{C}$  seems relevant to select in hot environments under irrigation (Araus *et al.*, 2002). On the other hand, when additional water is not available for cultivation, WUE seems to be an alternative strategy to improve the performance of the crop. In this context the parameter  $\Delta^{13}\text{C}$  is a simple but reliable measure of the WUE. In contrast to the wheat varieties that yield more grain due to higher access to water, the wheat varieties that produce more biomass in relation to a better WUE will have a less  $\Delta^{13}\text{C}$ . The WUE can be modified not only by a decrease in the conductance of the stomata, but

Con la colaboración de:

also by an increase in the photosynthetic capacity of the plants (Araus *et al.*, 2002). In the case of rice under water stress conditions, the  $\Delta^{13}\text{C}$  of leaves and straw were positively correlated with both grain yielding and WUE genotypes (Akhter *et al.*, 2010).

## 14. FUTURE ORIENTATION OF THE GENETIC IMPROVEMENT FOR MITIGATING THE CLIMATIC CHANGE

**Climate.** The climatic change causing a rise in temperature and an increase in the concentration of  $\text{CO}_2$  in the atmosphere, according to current data, is expected to increase climate variations among different years and different regions (Rosenberg *et al.* 2003). This may cause an increase in the occurrence of abiotic stress such as heat, drought and flooding, which in turn may trigger phenomena of more rain, fluctuating with phenomena of more drought. The associated effects of climate and higher concentrations of  $\text{CO}_2$  include impacts on the water use efficiency (WUE) in both non-irrigated and irrigated land crops, as well as on bio-safety production and quality of products, in addition to impacts on introduced and endemic pests and diseases (Chapman *et al.*, 2012). However, there is uncertainty about the direction and magnitude of changes in the regime of flooding and drought in different parts of the world according to the climate model scenarios. For example, in a scenario with a plausible global warming increase in  $1.9^\circ\text{C}$ , about 1/6 of world human population would be exposed to higher water stress around 1/15 would be threatened with increased river flooding, and 1/5 of world people would be flooded by coastal floods each year (Arnell *et al.* 2016). Under the same scenario, crop productivity would fall in most regions, and home energy demands would be reduced in most areas because lesser heating demands would largely offset the higher cooling demands.

In other study, the analysis of projections of future floods and droughts in Europe and Spain using climate and hydrological simulation models showed that the impact of  $+2^\circ\text{C}$  global warming will be most extreme for France, Spain, Portugal, Ireland, Greece and Albania (Roudier *et al.* 2016). These results were particularly robust in southern France and northern Spain

**CROP ADAPTATION AND BREEDING.** The adaptation of crops to the climatic changes should be faced from several points of view (Chapman *et al.*, 2012). In the short term, the adaptation includes changes in crop management, farm structure and product transformation chain. Sustainable techniques concerning machinery, soil tillage, efficient water management, and rational use of fertilizers and phytochemicals should be adopted for obtaining competitive products and higher added value for farmers and consumers.

In the long run, plant breeding should be the best choice for developing new varieties with tolerance to the weather challenges. The analysis of abiotic stress in all its facets is important

to describe the environments in which new genotypes should be selected. High-throughput phenotyping platforms are now being used to capture and analyze multi-data for bridging the gap between phenotyping and genotyping, and for mimicking the growth plant at different scales and environments, including stress environments. A set of articles on the current state of art in plant phenotyping was published in the special issue of the journal *Functional Plant Biology*, 2017, 44 (Hawkesford and Lorence, 2017). Automated robotic field phenotyping platforms have been installed in some research centers, like the one existing in Rothamsted Research, Harpenden, Herts, UK (Viret *et al.*, 2017).

The future environments will be conditioned by higher temperature, higher  $\text{CO}_2$  concentrations, and drought and flooding episodes (Arnell *et al.* 2016; Roudier *et al.* 2016). The increase in temperature will cause greater evapotranspiration from the plant canopy, as well as greater evaporation from the oceans, seas and lakes. This will affect to an increased movement of air jet streams in the atmosphere through a higher imbalance between low and high pressure areas, as well as in the ocean streams, (example of El Niño and La Niña). In relation to the biotic stresses, it will be necessary to avoid catastrophic situations due to a higher incidence of pests, virus and diseases. Much more research needs to be done to prepare for an era of increasingly severe virus epidemics and increasing difficulties in controlling them, so as to mitigate their detrimental effects on future global food security and plant biodiversity (Jones, 2016).

Assessment of the genetic variability available in the cultivated species, as well as its characterization is essential for incorporating selectively the useful genotypes into the breeding material. The recurrent selection is the best option to achieve the demanded varieties, through evaluation of genotypes and recombination of the selected individuals, cycle after cycle of selection. After several cycles of selection presumably, it will be obtained varieties adapted to the environment defined by the future production systems and the weather conditions.

Plant breeding technologies based on biotechnology, such as genetic modification and marker-assisted selection are essential to accelerate genetic gain, but the application requires additional investment in understanding genetic and phenotypic characterization of complex traits adapted to the new climatic conditions (Chapman *et al.*, 2012).

**EFFECTS OF TEMPERATURE, WATER AND  $\text{CO}_2$ .** The direct effect of temperature on plants will affect the cycles of the phenological stages of C3 and C4 plants, which are manifested by the seed germination, the growth period, the flowering time and the ripening or harvesting season. Water consumption will increase in C3 plants, but also moderately in C4 plants.

The highest concentration of  $\text{CO}_2$  will produce favorable effects, although relatively small, on the photosynthetic activity of C3 plants as well as very small effects on the C4 plants although only limited for drought conditions. The stimulation of yield by

elevated CO<sub>2</sub> in crop species is much smaller than expected (Leakey *et al.* 2009). The extensive literature on the impacts of climate change demonstrates both the positive and negative effects of rising CO<sub>2</sub> on photosynthesis in C3 and C4 plants (Reddy *et al.* 2010). The interaction of increasing CO<sub>2</sub> with other environmental factors, such as water availability, temperature and mineral nutrition should be better studied for understanding the responsiveness of plants to elevated CO<sub>2</sub> atmosphere.

**DOMESTICATION OF CANDIDATE WILD SPECIES.** Domestication of wild species may be another alternative for facing the environmental change. There has been also much effort trying to domesticate wild species with unequal success in achieving new crops for specific environments. For example, the development of perennial grain crops would be interesting from two points of view high biomass production and sustainable production on marginal land. Breeding programs aimed at domesticating wild species have been frequently disappointing. However, a growing body of evidence is demonstrating that the breeding of perennial grains is both necessary and feasible; even when the process may last several decades and must overcome or circumvent genetic complications (Cox *et al.* 2006).

A new approach is proposed suggesting rational steps to attain the domestication goals of grain plants (DeHaan *et al.* 2016) and by extension to other crops, such as horticultural, ornamental and pasture. DeHaan *et al.* (2016) discuss in their article the procedures to get domestication in an efficient way regarding research investment of economical resources, time for getting the objectives as short as possible, and added value of the domesticated crop products.

The plant domestication efforts should be carried out to meet a particular need or solve a problem in consecutive phases. It is important to define the agricultural context for which plants will be growing; e.g. temperature, rainfall distribution and amount, as well as salinity conditions of future environments. Then, various species should be evaluated to eventually develop at least one new crop that meets the requirements. The first screening process is based on consulting attributes from herbarium, monographs, bibliography, as well as talking to experts, farmers, and consumers, but this has to be completed with breeding selection programs under field conditions to evaluate the relative potential of plant candidates. Later on, research on breeding for quantitative traits should be carried out in order to get rid of the limiting factors associated with the wild plant which are preventing to become a useful crop, as well as to strengthen the special and favorable traits of the future domesticated crop (DeHaan *et al.* 2016). For example, the hardseededness of the wild peas (*Pisum elatius*, *P. humile* and *P. fulvum*) from the Near East is a limiting factor, which produces low germination rates and poor crop establishment resulting in net yield loss (Abbo *et al.* 2011). By the contrary in tetraploid wheat (including the wild spe-

cies *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccoides*), both non-brittle spike and free-threshing are favorable labor-saving traits that increase the efficiency of post-harvest processing (Tzarfati *et al.*, 2013).

Another example of the relative success in domestication of the perennial intermediate wheatgrass (*Triticum intermedium*) was described in the work of DeHaan *et al.* (2016).

## 15. GERMPLASM BANK

As expressed above, in this situation of climatic change, germplasm banks play a primordial role to search and presumably to find valuable material with adaptation and plasticity to be fitted to the different conditions of future environments. The material preserved in genebanks may provide a source of important genes, which are waiting for their use in the genetic improvement programs addressed to obtain new crop varieties. The variability present in germplasm banks around the world is very large for most common crops and especially for major crops such as wheat, rice, corn, potatoes, grain legumes, horticultural crops, fruit crops, crucifer plants, grasses and forage species.

Current commercial varieties may fail as a result of the emergence of pests and widespread diseases, temperature and drought conditions, and reduction in the use of chemical fertilizers. The plant reserve existing in germplasm banks is supposed to have enough variability to find genes for resistance to these pests and diseases, tolerance to drought and greater efficiency in the use of nitrogen (Alonso Ferro *et al.*, 2007), as well as variability for forage digestibility (Brichette Mieg *et al.*, 2001).

As way of illustration, the Bank of germplasm (BG) of the Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM), A Coruña, Spain is described below. This BG can be an important reference to respond to the challenges of climatic change, since it has a great genetic variability that will be necessary for starting any program of genetic improvement of plants to be carried out in the North and Northwest of Spain. However the variability of the BG of CIAM is relatively small compared to the extremely wide genetic variability that can be found in the network of BG over the world.

In total, 4223 entries are conserved in the BG of CIAM, of which 693 correspond to maize; 669 to fruit trees of three different species, apples, pears, and cherries; 268 to four winter cereal species, wheat, rye, oats and barley; 293 belong to horticultural crops of six species, peas mainly, peppers, onions, tomatoes, cabbages and beans; and above all 2300 entries of several prairie species of grasses and legumes, especially the genera *Lolium*, *Festuca*, *Dactylis*, *Agrostis*, *Poa*, *Trifolium* and *Lotus*. The collection includes 700 entries of *Dactylis*.

## 16. CONCLUSIONS

There is today evidence of climatic change characterized by elevated CO<sub>2</sub> concentration and temperature, however there is uncertainty about the magnitude of the change concerning drought and rainfall periods over the different regions of the world. Plant breeding is proposed as tool for developing and adapting new varieties with complex traits adapted to future environments, such as higher temperatures and lower rainfall. Utilization of natural or induced polyploidy has demonstrated to be a good aid to increase vigor, yield, resistance to diseases, and adaptation of forage crops to stress. Development of synthetic varieties for forage plants seems to be a good option for achieving breeding goals in cross-pollinated crops. Hybridization between different species and within species is habitually used for increasing the vigor, the adaptation to environmental stress and the yield of cultivars. Hybrids between two species (e.g., from genus *Lolium*) produce usually a high rate of aneuploid plants in the F<sub>1</sub> generation. In successive generations, recurrent selection for raising the rate of balanced euploid plants in the F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>... generations of the allopolyploid hybrids is needed for getting stable varieties. Commercial hybrid seed is preferred to synthetics provided that the additional yield and features compensate the extra cost of seed production. Exploration of new C<sub>4</sub> tropical species likely will help to produce forage in poor watering conditions. The use of <sup>13</sup>C isotopic discrimination seems to be a good indicator to breed for water use efficiency (WUE) in C<sub>3</sub> plants. Biotechnological tools, such as molecular markers, will facilitate to achieve breeding objectives sooner. Breeding suggestions for development of new varieties in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> species adapted to future environments should consider the possible biotic and abiotic stresses generated by the climatic change. The interaction of increasing CO<sub>2</sub> with other environmental factors, such as water availability, temperature and mineral nutrition should be better studied for understanding the responsiveness of plants to elevated CO<sub>2</sub> atmosphere.

Domestication of wild species may be an alternative for developing a new crop to meet the requirements of environmental change. Crop domestication is a difficult task; however the use of rational strategies, including breeding for reducing the effect of limiting factors and strengthening favorable traits will help to achieve the desired objectives. Use of autochthonous germplasm as base material is crucial for providing genetic variability and genes adapted to environmental conditions.

## 17. ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank to the Instituto Nacional de Investigación y Tecnologías Agrarias y Alimentarias (INIA) for the partial financing of the research projects RTA2012-00100-00-00 and RFP2014-00008-00-00, and the Complementary Action AC2015-00025-00-00.

## 18. REFERENCES

- ABBO S., RACHAMIM E., ZEHAZI Y., ZEZEK I., LEV-YADUN S. AND GOPHER A. (2011) Experimental growing of wild pea in Israel and its bearing on Near Eastern plant domestication. *Annals of Botany*, 107 (8), 1399-1404.
- ABRAHAM, E. M., MEYER, W. A., BONOS, S. A., *et al.* (2008) Differential responses of hybrid bluegrass and Kentucky bluegrass to drought and heat stress. *Hortscience*, 43 (7), 2191-2195.
- AKHTER J., MONNEVEUX P., SABIR S.A., ASHRAF M.Y., LA-TEEF Z. AND SERRAJ R. (2010) Selection of drought tolerant and high water use efficient rice cultivars through <sup>13</sup>C isotope discrimination technique. *Pakistan Journal of Botany*, 42(6), 3887-3897.
- ALONSO FERRO R., BRICHETTE I., EVGENIDIS G., KARALIGKAS C.H., AND MORENO-GONZÁLEZ J. (2007) Variability and tolerance of European maize landraces under high and low nitrogen inputs. *Genetics Resources and Crop Evolution*, 54, 295-308.
- ANJUM F.M., AHMAD I., BUTT M.S., ARSHAD M.U. AND PASHA I. (2008) Improvement in end-use quality of spring wheat varieties grown in different eras. *Food Chemistry*, 106, 482-486.
- ARAUS J.L., SLAFER G.A., REYNOLDS, M.P. AND ROYO C. (2002) Plant breeding and drought in C<sub>3</sub> cereals: What we should be breed for? *Annals of Botany*, 89, 925-940.
- ARAYA C.A., KEESSTRA S.D. AND STROODNIJDER L. (2010) Simulating yield response to water of Teff (*Eragrostis tef*) with FAO's AquaCrop model. *Field Crop Research*, 116, 196-204.
- ARNELL, N.W., BROWN S., GOSLING S.N., GOTTSCHALK P., HINKEL J., HUNTINGFORD C., LLOYD-HUGHES B., LOWE J.A., NICHOLLS R.J., OSBORN T.J., OSBORNE T.M., ROSE G.A., SMITH P., WHEELER T.R. AND ZELAZOWSKI P. (2016) The impacts of climate change across the globe: A multi-sectoral assessment. *Climatic Change*, 134, 457-474.
- BARRIOS-MASIAS F.H. AND JACKSON L.E. (2014) California processing tomatoes: Morphological, physiological and phenological traits associated with crop improvement during the last 80 years. *European Journal of Agronomy*, 53, 45-55.
- BENDER M.M. (1968) Mass spectrometric studies of carbon-13 variations in corn and other grasses. *Radiocarbon*, 10, 468-472.
- BENDER M.M. (1971) Variations in the <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratios of plants in relation to the pathway of carbon dioxide fixation. *Phytochemistry*, 10, 1239-1244.
- BIRD G.T., SAGE R.F. AND BROWN R.H. (1992) A comparison of dark respiration between C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants. *Plant Physiol.*, 100, 191-198.
- BREDE, A.D. (2011) Registration of turf-type Kentucky bluegrass cultivars 'Awesome', 'Blue Velvet', 'Courtyard', 'Ginney', and 'Perfection'. *Journal of Plant Registrations*, 5 (1), 5-10.
- BRICHETTE MIEG I., MORENO-GONZÁLEZ J. AND LÓPEZ A. (2001) Variability of European maize landraces for forage

- digestibility using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Maydica*, 46, 245-252.
- BROWN D.E AND BINGHAM E.T. (1984) Hybrid alfalfa seed production using a female-sterile pollinizer. *Crop Sc.*, 24 (6), 1207-1208.
- CAMPOS H., COOPER M., EDMEADES G.O., LÖFFLER C., SCHUSSLER J.R., IBAÑEZ, M. (2006) Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. corn belt. *Maydica*, 51, 369-381.
- CANADELL J.G., LE QUÉRÉ C., RAUPACH M.R., FIELD C.B., BUITENHUIS E.T., CIAIS P., THOMAS CONWAY T.J., GILLETT N.P., HOUGHTON R.A. AND MARLAND G. (2007) Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 104, 18866-18870.
- CHANG D., WU Y., LIU L., LU-THAMES L., DONG H., GOAD C., BAI S. MAKAJU S. AND FANG T. (2016) Quantitative Trait Loci Mapping for Tillering-Related Traits in Two Switchgrass Populations. *Plant Genome*, 9 (2), .: 10.3835/plantgenome2016.01.0010.
- CHAPMAN S.C., CHAKRABORTY S., DRECCER M.F. AND HOWDEM S.M. (2012) Plant adaptation to climate change-opportunities and priorities in breeding. *Crop & Pasture Science*, 63(3), 251-268.
- CHEN K., CAMBERATO J.J., TUINSTRAN M.R., SARATHA V.K., TOLLENAAR, M. ET VYN T.J. (2016) Genetic improvement in density and nitrogen stress tolerance traits over 38 years of commercial maize hybrid release. *Field Crops Research*, 196, 438-451.
- CHEN L., PHILLIPS A.L.P, CONDON A.G., PARRY M.A.J., AND HU Y.-G. (2013) Responsive dwarfing gene Rht12 affects the developmental and agronomic traits in common bread wheat. *PLoS One*. 2013; 8(4): e62285. doi: 10.1371/journal.pone.0062285.
- COX T.S., GLOVER J.D., VAN TASSEL D.L., COX C.M., AND DEHAAN L.R. (2006) Prospects for developing perennial grain crops. *Biosci.*, 56, 649-659.
- CRAVEN K.D., CLAY K. AND SCHARDL C.L. (2009) Systematics and morphology. In Fribourg H.A. *et al.* (Eds) *Tall fescue for the twenty-first century. Agronomy Monograph*, 53, pp. 11-30. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wisconsin.
- DALSØREN S.T., MYHRE C.L., MYHRE G., GOMEZ-PELAEZ A.J., SØVDE O.A., ISAKSEN I.S.A., WEISS R.A., AND HARTH C.M. (2016) Atmospheric methane evolution the last 40 years. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 3099-3126.
- DARWIN, C. (1859) *On the Origin of the Species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London, UK: John Murray.
- DEHAAN, L.R.. VAN TASSEL, D.L.. ANDERSON, J.A.. ASSELIN, S.R.. BARNES, R.. BAUTE, G.J.. CATTANI, D.J.. CULMAN, S.W.. DORN, K.M.. HULKE, B.S.. KANTAR, M.. LARSON, S.. MARKS, M.D.. MILLER, A.J.. POLAND, J.. RAVETTA, D.A.. RUDE, E.. RYAN, M.R.. WYSE D. AND ZHANG X. (2016) A Pipeline strategy for grain crop domestication. *Crop Science*, 56, 917-930.
- DENIZ B. AND DOGRU U. (2008) Meiotic behaviour in reciprocal tetraploid hybrids between perennial and Italian ryegrasses. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 51 (1), 33-37.
- DUDLEY J.W. AND LAMBERT R.J. (1992) Ninety generations of selection for oil and protein in maize. *Maydica*, 37, 81-87.
- DUDLEY J.W. AND LAMBERT R.J. (2004) 100 Generations of selection for oil and protein in corn. In: Janick J. (Ed) *Plant Breeding Reviews, Volume 24. Part. 1: Long-Term Selection: Maize*, pp: 79-110. New Jersey and Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- DUVICK D.N. (2005) The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy*, 86, 83-145.
- ELLIS M.H., SPIELMEYER W. AND GALE K.R. (2002) "Perfet" markers for the *Rht-B1b* and *Rht-D1b* dwarfing genes in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 105, 1038-1042.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2013). available in: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/atmospheric-concentration-of-co2-ppm-1>. Accessed June 2016.
- FALCONER D.S. AND MACKAY T.F.C. (1981) *Introduction to quantitative genetics*. 4th Edition, Essex, UK: Addison Wesley Longman..
- FARQUHAR G.D., O'LEARY M.H. AND BERRY J.A. (1982) On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, 9, 121-37.
- FISHER R.A. (1930) *The genetical theory of natural selection*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- FRIDAY H. AND KROHN A.L. (2010) Increasing population hybridity by restricting self-incompatibility alleles in red clover populations. *Crop Science*, 50, 853-860.
- GALE M.D. AND YOUSSEFIAN S. (1985) Dwarfing genes in wheat. In: Russel, G.E. (Ed) *Progress in Plant Breeding-1*. Butterworth & Co. Ltd., London.
- GHEQUIERE M., HUMPHREYS M. AND ZWIERZYKOWSKI Z. (2010) Festulolium Hybrids: Results, Limits and Prospects. In: Huyghe C. (Ed.) *Sustainable Use of Genetic Diversity in Forage and Turf Breeding*, pp. 495-507. Conference of the Eucarpia Fodder and Amenity Species Section. La Rochelle, France. Sponsor: French Assoc Forage & Turf Breeders.
- GITHINJI L. J. M., DANE J. H., AND WALKER R. H. (2009) Water-use patterns of tall fescue and hybrid bluegrass cultivars subjected to ET-based irrigation scheduling. *Irrigation Science* 27 (5), 377-391.
- GLOVER D. (2014) Of yield gaps and yield ceilings: Making plants grow in particular places. *Geoforum*, 53, 184-194.
- GUTIERREZ M., GRACEN V. E. AND EDWARDS G.E. (1974) Biochemical and cytological relationships in C<sub>4</sub> plants. *Planta*, 119(4), 273-300.
- HAGER H.A., RYAN G.D., KOVACS, H.M. AND NEWMAN J.A. (2016) Effects of elevated CO<sub>2</sub> on photosynthetic traits of



- native and invasive C-3 and C-4 grasses. *BMC Ecology* 16:28. DOI: 10.1186/s12898-016-0082-z
- HALLAUER A.R., RUSSELL W.A., LAMKEY K.R. (1988) Corn breeding. In: Sprague G.F. and Dudley J.W. (Eds). *Corn and Corn Improvement*. Agronomy, ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- HANSEN J., RUEDY R., SATO M. AND LO K. (2010) Global surface temperature change. *Rev. Geophys.*, 48, RG4004, DOI:10.1029/2010RG000345.
- HAWKESFORD M.J. AND LORENCE A. (2017) Plant phenotyping: increasing throughput and precision at multiple scales. *Functional Plant Biology*, 44, v–vii. [http://dx.doi.org/10.1071/FPv44n1\\_FO](http://dx.doi.org/10.1071/FPv44n1_FO).
- HESKEL M.A., O'SULLIVAN O.S., REICH P.B., TJOELKER M.G., WEERASINGHEA L.K., PENILLARD A., EGERTON J.J.G., CREEK D., BLOOMFIELD K.J., XIANG J., SINCA F., STANGL Z.R., MARTINEZ-DE LA TORRE A., GRIFFINKL K.L., HUNTINGFORD CH., HURRY V., MEIR P., TURNBULL M.H. AND ATKIN O. (2016) Convergence in the temperature response of leaf respiration across biomes and plant functional types. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 113(14), 3832-3837.
- HILL R.R. JR., SHENK J.S. AND BARNES R.F. (1988) Breeding for alfalfa yield and quality. In: Hanson A.A. *et al.* (Eds). Alfalfa and alfalfa improvement. *Agronomy Monograph* 29, pp. 809-825. Madison, USA: ASA, CSSA, SSSA.
- HOLLAND J.B. AND BINGHAM E.T. (1994) Genetic improvement for yield and fertility of alfalfa cultivars representing different eras of breeding. *Crop Science*, 34, 953-957.
- HOPKINS A.A., SAHA M.C. AND WANG Z.Y. (2009) Breeding and genetics. Chapter 19. In: Fribourg H.A. *et al.* (Eds) Tall fescue for the twenty-first century. *Agronomy Monograph*, 53, pp. 339-366. Madison, USA: ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wisconsin.
- ITO A. (2003) A global-scale simulation of the CO<sub>2</sub> exchange between the atmosphere and the terrestrial biosphere with a mechanistic model including stable carbon isotopes, 1953–1999. *Tellus B, Chemical and Physiological Meteorology*, 55B, 596–612.
- JAKESOVA H., REPKOVA J., HAMPEL D., CECHOVA L. AND HOFBAUER J. (2011) Variation of morphological and agronomic traits in hybrids of *Trifolium pratense* x *T. medium* and a comparison with the parental species. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 47, 28-36.
- JONES R.A.C. (2016) Future Scenarios for Plant Virus Pathogens as Climate Change Progresses. *Adv. Virus Res.* 95, 87-147.
- KEERATINIJAKAL V. AND LAMKEY K.R. (1993) Responses to reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB1 maize populations. *Crop Science*, 33, 73-77.
- KIYOSHI T., ARAKAWA A. AND UCHIYAMA K. (2012) Exceptionally high fertility observed in three F1 hybrids between *Lolium multiflorum* Lam. and *L. temulentum* L. *Grassland Science*, 58(2), 66-72.
- KLINGA K. (1986) Aneuploidy in induced autotetraploid populations of *Festuca pratensis*, *Lolium multiflorum* and *Lolium perenne*. *Hereditas*, 104, 121–130.
- LEAKEY A.D.B., AINSWORTH E.A., BERNACCHI C.J., ROGERS A., LONG S.P. AND ORT D.R. (2009) Elevated CO<sub>2</sub> effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. *Journal of Experimental Botany*, 60(10), 2859-2876.
- LOISELLE F. (1992) Alfalfa breeding in the USA – present and future. In: Lucerne Colloquium, Halle, 12-13 March 1992, Martin Luther University Halle, Germany.
- MEREWITZ, E., MEYER W., BONOS S., AND HUANG, B.R. (2011) Drought stress responses and recovery of Texas x Kentucky hybrids and Kentucky bluegrass genotypes in temperate climate conditions. *Agronomy Journal*, 102 (1), 258-268.
- MOOSE S.P., DUDLEY J.W. AND ROCHEFORD T.R. (2004) Maize selection passes the century mark: a unique resource for 21st century genomics. *Trends in Plant Science*, 9, 358-364.
- MORENO-GONZALEZ, J. (1999) Molecular markers and Heterosis. In J.G. Coors and S. Pandey (Eds). *The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops*. pp. 257-268. Madison, USA: American Society of Agronomy, publishers.
- MORENO-GONZÁLEZ J. AND CUBERO J.I. (1993) Selection strategies and choice of breeding methods. In Hayward M.D. *et al.* (Eds.) *Plant Breeding Principles and Prospects*, Chapman & Hall, London.
- MOTZO R. AND GIUNTA F. (2007) The effect of breeding on the phenology of Italian durum wheats: From landraces to modern cultivars. *European Journal Agronomy*, 26, 462-470.
- NAGL N., TASKI-AJDUKOVIC K., BARAC G., BABURSKI A., SECCARECCIA I., MILIC D. AND KATIC S. (2011) Estimation of the genetic diversity in tetraploid Alfalfa populations based on RAPD markers for breeding purposes. *Int. J. Mol. Sci.*, 12, 5449-5460.
- NOAA (2006). National Ocean Atmospheric Administration. Available in: <http://www.noaanews.noaa.gov/stories2006/images/methane-global-average-05-2006.jpg>. Accessed June 2016.
- NOAA (2013) Report Global Analysis-Annual 2013. National Centers for Environmental information. Available in: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2013>. Accessed June 2016.
- NOAA (2016) Report Global Analysis-Annual 2016. National Centers for Environmental information. Available in: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2016>. Accessed June 2016.
- O'NEILL, P.M., SHANAHAN, J.F., SCHEPERS, J.S., CALDWELL, B. (2004) Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. *Agron. J.*, 96, 1660-1667.
- OREGON STATE UNIVERSITY (2016) Tall Fescue Online Monograph. Available in: [http://forages.oregonstate.edu/tallfescuemonograph/breeding\\_genetics/origin](http://forages.oregonstate.edu/tallfescuemonograph/breeding_genetics/origin). Accessed June 2016.

- PALLAS JR. J.E., MICHEL B.E., AND HARRIS D.G. (1967) Photosynthesis, transpiration, leaf temperature, and stomatal activity of cotton plants under varying water potentials. *Plant Physiol.* 42, 76-88.
- PEDERSEN M.W. AND STUCKER R.E. (1969) Evidence of cytoplasmic male sterility in alfalfa. *Crop Sci.* 9, 767-770.
- REDDY A.R., RASINENI G.K., AND RAGHAVENDRA A.S. (2010) The impact of global elevated CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis and plant productivity. *Current Science*, 99, 46-57.
- REINERT J.A. AND READ J.C. (2008) Fall Armyworm (*Lepidoptera: Noctuidae*) Resistance in Texas Bluegrass, Kentucky Bluegrass, and Their Hybrids (*Poa spp.*). *Florida Entomologist*, 91(4), 592-597.
- REVILLA P., RODRÍGUEZ V.M., ORDÁS A., RINCENT R., CHARCOSSET A., GIAUFFRET C., MELCHINGER A.E., SCHÖN C.-C., BAUER E., ALTMANN T., BRUNEL D., MORENO-GONZÁLEZ J., CAMPO L., OUZUNOVA M., LABORDE J., ÁLVAREZ Á., RUÍZ DE GALARRETA J.I., AND MALVAR R.A. (2014) Cold tolerance in two large maize inbred panels adapted to European climates. *Crop Science*, 54 (5), 1981-1991.
- REVILLA P., RODRÍGUEZ V.M., ORDÁS A., RINCENT R., CHARCOSSET A., GIAUFFRET C., MELCHINGER A.E., SCHÖN C.-C., BAUER E., ALTMANN T., BRUNEL D., MORENO-GONZÁLEZ J., CAMPO L., OUZUNOVA M., LABORDE J., ÁLVAREZ Á., RUÍZ DE GALARRETA J.I., LABORDE J., AND MALVAR R.A.. (2016) Association mapping for cold tolerance in two large maize inbred panels. *BMS Plant Biology* 16:127. DOI:10.1186/s12870-016-0816-2.
- RIBAUT J.M. AND HOISINGTON D. (1998) Marker-assisted selection: new tools and strategies. *Trends in Plant Science*, 3, 236-239.
- RINCENT R., MOREAU L., MONOD H., KUHN E., MELCHINGER A.E., MALVAR R.A., MORENO-GONZALEZ J., NICOLAS S., MADUR D., COMBES V., DUMAS F., ALTMANN T., BRUNEL D., OUZUNOVA M., FLAMENT P., DUBREUIL P., CHARCOSSET A., MARY-HUARD T. (2014) Recovering power in association mapping panels with variable levels of linkage disequilibrium. *Genetics* 197(1), 375-387.
- ROSENBERG N.J., BROWN R.A., IZAURRALDE R.C., ET AL. (2003) Integrated assessment of Hadley Centre (HadCM2) climate change projections on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States - I. Climate change scenarios and impacts on irrigation water supply simulated with the HUMUS model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 117 (1-2), 73-96.
- ROUDIER P., ANDERSSON, J.C.M., DONNELLY C., FEYEN L., GREUELL W., AND LUDWIG F. (2016) Projections of future floods and hydrological droughts in Europe under a+2 degrees C global warming. *Climatic Change* 135 (2), 341-355.
- SAGE R.F. (2003) The evolution of C4 photosynthesis. *New Phytologist* 161(2), 341-370.
- SAGE R.F. (2017) A portrait of the C4 photosynthetic family on the 50th anniversary of its discovery: species number, evolutionary lineages, and Hall of Fame. *Journal of Experimental Botany*, 68: 4039-4056.
- SÁNCHEZ-GARCÍA M., ROYO C, APARICIO N, MARTÍN-SÁNCHEZ J.A., ALVARO F. (2013). Genetic improvement of bread wheat yield and associated traits in Spain during the 20th century. *J. Agric. Sci.*, 151(1), 105-118.
- SENIOR M.L., MURPHY J.P., GOODMAN M.M, AND STUBER C.W. (1998) Utility of SSRs for determining genetic similarities and relationships in maize using an agarose gel system. *Crop Sci.*, 38, 1088-1098.
- SHULL G.H. (1908) The composition of a field of maize. *American Breeders' Association*, Rep. 4, 296-301.
- SLACK, C.R, AND HATCH M.D. (1967) Comparative studies on the activity of carboxylases and other enzymes in relation to the new pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation in tropical grasses. *The Biochemical Journal*, 103 (3), 660-665.
- SMITH T.M., REYNOLDS R.W., PETERSON T.C. AND LAWRI-MORE J. (2008) Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880-2006). *Journal of Climate*, 21: 2283-2296.
- STILL C.J., BERRY J.A., COLLATZ G.J., AND DEFRIES R.S. (2003) Global distribution of C-3 and C-4 vegetation: Carbon cycle implication. *Global biogeochemical cycles*, 17(1), 1006-1020.
- SUGIYAMA S.I. (2005) Polyploidy and cellular mechanisms changing leaf size: Comparison of diploid and autotetraploid populations in two species of *Lolium*. *Annals of Botany*, 96 (5), 931-938.
- TERASHIMA I., YANAGISAWA S. AND SAKAKIBARA H. (2014) Plant Responses to CO<sub>2</sub>: Background and Perspectives. *Plant Cell Physiology*, 55(2), 237-240.
- TOLLENAAR M. (1989) Genetic improvement in grain yield of commercial maize hybrids grown in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Sci.*, 29, 1365-1371.
- TOLLENAAR M. AND LEE E.A. (2006) Dissection of physiological processes underlying grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. *Maydica*, 51, 399-408.
- TZARFATI R., SARANGA Y., BARAK V., GOPHER A., KOROL A.B. AND ABBO S. (2013) Threshing efficiency as an incentive for rapid domestication of emmer wheat. *Annals of Botany*, 112, 829 - 837.
- VIRLET N., SABERMANESH K., SADEGHI-TEHRAN P. AND HAWKESFORD M.J. (2017) Field Scanalyzer: An automated robotic field phenotyping platform for detailed crop monitoring. *Functional Plant Biology*, 44, 143-153.
- VLEUGELS T.I.M., ROLDAN-RUIZ I. AND CNOPS G. (2015) Influence of flower and flowering characteristics on seed yield in diploid and tetraploid red clover. *Plant Breeding*, 134, 56-61.
- WATANABE C.K., SATO S., YANAGISAWA S., UESONO Y., TERASHIMA I. AND NOGUCHI K. (2014) Effects of elevated CO<sub>2</sub> on levels of primary metabolites and transcripts of genes encoding respiratory enzymes and their diurnal

- patterns in *Arabidopsis thaliana*: possible relationships with respiratory rates. *Plant Cell Physiology*, 55, 341-357.
- WIERSMA D.W. (2001) Are hybrids the new yield force in alfalfa? Focus on Forage Fact Sheets, 3(12), 1-4.
- WIERSMA D.W., UNDERSANDER D.J., LAUER G.J. AND GRAU C.R. (1997) Lack of alfalfa yield progress in the Midwest. In: *Proceeding The 25<sup>th</sup> Central Alfalfa Improvement Conference*, La Crosse, Wisconsin.
- WILLIAMS W.M., ELLISON N.W., ANSARI H.A., VERRY I.M. AND HUSSAIN S.W. (2012) Experimental evidence for the ancestry of allotetraploid *Trifolium repens* and creation of synthetic forms with value for plant breeding. *BMC Plant Biology*. 12:55. DOI: 10.1186/1471-2229-12-55.
- WORRELL, E., PRICE, L., MARTIN, N., HENDRIKS, C., AND MEIDA, L.O. (2001) Carbon dioxide emissions from the global cement industry. *Annual Review Energy Environmental*, 26, 303-329.
- ZHENG C.Y., CHEN J., SONG Z.W., DENG A.X., JIANG L.N., ZHANG B.M. AND ZHANG W.J. (2015) Differences in warming impacts on wheat productivity among varieties released in different eras in North China. *The Journal of Agricultural Science*, 153(8), 1353-1364.
- ZHU X-G., SHAN L., WANG Y. AND QUICK W.P. (2010) C4 Rice - An Ideal arena for systems of biology research. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52(8), 762-770.

3

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

## CARACTERIZACIÓN DE GERMOPLASMA DE AGROSTIS Y FESTUCAS DE LOS GRUPOS RUBRA Y OVINA DEL NORTE DE ESPAÑA

José Alberto Oliveira Prendes\*<sup>1</sup>, Pedro Palencia García<sup>1</sup>, Juan Manuel González Triguero<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Área de Producción Vegetal. Universidad de Oviedo. C/ Gonzalo Gutiérrez Quirós. 33600 Mieres (España)

<sup>2</sup> Departamento de Biomedicina y Biotecnología. Área de Genética. Universidad de Alcalá. Campus Universitario. 28871Alcalá de Henares (España)

### GERMPLASM CHARACTERIZATION OF AGROSTIS AND FESTUCA RUBRA AND OVINA GROUPS IN NORTHERN SPAIN

#### Historial del artículo:

Recibido: 21/09/2016

Revisado: 20/02/2017

Aceptado: 10/03/2017

Disponible online: 08/11/2017

#### \* Autor para correspondencia:

oliveira@uniovi.es

ISSN: 2340-1672

Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/pastos>

#### Palabras clave:

Anatomía foliar, césped, citometría de flujo, inoculación artificial, ploidía.

#### Keywords:

Artificial inoculation, flow cytometry, leaf anatomy, ploidy, turf.

### RESUMEN

Este trabajo es una revisión sobre la caracterización fenotípica y genética de accesiones de agrostis (*Agrostis* sp. pl.) y festucas de hojas estrechas (*Festuca* gr. *rubra* y *F.* gr. *ovina*) del Norte de España. Los resultados de la caracterización fenotípica y genética de este material vegetal son útiles, entre otros aspectos, para conocer el potencial de algunas accesiones para su uso en mejora de céspedes. Se muestran los principales resultados obtenidos en 28 accesiones de *Agrostis*, 15 de *F. rubra* y nueve de *F. ovina* mediante caracteres de anatomía foliar, morfología floral, caracterización agronómica, tolerancia al hongo de la mancha del dólar mediante inoculación artificial y caracterización genética mediante marcadores de polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados (AFLP). Se destaca la selección y multiplicación de tres accesiones de *A. capillaris*, una de *F. rubra* y una de *F. ovina*, con el fin de su utilización en la creación de variedades cespitosas.

### ABSTRACT

This article is a review of the phenotypic and genetic characterization of bentgrass (*Agrostis* sp. pl.) and fine-leaved fescues (*Festuca* gr. *rubra* and *F.* gr. *ovina*) accessions from northern Spain. The results of phenotypic and genetic characterization of this plant material are useful to know the potential of some accessions for use in turf breeding. We show the main results of leaf anatomy, floral morphology, agronomic characterization, tolerance to dollar spot fungus by artificial inoculation and genetic characterization by amplified fragment length polymorphism markers (AFLP) in 28 bentgrass, 15 *F. rubra* and nine *F. ovina* accessions. We also highlight the selection and multiplication of three *A. capillaris*, one *F. rubra* and one *F. ovina* accessions of interest in creating turfgrass varieties.

## INTRODUCCIÓN

Junto a los usos tradicionales de las especies pratenses en la siembra de praderas, las condiciones climáticas cambiantes (calentamiento global, variación de temperaturas, incidencia de condiciones extremas, etc.) están promoviendo la necesidad de reducir el consumo de agua y el interés por la selección de especies y cultivares para la implantación de céspedes que presenten una calidad aceptable (Svobodová *et al.*, 2013).

Estas nuevas condiciones pueden incrementar el interés de gramineas cespitosas como los agrostis (*Agrostis* sp. pl.) y las festucas de hojas estrechas (*Festuca* grupo *rubra* y *ovina*), especialmente para su uso en implantación de cubiertas vegetales en zonas con riesgo de erosión, recuperación de terrenos degradados, céspedes, etc. (Fernández de Gorostiza, 1996).

En la Península Ibérica se considera que hay más de 100 taxones del género *Festuca* (De Nova *et al.*, 2006). Las festucas se dividen en dos tipos principales en base a la anchura de sus hojas: las festucas de hoja ancha como, por ejemplo: *Festuca arundinacea* Schreb. y *Festuca pratensis* Huds. y las festucas de hoja estrecha (Torrecilla y Catalán, 2002; Catalán *et al.*, 2004). Aunque la taxonomía de las festucas de hoja estrecha o festucas finas es a menudo difícil, la mayoría de las especies usadas en céspedes se pueden dividir en dos grandes grupos: *Festuca* gr. *rubra* (Sección *Aulaxyper*) y *F.* gr. *ovina* (Sección *Festuca*) (Huff y Palazzo, 1998). Las diferencias medibles entre estos dos grupos se pueden basar en la anatomía de la hoja, morfología de la vaina y la fluorescencia de las raíces (Hubbard, 1984; Wilkinson y Stace, 1991).

La clasificación de especies del género *Festuca* basada únicamente en su anatomía foliar y morfología es complicada por la variabilidad de ciertos caracteres (Šmarda *et al.*, 2005). El nivel de ploidía y la determinación del número de cromosomas (número básico de cromosomas 7 y  $2n=14, 28, 42, 56$  y  $70$ ) son muy importantes para la determinación taxonómica dentro de dicho género (Wilkinson y Stace, 1991).

Las festucas de hoja estrecha, desde un punto de vista comercial, se clasifican en cinco tipos: la festuca roja o rubra rastrera o reptante (*F. rubra* subsp. *rubra*), la festuca roja semirastrera o semireptante (*F. rubra* subsp. *trichophylla*), la festuca roja encespedante (*F. rubra* subsp. *commutata*=*F. nigrescens* subsp. *nigrescens*), la festuca ovina de hojas duras o duriuscula (*F. stricta* subsp. *trachyphylla*) y la festuca ovina (*F. ovina* subsp. *tennifolia*).

Las festucas rojas rastreras producen rizomas y céspedes menos densos que las encespedantes, con una mayor tolerancia a la sequía y a situaciones de sombreo. Las festucas del grupo *ovina* se suelen usar habitualmente en restauración paisajística y en céspedes de bajo mantenimiento (poco crecimiento), con una buena tolerancia a la sequía (Turgeon, 2005).

En el caso del grupo *F. ovina*, Galli *et al.* (2006) observaron en varios taxones escasa variabilidad en los valores de dos marcadores moleculares, uno nuclear (espaciadores entre genes ribosómicos o ITSs) y otro citoplásmico (intrón del gen cloroplastidial *trnL*), lo que parece indicar que las especies con un mayor nivel de ploidía probablemente se han producido por autopoliploidía (poliploides que reúnen en su genoma, tres o más juegos completos de cromosomas de la misma especie). En cambio, las festucas del grupo *rubra* hexaploides se consideran alopoliploides (poliploides que reúnen en su genoma tres o más juegos completos de cromosomas de al menos dos especies diferentes; Jauhar, 1975; Kerguelén y Plonka, 1989).

El género *Agrostis* (familia *Poaceae*) en la Península Ibérica incluye 18 especies anuales y perennes con un elevado grado de alogamia e hibridización (Bradshaw, 1957; Romero García *et al.*, 1988; Wipff y Fricker, 2000). Algunas de ellas son usadas comercialmente en céspedes y campos de golf (Turgeon, 2005; Oliveira *et al.*, 2010b), entre ellas *A. stolonifera* ( $2n = 4x = 28, A2A2A3A3$ ), *A. capillaris* ( $2n = 4x = 28, A1A1A2A2$ ) y *A. castellana* ( $2n=4x=28, A1A1A2A2$  y  $2n=6x=42, A1A1A1A2A2A2$ ) (Jones 1956a,b,c; McBryde, 2006). Evidencias citológicas y moleculares sugieren la naturaleza alopoliploide de estas especies del género *Agrostis* (Jones, 1956a,b,c; Wipff y Fricker, 2000; Vergara y Bughrara, 2003).

*A. stolonifera* es la especie preferida para los "greens" (zona donde está el hoyo), calles ("fairways") y lugares donde se comienza el juego en cada hoyo ("tee") de los campos de golf, debido a su excelente tolerancia a las alturas bajas de siega y a un hábito de crecimiento rastrero y estolonífero que ofrece una rápida recuperación de los daños (Warnke *et al.* 1997; Funk, 1998; Bonos y Huff, 2013).

Últimamente existe un interés en el desarrollo de cultivares de agrostis común (*A. capillaris*) para las calles y las zonas donde se comienza el juego en cada hoyo de los campos de golf, debido a su hábito de crecimiento más erecto, menor tendencia a la formación de fieltro y mayor tolerancia a la enfermedad de la mancha del dólar (*Sclerotinia homoeocarpa* F.T. Bennet) que *A. stolonifera* (Bonos y Huff, 2013). Esta enfermedad se manifiesta como manchas de lejía aproximadamente del tamaño de una moneda de un dólar de plata, que se pueden superponer dando lugar a zonas irregulares de césped quemado y muerto (Walsh *et al.*, 1999). El desarrollo de cultivares de especies cespitosas resistentes a esta enfermedad podría reducir el coste y el impacto ambiental de las aplicaciones de fungicida (Bonos *et al.*, 2003).

La clasificación de las especies basada únicamente en caracteres de anatomía foliar y morfológicos es complicada por la variabilidad en ciertos caracteres; en gran parte, debido a la existencia de híbridos (Romero García *et al.*, 1988; Bonos *et al.*, 2002). Por otro lado, el nivel de ploidía se ha usado frecuentemente para la discriminación de especies dentro del

Con la colaboración de:





© José Alberto Oliveira Prendes

Producción de semilla prebase de *Festuca rubra* cultivar Moraima en Candás (Asturias).

Red fescue pre-base seed production cultivar Moraima in Candás (Asturias).

género. Así, el número cromosómico básico de *Agrostis* es  $x=7$ , habiendo especies diploides, tetraploides y hexaploides (e.g., *A. curtisii*,  $2n=2x=14$ ; *A. capillaris*,  $2n=4x=28$  y *A. castellana*,  $2n=6x=42$ , respectivamente) (Bonos *et al.*, 2002). La determinación del nivel de ploidía se ha realizado tradicionalmente mediante el recuento de cromosomas en metafase mitótica. Sin embargo, este procedimiento es lento y dependiente de obtener células en división, que no siempre es fácil. Hay otras alternativas al recuento cromosómico que también se emplean y que no dependen de disponer de células en división. Entre estas técnicas se encuentra el estudio del tamaño y densidad de los estomas (van Duren *et al.*, 1996) o el tamaño de las células (Hao *et al.*, 2002), pero no son tan exactas como el propio recuento cromosómico. Más recientemente se han puesto a punto otros procedimientos en los que se emplea la citometría de flujo y que se fundamentan en la existencia de una correlación muy alta entre el contenido en ADN nuclear y el nivel de ploidía (Dolezel *et al.*, 2007). Aunque esta técnica es la que mejor y más rápidamente permite

determinar el nivel de ploidía, el recuento de los cromosomas sigue siendo el método que da unos resultados más fiables.

El principal objetivo de la recolección de recursos fitogenéticos de especies pratenses es el disponer de una base genética amplia para poder trabajar en programas de mejora genética. Tras la recolección, la caracterización inicial de recursos genéticos en ensayos de campo está sujeta a variaciones anuales del clima. Los resultados obtenidos se deben interpretar teniendo en cuenta estas variaciones y son útiles en programas de mejora en ambientes similares a donde se realizaron los ensayos de campo (Tyler *et al.*, 1987). La caracterización de plantas aisladas (UPOV, 1990, 2006; NTEP, 1998) tiene un valor limitado, dado que los rendimientos estacionales en estas plantas no están bien correlacionados con los rendimientos en parcelas de cultivo (Lazenby y Rogers, 1964). Su uso principal es la determinación de las características florales, de las que la fecha de espigado es probablemente el carácter más importante para determinar el ritmo de crecimiento. La ventaja de la caracterización en plantas

Con la colaboración de:

aisladas es que la caracterización inicial se puede hacer con la siembra de un número pequeño de semillas. El análisis multi-variante de los datos obtenidos en la caracterización se ha usado por muchos autores (Hayward *et al.*, 1982; Charmet *et al.*, 1989; Oliveira y González, 2000) para obtener índices de valor agronómico para cada accesión y establecer una clasificación estable de las accesiones (Charmet *et al.*, 1989).

Aunque la caracterización agronómica de las accesiones es útil en la evaluación del comportamiento agronómico y en mejora de plantas (Rao *et al.*, 1996), con el fin de evitar problemas como la interferencia de factores ambientales con los caracteres agronómicos y de anatomía foliar de hoja usados en las clasificaciones (De Nova *et al.*, 2006), se suelen usar marcadores de polimorfismo de longitud de fragmentos amplificadas (AFLP) para determinar la diversidad genética en plantas forrajeras y cespitosas (Zhao *et al.*, 2006). Mian *et al.* (2002) usaron marcadores AFLP para determinar la diversidad genética en 18 poblaciones de festuca alta de Estados Unidos, mediante la estrategia de mezcla de ADN de varios individuos de una población. Majidi *et al.* (2006) usaron la misma técnica para analizar la variación y las relaciones genéticas en 34 accesiones de festucas iraníes.

Se ha observado una reducción importante de la severidad de la enfermedad de la mancha del dólar en diversas variedades de *F. rubra* infectadas por el hongo endófito *Epichloë festucae* en ensayos de campo (Clarke *et al.*, 2006). La determinación

de la presencia de hongos endófitos en el germoplasma es importante, con el fin de poder separar las posibles interacciones de dicha simbiosis en la expresión de los caracteres de la planta huésped (Kindler *et al.*, 1991). Es importante destacar que el análisis de la presencia de hongos endófitos en semillas solo indica su presencia, siendo necesaria su identificación en las plantas para confirmar su viabilidad.

## FESTUCAS DE LOS GRUPOS RUBRA Y OVINA

### Anatomía foliar, morfología y ploidía

Oliveira-Prendes y Fernández Casado (2014), en un estudio realizado sobre 15 accesiones de *Festuca gr. rubra* y nueve *F. gr. ovina* recogidas en diferentes localidades de Asturias y zonas limítrofes (Tabla 1), mostraron que todas las accesiones de *F. gr. rubra* presentaron vainas soldadas hasta el ápice y pubescentes, esclerénquima en macizos (más de tres) (Figura 1), sin acúleos abaxiales (hojas lisas), salvo las accesiones 7 y 8 que presentaron acúleos.

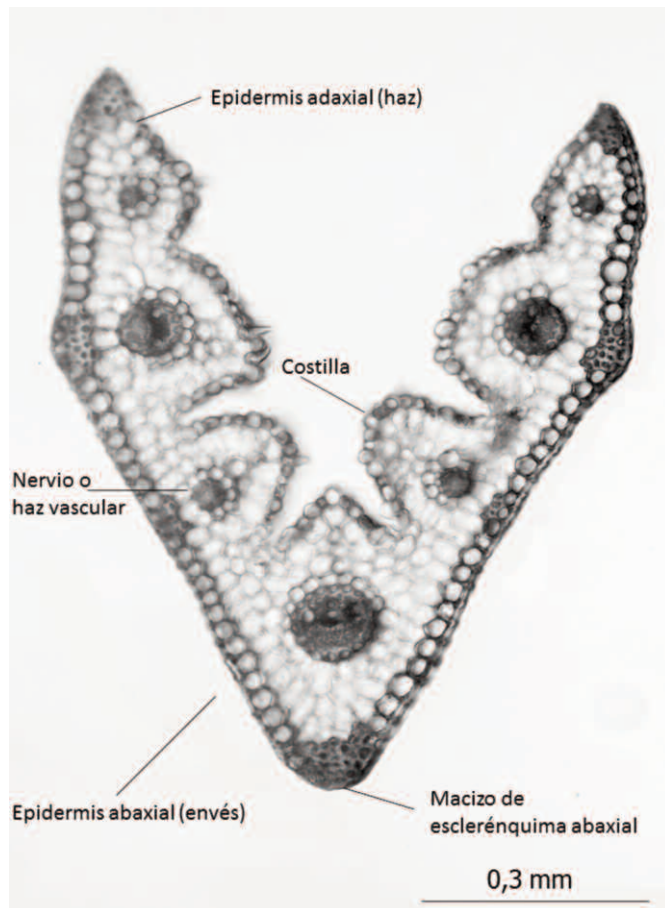
Con el fin de identificar los diferentes taxones de *F. gr. rubra*, se consideró inicialmente la presencia o ausencia de rizomas. Dos taxones no presentaron rizomas: 1) *F. nigrescens* subsp. *nigrescens*, que incluyó al cultivar control 'Wilma' y 2) *F. nigrescens* subsp. *microphylla* que incluyó los números 16 y 21

**TABLA 1.** Accesiones de *Festuca rubra* (Fr, 15) y *Festuca ovina* (Fo, nueve). Nº de inventario en la colección del Centro Nacional de Recursos Fitogenéticos de España (CRF), nº de accesión en la colección del Área de Producción Vegetal de la Universidad de Oviedo y origen de las accesiones (Oliveira-Prendes y Fernández-Casado, 2014). \*La columna Código indica el número de las accesiones en Oliveira *et al.* (2010a).

Inventario	Número	Código*	Provincia	Localidad	Hábitat	Lat	Long	Alt(m)
NC074773	1(1259)Fo		Asturias	Niserías	Camino	43°20'N	04°45'O	400
NC074817	2(1305)Fr	5	Asturias	Folgueiras	Borde ruta	43°25'N	07°10'O	300
NC074814	3(1302)Fr	2	Asturias	Armada	Baldío	43°07'N	05°51'O	1100
NC074813	4(1301)Fr	1	Asturias	Villanueva de Oscos	Borde ruta	43°18'N	06°59'O	650
NC074768	5(1254)Fo		Asturias	Grandas de Salime	Baldío	43°15'N	06°55'O	300
NC074815	7(1303)Fr	3	León	Puerto de Tarna	Baldío	43°07'N	05°14'O	1490
NC074816	8(1304)Fr	4	Asturias	Tanes	Camino	43°15'N	05°25'O	495
NC074812	9(1300)Fo		Asturias	Pesoz	Baldío	43°16'N	06°52'O	350
NC074818	11(1306)Fr	6	Asturias	Alto de Cobertoria	Baldío	43°10'N	05°58'O	1179
NC074819	13(1307)Fr	7	Asturias	Paramios	Baldío	43°22'N	07°01'O	500
NC074823	14(1311)Fr	11	León	Carande	Baldío	42°50'N	04°50'O	1000
NC074821	15(1309)Fr	9	León	Acebedo	Baldío	43°03'N	05°07'O	1180
NC074822	16(1310)Fr	10	Asturias	Sta. Eulalia de Oscos	Baldío	43°15'N	07°01'O	560
NC074744	18(1262)Fo		Cantabria	La Fuente	Baldío	43°15'N	04°30'O	650
NC074826	19(1314)Fr	14	Asturias	Penarronda	Acantilado	43°32'N	06°59'O	3
NC074825	20(1313)Fr	13	Asturias	Navía	Playa	43°33'N	06°43'O	6
NC074820	21(1308)Fr	8	León	La Uña	Baldío	43°03'N	05°07'O	1250
NC074769	22(1255)Fo		Asturias	Villanueva de Oscos	Borde ruta	43°18'N	06°59'O	650
NC074775	24(1263)Fo		Asturias	Merodio	Baldío	43°19'N	04°45'O	400
NC074771	25(1257)Fo		Cantabria	Lebeña	Camino	43°15'N	04°35'O	210
NC074770	26(1256)Fo		Cantabria	Vega de Liébana	Borde ruta	43°05'N	04°45'O	460
NC074824	27(1312)Fr	12	Asturias	Playa de Pormenande	Acantilado	43°32'N	06°49'O	3
NC074772	28(1258)Fo		Cantabria	Pto de San Glorio	Borde ruta	43°05'N	04°45'O	1600
NC074828	29(1316)Fr	16	Lugo	Faro de Ribadeo	Acantilado	43°33'N	07°02'O	9

**TABLE 1.** Accessions of *Festuca rubra* (Fr, 15) and *Festuca ovina* (Fo, nine). Inventory number in the collection of the Spanish National Phylogenetic Resources Centre (CRF), accession number in the collection of the Plant Production Area of the University of Oviedo and origin of the accessions (Oliveira-Prendes and Fernández-Casado, 2014). \*The column Código indicate the accession number in Oliveira *et al.* (2010a).





**FIGURA 1.** Sección transversal del limbo foliar de *Festuca* grupo *rubra* (*Festuca heteromalla*,  $2n=6x=42$ ) (Fernández-Campos, 2008).

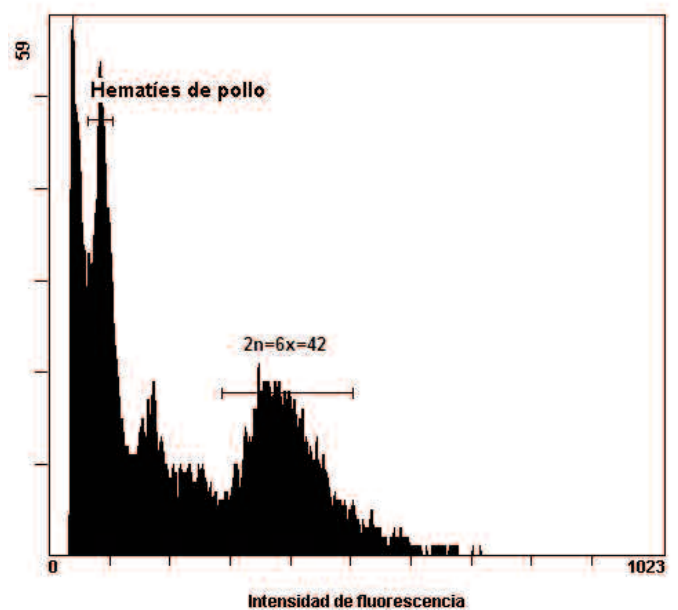
**FIGURE 1.** Leaf blade cross section of *Festuca* group *rubra* (*Festuca heteromalla*,  $2n=6x=42$ ) (Fernández-Campos, 2008).

(Tabla 2). Las plantas con rizomas, sección foliar carenada y sin acúleos abaxiales pertenecen al taxón *Festuca heteromalla* (Números: 2, 3, 4, 11, 13, 14 y 15). Las plantas con rizomas, sección foliar poligonal y con acúleos en la superficie del haz se identificaron como *F. trichophylla* subsp. *asperifolia* (Números: 7 y 8). Las plantas de sección no carenada o poligonal y sin acúleos en la superficie del haz se identificaron como *F. rubra* subsp. *pruinosa* (Números: 19, 20, 27 y 29).

**TABLA 2.** Caracteres principales en los taxones identificados dentro del grupo *Festuca rubra* (Tabla 1). Dos plantas por accesión. El coeficiente de variación (%) o los valores mínimo y máximo se ponen entre paréntesis.

Accesiones	2, 3, 4, 11, 13, 14, 15	7, 8	19, 20, 27, 29	16, 21	Wilma
Pubescencia vaina	+	+	+	+	+
Rizomas	presencia	presencia	presencia	ausencia	ausencia
Acúleos abaxiales	ausencia	presencia	ausencia	ausencia	ausencia
Sección foliar	carenada	poligonal	elíptica	poligonal	poligonal
Anchura hoja (mm)	0,36 (11,1)	0,31 (1,8)	0,39 (8,4)	0,30 (6,0)	0,32 (0,31-0,33)
Diámetro foliar (mm)	0,90 (5,8)	0,71 (19,9)	0,74 (8,9)	0,63 (0,9)	0,74 (0,73-0,75)
Nº de nervios	7-8	5-6	5-7	5	5
Nº de costillas adaxiales	4-6	3	3	3	3
Nº de macizos de esclerénquima abaxial	6-8	5	5-8	7	7
Nº de cromosomas (2n)	42	42	42	42	42

En las *F. gr. rubra*, el número de cromosomas fue de  $2n=6x=42$ , para todas las accesiones y para el cultivar 'Wilma' de *F. nigrescens* subsp. *nigrescens*. Estas características son típicas de las *F. gr. rubra* cespitosas y semirastreras o semirepantes (Turgeon, 2005). En cuanto al contenido en ADN nuclear (valor 2C), Oliveira et al. (2010a) encontraron diferencias significativas ( $P<0,01$ ) entre las 15 accesiones de *F. gr. rubra*. El contenido medio de ADN nuclear entre las accesiones fue de 11,04 picogramos (pg) y varió de 10,12 a 11,99. El análisis de citometría de flujo de los núcleos aislados de las hojas de las distintas accesiones de festuca mostró solo un pico en los histogramas. Estos representan el nº de células teñidas en



**FIGURA 2.** Histograma del número de células en función de la intensidad de la fluorescencia del tejido vegetal en especies del género *Festuca* grupo *rubra*, indicando las diferencias relativas de la intensidad de la señal ( $2n=6x$ ) comparado con la señal de los hematíes de pollo usados como control.

**FIGURE 2.** Histogram of the number of cells depending on the intensity of fluorescence of plant tissue in species of the genus *Festuca* group *rubra*, indicating the relative differences in signal intensity ( $2n=6x$ ) compared to the signal of the chicken red blood cells used as control.

**TABLA 2.** Principal characters of the taxa identified within the *Festuca* group *rubra* (Tabla 1). Two plants per accesión. The coefficient of variation or the minimum and maximum values are shown in brackets.

función de la intensidad de la fluorescencia, comparado con la intensidad en el control compuesto de células de hematíes de pollo (Figura 2). La desviación estándar media del contenido de ADN entre las accesiones fue solo de 0,64 pg y varió de 0,05 a 1,23 pg.

En el caso de las accesiones de *F. gr. ovina* y el cultivar control 'Ridu' (Tabla 3), ninguna presentó rizomas, pudiéndose diferenciar un grupo mayoritario (accesiones 1, 18, 22, 24, 25 y 26) con esclerénquima continuo, vainas abiertas y glabras, con presencia de acúleos, con sección foliar en forma elíptica y una costilla (Figura 3). Todas las accesiones de este grupo presentaron una ploidía  $2n=8x=56$  (Figura 4). Debido a que sus caracteres anatómicos y morfológicos no coinciden con otras especies conocidas hasta la fecha (Díaz *et al.*, 1994), podrían corresponder a una especie aún no descrita y que merecería la pena estudiar en más profundidad.

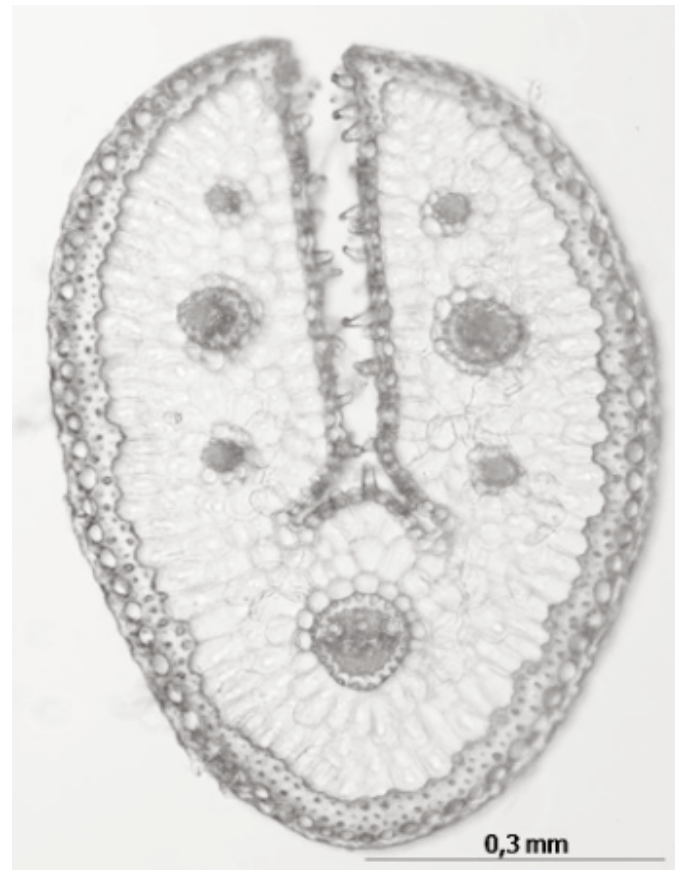
**TABLA 3.** Caracteres principales en los taxones identificados dentro del grupo *Festuca ovina* (Tabla 1). Dos plantas por accesión. El coeficiente de variación (%) o los valores mínimo y máximo se ponen entre paréntesis.

**TABLE 3.** Principal characters of the taxa identified within the *Festuca* group *ovina* (Table 1). Two plants per accesión. Coefficient of variation or minimum and maximum values are shown in brackets.

Accesiones	1,18,22,24,25,26	5,9	28	Ridu
Pubescencia vaina	-	+	-	+
Rizomas	ausencia	ausencia	ausencia	ausencia
Acúleos abaxiales	presencia	presencia	ausencia	presencia
Sección foliar	oboval-elíptica	oboval	oboval	oboval-elíptica
Anchura hoja (mm)	0,40 (15,7)	0,38 (18,5)	0,36 (0,33-0,39)	0,39 (0,38-0,40)
Díámetro foliar (mm)	0,78 (12,7)	0,67 (22,7)	1,0 (0,90-1,10)	0,85 (0,79-0,92)
Nº de nervios	5-7	5-6	7	7
Nº de costillas adaxiales	1	1	5	3
Nº de macizos de esclerénquima abaxial	-	-	3	3
Nº de cromosomas (2n)	56	70	28	42

Las accesiones 5 y 9 presentaron vainas abiertas, pubescentes y el resto de características de anatomía foliar y morfología igual que el grupo anterior de accesiones, con un nº de cromosomas de 70 ( $2n=10x$ ). Según Ferrero Lomas (1999), el taxón *F. summilusitana* engloba dos citotipos fenotípicamente muy semejantes, uno hexaploide de distribución gredense y otro decaploide distribuido por los macizos montañosos del occidente peninsular. Estos dos citotipos se diferencian en la apertura de la vaina y en el número de nervios y de costillas adaxiales. Debido a la gran variabilidad en ese taxón (De la Fuente y Ortúñez, 2000) y la ploidía  $10x$  encontrada en las accesiones 5 y 9, éstas se podrían clasificar como una especie afín a *F. summilusitana*.

Por otra parte, la accesión 28 presentó vainas abiertas y glabras, con sección foliar en forma oboval, ausencia de acúleos, tres macizos de esclerénquima y cinco costillas (Figura 5). Su número de cromosomas fue de 28 ( $2n=4x$ ). Dicha accesión se clasificó como *F. rivas-martinezii* (Ferrero Lomas, 1999).



**FIGURA 3.** Sección transversal del limbo foliar de *Festuca* grupo *ovina* ( $2n=8x=56$ ) (Fernández-Campos, 2008).

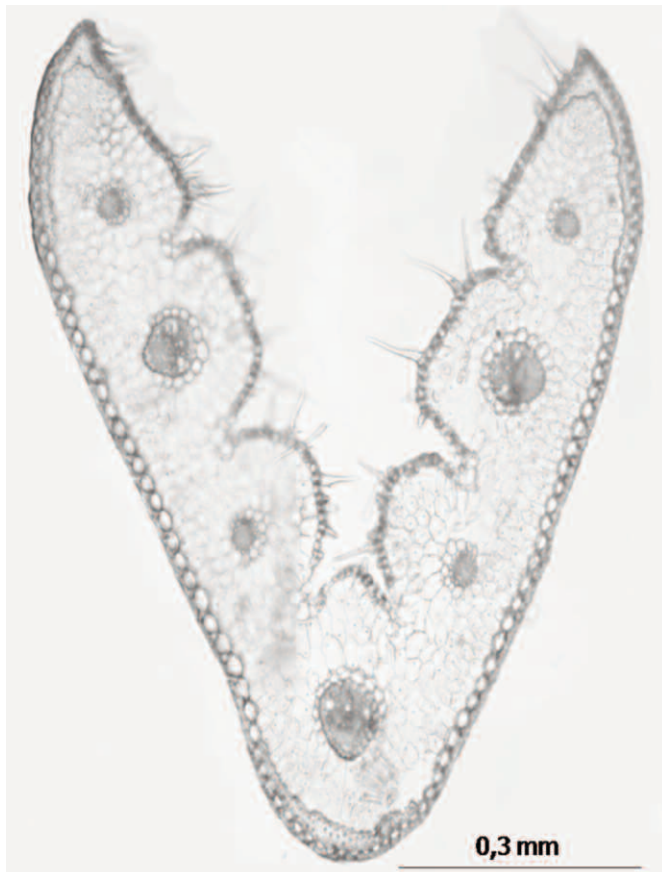
**FIGURE 3.** Leaf blade cross section of *Festuca* group *ovina* ( $2n=8x=56$ ) (Fernández-Campos, 2008).



**FIGURA 4.** Cromosomas en *Festuca* grupo *ovina* ( $2n=8x=56$ ). Tinción Feulgen. 1000X.

**FIGURE 4.** Chromosomes in *Festuca* group *ovina* ( $2n=8x=56$ ). Feulgen Stain. 1000X.

Con la colaboración de:



**FIGURA 5.** Sección transversal del limbo foliar de *Festuca* grupo *ovina* (*Festuca rivas-martinezii*,  $2n=4x=28$ ) (Fernández-Campos, 2008).

**FIGURE 5.** Leaf blade cross section of *Festuca* group *ovina* (*Festuca rivas-martinezii*,  $2n=4x=28$ ) (Fernández-Campos, 2008).

Tanto por los caracteres de anatomía foliar, morfológicos y número de cromosomas, ninguna de las accesiones estudiadas de *F. gr. ovina* se podría incluir en ninguno de los dos grupos comerciales de *F. ovina* (*F. stricta* subsp. *trachyphylla*,  $2n=6x=42$  y *F. ovina* subsp. *tenuifolia*,  $2n=4x=28$ ).

## Caracterización agronómica y presencia de hongos endófitos

### *Festuca* grupo *rubra*

Las mismas accesiones de *F. rubra* estudiadas por Oliveira-Prendes y Fernández Casado (2014) y el cultivar 'Wilma' se caracterizaron agronómicamente en el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (A Coruña, Galicia), mediante un diseño en bloques completos al azar con tres réplicas de 10 plantas por accesión. Las plantas se caracterizaron agronómicamente mediante siete caracteres (color, crecimiento en otoño, primavera y verano, susceptibilidad a la roya coronada en otoño y primavera, y fecha de espigado) durante 2004 y 2005. El 86% de las accesiones estuvieron infectadas con hongos endófitos *Epichloë* (determinación realizada en 50 semillas por accesión), con un porcentaje de infección que varió entre el 2 y el 73% (Oliveira *et al.*, 2008). La alta proporción

de accesiones infectadas con hongos endófitos lleva a pensar que las mejores plantas seleccionadas en programas de mejora tienen una probabilidad alta de estar infectadas con hongos endófitos.

Mediante análisis estadísticos multivariantes se identificaron cuatro grupos que describieron el 66,5% de la variación fenotípica. El grupo 1 incluyó nueve accesiones con fecha de espigado temprana, valores intermedios de color verde, buena tolerancia a la enfermedad foliar roya coronada en el otoño y poca tolerancia en primavera, y los valores más altos de crecimiento estacional. El grupo 2 comprendió dos accesiones con valores intermedios de fecha de espigado y color verde, buenos valores de tolerancia a la roya coronada en el otoño y poca tolerancia en primavera, y valores intermedios de crecimiento estacional. El grupo 3 incluyó dos accesiones y, junto al cultivar 'Wilma', mostraron espigado precoz, color verde oscuro, buena tolerancia a la roya coronada en otoño y primavera y valores intermedios de crecimiento estacional. El grupo 4 incluyó las dos accesiones de espigado tardío, color verde oscuro, la mejor tolerancia a la roya coronada en otoño y primavera, y valores intermedios de crecimiento estacional. Los grupos 3 y 4 son los que presentan más interés con vistas a su utilización en mejora de céspedes.

### *Festuca* gr. *ovina*

Las nueve accesiones de *F. gr. ovina* estudiadas por Oliveira-Prendes y Fernández Casado (2014) se caracterizaron agronómicamente junto con cuatro cultivares testigos (*F. ovina* 'Ridu', *F. rubra* subsp. *rubra* 'Commodore', *F. rubra* subsp. *commutata* 'Wilma' y *Poa pratensis* 'Compac'). La caracterización (Oliveira-Prendes *et al.*, 2004) se realizó desde el año 2001 al 2003 en el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (A Coruña) mediante 14 caracteres agromorfológicos (fecha de espigado, longitud y anchura de la hoja bandera, altura en floración, longitud de inflorescencias, presencia o ausencia de rizomas, crecimiento en otoño, primavera y verano, enfermedades foliares en otoño y primavera, habito de crecimiento en otoño y anchura y color de hojas en primavera), mediante un diseño en bloques completos al azar con tres réplicas de 10 plantas por accesión. Se determinó también la presencia del hongo endófito *Epichloë* en una muestra de 50 semillas por accesión.

Se detectaron semillas infectadas en seis de las nueve accesiones de *F. ovina*, con un porcentaje de infección que varió entre el 6% y el 64%. La mayoría de las accesiones presentaron niveles de infección bajos a moderados (0% a 50%). No se observó un efecto significativo de la infección por hongos endófitos en caracteres observados en el ensayo de plantas aisladas, lo que coincide con los resultados de Ravel *et al.* (1995) y probablemente se deba a la reducida competencia por nutrientes o agua entre las plantas aisladas en relación a los ensayos en parcelas.

Con la colaboración de:

En general, las accesiones de *F. ovina* presentaron un menor crecimiento de primavera y verano, así como una menor altura en floración y una mejor tolerancia a enfermedades foliares en el otoño que las accesiones de *F. rubra* y *Poa*. Estas características parecen indicar un posible interés de alguna de estas accesiones de *F. ovina* (grupo octoploide) para su uso en céspedes de bajo mantenimiento y en restauración paisajística.

## Tolerancia al hongo de la mancha del dólar en *F. rubra*

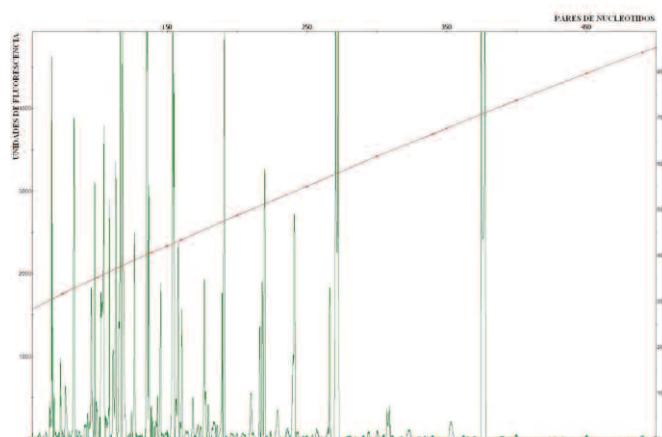
En el estudio de tolerancia al hongo *S. homoeocarpa* se utilizó la cepa SH01CIAM aislada y caracterizada genéticamente por Oliveira *et al.* (2010a) en muestras recogidas en plantas de rai-grás inglés infectadas y con síntomas de la enfermedad en un campo de golf de las Caldas (Oviedo, Asturias). Con el procedimiento de inoculación artificial indicado en Oliveira *et al.* (2010a), se identificaron dos accesiones de *F. rubra* pertenecientes al grupo 1 (13 y 16) y una incluida en el grupo 2 (6) (Tabla 1) con un nivel moderado de resistencia a dicha enfermedad (valor medio 5, 6 o mayor, escala de 1 = planta completamente afectada a 9 = planta sin síntomas). Los números 13 y 16 se clasificaron por Oliveira *et al.* (2008) como *F. rubra* subsp. *pruinosa*, siendo similares genéticamente según los cinco marcadores AFLP estudiados. Según los mismos autores la accesión número 6 pertenece al taxón *F. heteromalla* y, al estar incluida en el grupo 2, es diferente genéticamente a las accesiones 13 y 16.

Los ensayos en cámara de cultivo o en invernadero son diferentes de los ensayos de campo en varios aspectos, particularmente en el tipo y cantidad de inóculo, edad de las plantas y factores ambientales. Las limitaciones de los estudios en cámara de cultivo o en invernadero reducen el rango potencial de severidad de los ataques que se pueden observar en las accesiones. A pesar de estas limitaciones, los datos obtenidos en los ensayos de invernadero mostraron diferencias significativas entre las accesiones de *F. rubra* en su respuesta a la enfermedad de la mancha del dólar. Aunque algunos resultados sugieren una cierta resistencia de la planta huésped a algunas razas del hongo (Chakraborty *et al.*, 2006; Casler *et al.*, 2007), es importante evaluar cada enfermedad en un conjunto amplio de condiciones ambientales y en ausencia de otros patógenos. En base a estos resultados, el material seleccionado por su resistencia a esta enfermedad podría utilizarse en programas de creación de variedades de *F. rubra* que combinen una mayor tolerancia y un buen comportamiento cespitoso.

## Caracterización genética de accesiones de *Festuca rubra*

Con el fin de caracterizar genéticamente 15 accesiones de *F. rubra* recogidas en el Norte de España, Oliveira *et al.* (2010a) utilizaron marcadores moleculares AFLP. Cinco combinaciones de cebadores *EcoRI*/*MseI* AFLP permitieron obtener 980

bandas, de las cuales el 82% fueron polimórficas. Un ejemplo de patrón de bandas se presenta en la Figura 6. La comparación de la semejanza genética por pares, reveló un nivel de diversidad medio entre las accesiones de *F. rubra* del norte de España. El coeficiente de semejanza genética (GSj de Jaccard) se situó entre 0,30 y 0,63, con una media de 0,55. Las accesiones más semejantes fueron las 11 y 13 (Tabla 1) (GSj = 0,63). En el otro extremo, las menos semejantes fueron la 2 y 12 (Tabla 1) (GSj = 0,30). Para estas combinaciones de cebadores AFLP, ninguna de las accesiones estudiadas compartieron el mismo perfil genético, indicando la ausencia de duplicaciones dentro de las 15 accesiones de *F. rubra*.



**FIGURA 6.** Patrón de bandas (electroferograma) generado por el marcador AFLP combinación del cebador *EcoRI* marcado con el fluorocromo verde y el *MseI* sin marcar (E-ACG+M-CAA), a partir del ADN de cinco muestras de *Festuca rubra* de la población 16 (Tabla 1) en un secuenciador ABI PRISM® 3100. La línea roja representa el patrón estándar de tamaños. En abscisas el número de pares de nucleótidos (~ longitud de los fragmentos) y en ordenadas unidades de fluorescencia (~ intensidad de fragmentos) (Labra Villar, 2008).

**FIGURE 6.** Banding pattern (electropherogram) generated by the AFLP marker primer combination *EcoRI* marked with a green fluorochrome and *MseI* unlabeled (E-ACG + M-CAA) from the DNA of five samples of *Festuca rubra* population 16 (Table 1) in a sequencer ABI PRISM® 3100. The red line represents the standard pattern sizes. In abscissa the number of pairs of nucleotides (~ fragment length) and in the ordinate the fluorescence units (~ fragment intensity) (Labra Villar, 2008).

El dendrograma y el análisis de componentes principales obtenidos permitieron diferenciar dos grupos principales de accesiones de *F. rubra*. El grupo más numeroso estuvo compuesto por las accesiones 1, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 16 (Tabla 1), con un GSj de 0,54. El segundo grupo incluyó las accesiones 2, 3, 5 y 6 (Tabla 1), con un GSj de 0,51.

La comparación entre la matriz agronómica (distancias Euclídeas), obtenida por Oliveira *et al.* (2008), y los datos AFLP no mostraron una correlación significativa ( $r = -0,04$ ,  $P = 0,4011$ ) según la estadística Z de Mantel. Estos resultados sugieren que estos dos métodos de evaluación de la diversidad genética dan

diferentes estimaciones de las relaciones genéticas entre las accesiones de *F. rubra* del Norte de España, al igual que lo indicado por otros autores (Maric *et al.*, 2004; Tar'an *et al.*, 2005).

La diversidad genética obtenida en este trabajo se podría atribuir al hecho de que las accesiones de *F. rubra* son alógamas y se encuentran dentro del centro de diversidad de estas especies, incluyendo niveles de ploidía y tipos reproductivos en simpatria (Perring y Walters, 1976). Desde el punto de vista de la conservación del germoplasma, el cruzamiento de accesiones dentro de cada grupo agronómico no es aconsejable debido al riesgo de recombinación genética (Oliveira y Charmet, 1988-1989); por ese motivo, las accesiones se regeneraron individualmente en aislamiento.

La necesidad de establecer una colección núcleo (López y Oliveira, 2000), más pequeña y representativa que la colección total, se justifica por la necesidad de multiplicación de semilla para su distribución a bancos de germoplasma, o para una evaluación agronómica en parcelas experimentales. Con ese fin se seleccionaría una accesión representativa en cada grupo agronómico y se multiplicaría individualmente y en aislamiento como mejor estrategia para conservar la variabilidad existente. De esta manera se conservaría cada "fenotipo" de las accesiones de *F. rubra*.

## AGROSTIS

### Anatomía foliar, morfología y ploidía

En un estudio realizado sobre accesiones del género *Agrostis* (Tabla 4) recogidas en diferentes localidades de Asturias y zonas limítrofes, González-García (2006) mostró que los caracteres de anatomía foliar no resultaron muy discriminantes en la separación de las diferentes especies del género, siendo mejores los caracteres morfológicos y florales. Así, el número de nervios (haces vasculares) fue mayor de siete en todas las accesiones de *Agrostis* (Figura 7), salvo en *A. curtisii* (Figura 8; García-Suárez *et al.*, 1993).

Los principales caracteres morfológicos que nos permitieron diferenciar las especies de *Agrostis* se presentan en la Tabla 5. Es de destacar que *A. stolonifera* tiene las espiguillas distribuidas a lo largo de todas las ramas del nudo inferior de la panícula, mientras que el resto de las especies estudiadas solo lo tienen en la mitad superior. La longitud de la lígula es menor que su anchura en *A. capillaris* y mayor o igual en *A. stolonifera*. *A. durieui* presenta una mayor longitud de los pedúnculos de las espiguillas respecto a la longitud de las espiguillas, siendo lo contrario en el resto de especies estudiadas.

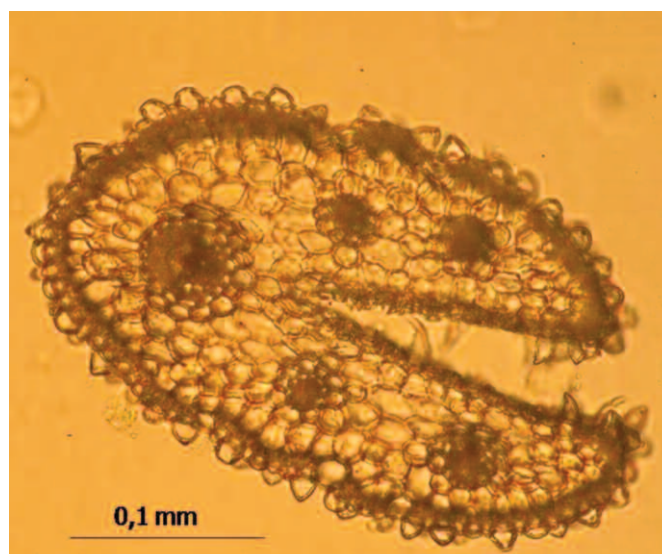
Oliveira-Prendes y Salas-Bustamante (2015) encontraron diferencias altamente significativas ( $p < 0,001$ ) entre las accesiones para el contenido en ADN nuclear. De las 20 accesiones, cuatro fueron diploides ( $2x=14$ ), 13 tetraploides

( $4x=28$ ) (Figura 9) y tres hexaploides ( $6x=42$ ) (Tabla 6). El contenido de ADN nuclear medio de las diploides fue de 3,22 pg, 5,13 pg en las tetraploides y 7,93 pg en las hexaploides. Los resultados están en correspondencia con los indicados por Bonos *et al.* (2002) en especies de *Agrostis* del mismo nivel de ploidía. El contenido de ADN nuclear de los tetraploides no fue exactamente el doble del de los diploides, y el de los hexaploides fue menos de tres veces el de los diploides; esto puede ser debido a las diferencias en los genomas de las especies o a la delección (pérdida de bases) de ADN repetitivo en los niveles de ploidía superiores (Bonos *et al.*, 2002).



**FIGURA 7.** Sección transversal del limbo foliar de *Agrostis capillaris*, accesión 500 (González-García, 2006).

**FIGURE 7.** Leaf blade cross section of *Agrostis capillaris*, accession 500 (González-García, 2006).



**FIGURA 8.** Sección transversal del limbo foliar de *Agrostis curtisii*, accesión 499 (González-García, 2006).

**FIGURE 8.** Leaf blade cross section of *Agrostis curtisii*, accession 499 (González-García, 2006).

Con la colaboración de:

**TABLA 4.** Accesiones de seis especies de *Agrostis*: una accesión de *A. durieui* (Adu), tres de *A. curtisii* (Acu), 19 de *A. capillaris* (Aca), una de *A. hesperica* (Ahes), tres de *A. stolonifera* (Asto) y una de *A. castellana* (Acas). Nº de inventario en la colección el Centro Nacional de Recursos Fitogenéticos de España (CRF), nº de accesión en la colección del Área de Producción Vegetal de la Universidad de Oviedo y origen de las accesiones (Oliveira-Prendes y Salas-Bustamante, 2015). \*La columna Código indica el número de las accesiones en Zhao *et al.* (2006).

Inventario	Número	Código*	Provincia	Localidad	Hábitat	Lat	Long	Alt (m)
	25Adu		Asturias	Puerto de Somiedo	Césped arenoso	43°02'N	06°13'O	1486
	167Acu		Asturias	Vegadeo	Brezal	43°21'N	07°01'O	900
NC074792	324Acu		Asturias	Pesoz	Camino	43°16'N	06°52'O	350
	499Acu		Asturias	Boal	Brezal	43°25'N	06°50'O	780
	302Aca		La Coruña	Pino	Prado higrófilo	42°54'N	08°22'O	400
	304Aca		Pontevedra	Duxame	Prado higrófilo	42°48'N	08°10'O	430
	2Aca	1265	Asturias	Pousadoiro	Prado	41°38'N	07°03'O	800
	3Aca	1266	Asturias	StaEulaliaOscos	Prado	43°15'N	07°01'O	560
	4Aca	1267	Asturias	Milladoira	Baldío	43°15'N	07°01'O	560
	5Aca	1268	Asturias	Sueiro	Prado	43°32'N	06°54'O	140
	6Aca	1269	Asturias	La Roda	Prado	43°32'N	06°58'O	100
NC074782	7Aca	1270	Asturias	El Franco	Baldío	43°32'N	06°52'O	150
	8Aca	1271	Asturias	Pilando	Prado	43°33'N	06°47'O	120
	10Aca	1273	Asturias	Miudes	Prado	43°33'N	06°47'O	90
NC074786	11Aca	1274	Asturias	La Colorada	Camino	43°33'N	06°40'O	90
NC074787	12Aca	1275	Lugo	Barbeitos	Baldío	43°09'N	07°01'O	900
	13Aca	1276	Asturias	Restrepo	Prado	43°25'N	07°59'O	600
	15Aca	1278	Asturias	Vivelez	Prado	43°34'N	06°50'O	50
	20Aca		Cantabria	Alto Campoo	Pasto de puerto	43°05'N	04°25'O	2100
	21Aca		Asturias	Alto de la Garganta	Borde carretera	43°20'N	07°00'O	896
NC074797	22Aca	1285	León	Riaño	Baldío	42°50'N	04°50'O	1000
NC074798	23Aca	1286	Asturias	Figaredo	Baldío	43°10'N	05°50'O	200
	500Aca		Asturias	Boal	<i>P. sylvestris</i>	43°25'N	06°50'O	780
	488Ahes		Asturias	Boal	Zona higrófila	43°25'N	06°49'O	800
	14Asto		Asturias	Penarronda	Playa	43°32'N	06°59'O	0
	17Asto		Asturias	Alto de la Garganta	Turberaoligotrofa	43°20'N	07°00'O	896
	18Asto		Asturias	Puerto de Somiedo	Turberaeutrofa	43°02'N	06°13'O	1486
	505Acas		León	Barrios de Luna	Pastizal	42°50'N	05°51'O	1039

**TABLE 4.** Accessions of six species of *Agrostis*: one accession of *A. durieui* (Adu), three of *A. curtisii* (Acu), 19 of *A. capillaris* (Aca), one of *A. hesperica* (Ahes), three of *A. stolonifera* (Asto) and one *A. castellana* (Acas) Inventory number in the collection of the Spanish National Phylogenetic Resources Centre (CRF), accession number in the collection of the Plant Production Area of the University of Oviedo and origin of the accessions (Oliveira-Prendes and Salas-Bustamante, 2015). \*The column Código indicate the accession number in Zhao *et al.* (2006).

**TABLA 5.** Caracteres de morfología floral usados para la determinación de las especies del género *Agrostis*. Tres plantas por accesión (Oliveira-Prendes y Salas-Bustamante, 2015).

	<i>A. durieui</i>	<i>A. curtisii</i>	<i>A. hesperica</i>	<i>A. capillaris</i>	<i>A. stolonifera</i>	<i>A. castellana</i>
Posición espiguillas en ramas nudo inferior panicula	mitad superior	mitad superior	mitad superior	mitad superior	toda la rama	mitad superior
Longitud espiguillas (mm)	1,2-1,7	3,1-3,2	2,4-2,6	2,0-2,4	2,0-2,6	2,0-2,2
Longitud pedúnculos espiguillas/longitud espiguillas	>	≤	≤	≤	≤	≤
Longitud palea/lema	>1/3	≤1/3	≤1/3	>1/3	>1/3	>1/3
Longitud lígula/anchura lígula	<	≥	<	<	≥	≥

**TABLE 5.** Floral morphology characters used for the determination of species of the genus *Agrostis*. Three plants per accession (Oliveira-Prendes and Salas-Bustamante, 2015).

Dentro de cada nivel de ploidía se incluyeron diferentes especies del género *Agrostis* en correspondencia con los resultados de otros autores (Romero García *et al.*, 1988; Bonos *et al.*, 2002). Aunque el contenido en ADN nuclear no permitió diferenciar especies dentro del mismo nivel de ploidía, la accesión 14 de *A. stolonifera* (tetraploide) presentó un valor significativamente mayor de ADN nuclear que el resto de accesiones tetraploides. Dentro de *A. stolonifera* se encontraron dos niveles de ploidía (4x y 6x) que, aunque morfológicamente similares (Tabla 5), correspondieron a dos especies diferentes. La especie tetraploide se denomina habitualmente *A. stolonifera* var. *pseudopungens*, y está ligada a sustratos salinos (Romero Gar-

cía *et al.*, 1988). Por su parte, las accesiones de la especie hexaploide se caracterizan por ser plantas de lugares húmedos no halófilos (turberas). La accesión 17 al estar compuesta por plantas robustas, con panículas de gran tamaño y hojas planas de 4-8 mm de anchura, se correspondería, según Romero García *et al.* (1988), con *A. stolonifera* var. *scabriglumis*. La accesión 18, por el contrario, estaba compuesta de plantas menos robustas, con hojas planas de 2-4 mm de anchura y según Romero García *et al.* (1988) se podría corresponder con la variedad típica *A. stolonifera* var. *stolonifera*. Los tres taxones están descritos en el Principado de Asturias (Fernández Prieto *et al.*, 2014).

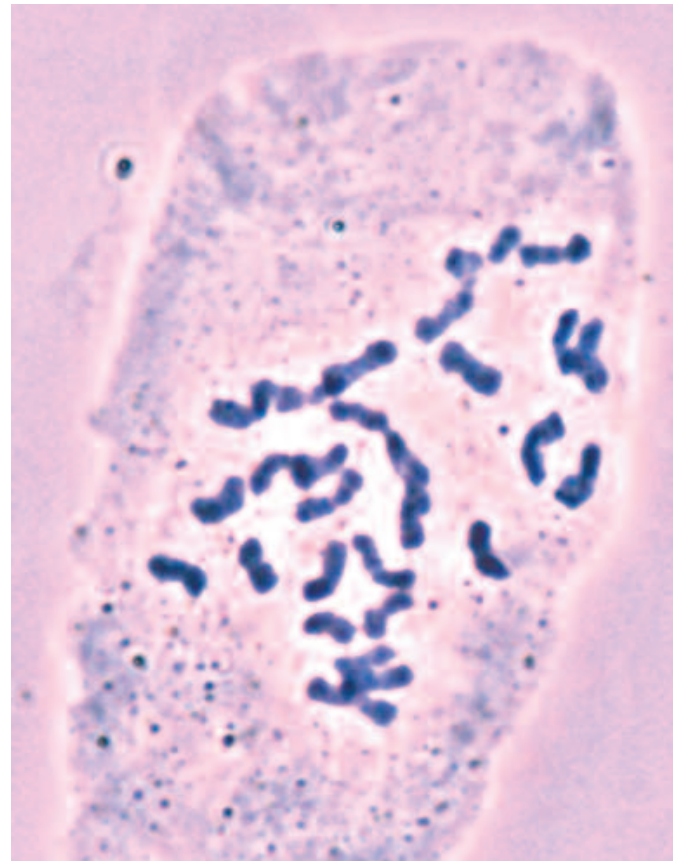
**TABLA 6.** Medias  $\pm$  desviación estándar para el contenido en ADN (valor 2C) en pg en 20 accesiones del género *Agrostis* y el cultivar de *Agrostis capillaris* 'Golfin'. LSD (Mínima diferencia significativa al nivel del 5%). Diferencias significativas entre cualquiera de dos medias se indican por diferentes letras en la misma columna (Oliveira-Prendes y Salas-Bustamante, 2015).

**TABLE 6.** Means  $\pm$  standard deviation for the DNA content (2C value) in pg in 20 accessions of the genus *Agrostis* and the cultivar of *Agrostis capillaris* 'Golfin'. LSD (Least significant difference at 5%). Significant differences between any two means are indicated with different letters in the same column (Oliveira-Prendes and Salas-Bustamante, 2015).

Número	Especie	ADN (pg)	Ploidía
25	<i>A. durieui</i>	3,23 $\pm$ 0,14e	2x
167	<i>A. curtisii</i>	3,24 $\pm$ 0,04e	2x
324	<i>A. curtisii</i>	3,12 $\pm$ 0,05e	2x
499	<i>A. curtisii</i>	3,30 $\pm$ 0,01e	2x
7	<i>A. capillaris</i>	4,83 $\pm$ 0,43d	4x
23	<i>A. capillaris</i>	4,83 $\pm$ 0,43d	4x
302	<i>A. hesperica</i>	5,17 $\pm$ 0,35cd	4x
304	<i>A. hesperica</i>	5,30 $\pm$ 0,46cd	4x
11	<i>A. capillaris</i>	5,07 $\pm$ 0,14cd	4x
12	<i>A. capillaris</i>	5,07 $\pm$ 0,14cd	4x
20	<i>A. capillaris</i>	4,96 $\pm$ 0,26cd	4x
21	<i>A. capillaris</i>	5,07 $\pm$ 0,14cd	4x
22	<i>A. capillaris</i>	5,04 $\pm$ 0,09cd	4x
500	<i>A. capillaris</i>	5,07 $\pm$ 0,14cd	4x
Golfin	<i>A. capillaris</i>	4,90 $\pm$ 0,21cd	4x
488	<i>A. hesperica</i>	5,32 $\pm$ 0,05c	4x
14	<i>A. stolonifera</i>	5,76 $\pm$ 0,30b	4x
17	<i>A. stolonifera</i>	7,85 $\pm$ 0,32a	6x
18	<i>A. stolonifera</i>	7,96 $\pm$ 0,23a	6x
505	<i>A. castellana</i>	7,96 $\pm$ 0,08a	6x
LSD ( $p=0,05$ )		0,40	

## Caracterización agronómica y tolerancia al hongo de la mancha del dólar en *A. capillaris*

Oliveira *et al.* (2010b) caracterizaron catorce accesiones de *A. capillaris* (accesiones 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 22 y 23 de la Tabla 4) procedentes del norte de España en un régimen de baja fertilización durante dos años (2004 y 2005), usando un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones de 15 plantas por accesión (en total 30 plantas por accesión). El cultivar 'Golfin' se incluyó como control en el estudio. Todas las accesiones y el cultivar 'Golfin' se evaluaron cada año mediante 11 caracteres agromorfológicos (fecha de espigado, longitud y anchura de la hoja bandera, altura en floración, longitud de inflorescencias, longitud del entrenudo superior, calidad visual en otoño e invierno, hábito de crecimiento en otoño y anchura y color de hojas en primavera) y la susceptibilidad a la cepa SH01CIAM de *S. homoeocarpa*, en una cámara de crecimiento. Se obtuvieron correlaciones altamente significativas para los datos morfológicos evaluados en dos años ( $r=0,78$ ,  $p<0,01$ ), incluyendo correlaciones positivas entre algunos caracteres, como por ejemplo entre la longitud de la hoja bandera y la longitud de la inflorescencia ( $r=0,93$ ,  $p<0,01$ ). Los datos obtenidos se redujeron a cinco componentes principales que explicaron el 85,4%



**FIGURA 9.** Cromosomas en *Agrostis capillaris* ( $2n=4x=28$ ). Microscopía de contraste de fases. 1250X.

**FIGURE 9.** Chromosomes in *Agrostis capillaris* ( $2n=4x=28$ ). Phase contrast microscopy. 1250X.

de la varianza total. Mediante una clasificación jerárquica, se identificaron cuatro grupos que describen el 50% de la variación fenotípica entre las accesiones. El grupo 1 incluyó cuatro accesiones con la mayor resistencia a la enfermedad de la mancha del dólar, color verde oscuro, espigado tardío y muy buena calidad de césped en el otoño. El grupo 2 incluyó las dos accesiones más precoces de espigado, tolerancia intermedia a la mancha del dólar y mala calidad de césped en el otoño. El grupo 3 comprendió seis accesiones tardías de espigado, color verde oscuro y baja tolerancia a la mancha del dólar. El grupo 4 incluyó dos accesiones y el cultivar 'Golfin' con color verde más claro, baja calidad otoñal de césped y la menor tolerancia a la mancha del dólar.

Teniendo en cuenta que 'Golfin' es un cultivar rústico que requiere poco mantenimiento y las accesiones del grupo 1 mostraron mejor comportamiento cespitoso que 'Golfin', se seleccionaron las plantas con mejores valores de tolerancia a la enfermedad en tres accesiones de este grupo con el fin de obtener una variedad experimental que presente un buen comportamiento cespitoso y tolerancia a esta enfermedad ya que hay autores que indican que es posible una mejora en la tolerancia a esta enfermedad en *Agrostis* (Bonos *et al.*, 2003).



Caracterización agromorfológica de accesiones del Norte de España de agrostis común (*Agrostis capillaris* L.), en Candás (Asturias).

Agromorphological characterization of common bent or browntop (*Agrostis capillaris* L.) accessions collected in northern Spain, in Candás (Asturias).

## Caracterización genética de accesiones de *A. capillaris*

Las accesiones de *A. capillaris* son una fuente potencial de genes de interés para la mejora genética de la resistencia a diversos tipos de estrés ambiental y enfermedades en otras especies de *Agrostis*, en particular en *A. stolonifera* usado en los campos de golf. Con el fin de conservar y completar la caracterización agronómica de las accesiones de *Agrostis* del Norte de España (Oliveira *et al.*, 2010b), se estudió la diversidad genética de 14 accesiones de *A. capillaris* de esta región junto con 22 accesiones del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) mediante marcadores AFLP. Diez combinaciones de cebadores *EcoRI/Msel* y seis *PstI/Msel*, revelaron 181 y 128 bandas polimórficas, respectivamente (Zhao *et al.*, 2006).

La clasificación jerárquica sobre las estimaciones de similitud genética (GS<sub>j</sub>) obtenidas de los marcadores AFLP reveló un nivel alto de diversidad, con valores medios de 0,51 (*EcoRI/Msel*) y 0,63 (*PstI/Msel*). La mayor diversidad se obtuvo con los marcadores *EcoRI/Msel*. Las plantas forrajeras y cespitosas son habitualmente alógamas, lo que es una característica que incrementa la diversidad de la base genética (Renganayaki *et al.*, 2001). Por su parte, la accesión 7 (Sp1270 en el trabajo de Zhao

*et al.*, 2006) resultó diferente del resto de accesiones españolas. Esta accesión estuvo incluida en el grupo 3 obtenido mediante la clasificación agronómica y presentó un color verde oscuro, espigado precoz, gran longitud de inflorescencia y hoja bandera, poca calidad visual en otoño y poca tolerancia a la enfermedad de la mancha del dólar (valor medio 3,2).

Igual que en el estudio de las accesiones de *F. rubra*, la comparación entre la matriz agronómica (distancias Euclídeas) obtenida por Oliveira *et al.* (2010a) y los datos AFLP no mostraron una correlación significativa ( $r=-0.12$  para *EcoRI/Msel*, y  $r=-0.18$  para *PstI/Msel*), sugiriendo que estos dos métodos de evaluación de la diversidad genética dan diferentes estimaciones de las relaciones genéticas entre las accesiones de agrostis común. Esto puede deberse a que el estudio de los datos morfológicos se basó en sólo 11 caracteres y cada uno de ellos podría estar controlado por un pequeño número de loci de caracteres cuantitativos (QTL), que incluso podrían influir en más de uno de los caracteres morfológicos. Por tanto, la región del genoma analizada sería pequeña, a lo que habría que añadir que el ambiente también contribuye a la variación detectada en dichos caracteres. En el caso de los AFLP, aunque el número de fragmentos analizados es relativamente alto, se desconoce su localización cromosómica, por lo que podrían estar ubicados en regiones muy distantes de los QTL

Con la colaboración de:



que controlan los caracteres morfológicos estudiados, con la consiguiente falta de ligamiento y de correlación entre ellos. De hecho, una medida absoluta de la diferencia genética no es técnicamente viable, lo que requeriría una comparación de las secuencias completas del genoma. En consecuencia, cualquier marcador molecular usado para estudiar las diferencias resulta ser una estrategia de muestreo de la variación genómica total.

Por otra parte, se asume que los fragmentos AFLP de igual tamaño son homólogos, es decir, proceden de un mismo locus, cuando puede haber una minoría de bandas de igual tamaño que podría proceder de diferentes loci (Martínez, 1997). Un enfoque para superar los problemas anteriores podría basarse en el uso de marcadores moleculares como los polimorfismos de nucleótido único (SNPs), dado su gran potencial para la detección de asociaciones entre las formas alélicas de un gen y los fenotipos (Rafalski, 2002). Los AFLP son útiles para estudios taxonómicos universales porque la metodología AFLP permite detectar un gran número de loci anónimos, siendo así capaz de clasificar accesiones independientemente de las condiciones ambientales y la etapa de crecimiento de la planta. Sin embargo, como la mayoría de los caracteres deseables en mejora genética suelen ser agronómicos cuantitativos y con influencia ambiental, los estudios agro-morfológicos siguen siendo críticos en la descripción de germoplasma, y pueden servir como una herramienta eficaz para la selección de parentales agro-morfológicamente diversos en los programas de mejora. Por lo tanto, la determinación de la diversidad molecular debe ser vista como un complemento de la caracterización agro-morfológica.

## CONCLUSIONES

Se caracterizaron seis especies de *Agrostis* en las 28 accesiones de la colección, mediante el uso de atributos de morfología floral y nivel de ploidía (2x, 4x y 6x). Asimismo se caracterizaron cuatro taxones de *F. rubra* en 15 accesiones y tres taxones de *F. ovina* dentro de las nueve accesiones de la colección mediante caracteres de anatomía foliar y nivel de ploidía. En *F. rubra* todas las accesiones estudiadas fueron hexaploides (6x), en cambio, en *F. ovina* se encontraron tres niveles de ploidía (4x, 8x y 10x). El 86% de las accesiones de *F. rubra* se encontraron infectadas con hongos endófitos *Epichloë* con un porcentaje de infección que varió entre el 2% y el 73%. También se detectaron semillas infectadas en seis de las nueve accesiones de *F. ovina* con un porcentaje de infección que varió entre el 6% y el 64%.

La caracterización agronómica, genética y la tasa de tolerancia al hongo de la mancha del dólar permitió la selección positiva de una accesión de *F. rubra*, una de *F. ovina* y tres accesiones de *A. capillaris*, que se multiplicaron con el fin de su utilización potencial en la creación de nuevos cultivares para céspedes.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias al proyecto INIA-RF-025-C2-1. Agradecemos a todas las personas que han colaborado en los diferentes ensayos cuyos resultados se presentan aquí.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BONOS S.A., CASLER M.D. Y MEYER W.A. (2003) Inheritance of dollar spot resistance in creeping bentgrass. *Crop Science*, 43, 2189-2196.
- BONOS S.A. Y HUFF D.R. (2013) Cool-season grasses: biology and breeding. En: Stier J.C. et al. (Eds) *Turfgrass: biology, use and management. Agronomy Monograph*, 56, pp 591-660, Madison, WI, Estados Unidos: ASA, CSSA, and SSSA.
- BONOS S.A., PLUMLEY K.A. Y MEYER W.A. (2002) Ploidy determination in *Agrostis* using flow cytometry and morphological traits. *Crop Science*, 42(1), 192-196.
- BRADSHAW A.D. (1957) Natural hybridization of *Agrostis tenuis* Sibth. and *A. stolonifera* L. *The New Phytologist*, 57, 66-84.
- CASLER M.D., JUNG G., BUGHRARA S.S., HAMBLIN A., WILLIAMSON C. Y VOIGT T. (2007) *Development of creeping bentgrass with multiple pest resistance*. Alexandria, VA, Estados Unidos: USGA Green Section. Disponible en: <http://gsrpdf.lib.msu.edu/ticpdf.py?file=/2000s/2007/070115.pdf>. Consulta: 10 junio 2016.
- CATALÁN P., TORRECILLA P., LÓPEZ RODRÍGUEZ J.A. Y OLMSTEAD R.G. (2004) Phylogeny of festucoid grasses of subtribe *Loliinae* and allies (*Poeae*, *Pooideae*) inferred from ITS and trnL-F sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 31: 517-541.
- CHAKRABORTY N., CHANG T., CASLER M.D., Y JUNG G. (2006) Response of bentgrass cultivars to *Sclerotinia homoeocarpa* isolates representing 10 vegetative compatibility groups. *Crop Science*, 46, 1237-1244.
- CHARMET G., BION A. Y BALFOURIER F. (1989) Agronomic evaluation of perennial ryegrass wild populations from Ireland for use in French plant breeding programmes. *Agronomie*, 9, 985-991.
- CLARKE B.B., WHITE J.F., HURLEY H., TORRES M.S., SUN S. Y HUFF D.R. (2006) Endophyte-mediated suppression of dollar spot disease in fine fescues. *Plant Disease*, 90, 994-998.
- DE LA FUENTE V. Y ORTUÑEZ E. (2000). Nueva especie de *Festuca* L. sección *Festuca* (*Poaceae*) en la Península Ibérica. *Lazaroa*, 21, 3-6.
- DE NOVA P.J., DE LA CRUZ M., MONTE J.V. Y SOLER C. (2006) Genetic relationships within and among Iberian fescues (*Festuca* L.) based on PCR-amplified markers. *Genome* 49, 1170-1183.
- DÍAZ T.E., FERNÁNDEZ J.A., NAVA H.S. Y FERNÁNDEZ M.A. (1994) Catálogo de la flora vascular de Asturias. *Itinera Geobotánica*, 8, 529-600.

Con la colaboración de:



- DOLEZEL J., GREILHBER J. Y SUDA J. (2007) Flow cytometry with plants: an overview. En: Dolezel J. et al. (Eds) *Flow cytometry with plant cells. Analysis of genes, chromosomes and genomes*, pp. 41-65. Weinheim, Alemania: Wiley.
- FERNÁNDEZ DE GOROSTIZA M. (1996) Semillas de gramíneas para césped. En: De Liñán C. (Ed) *Áreas Verdes, Parques y Jardines*, pp. 229-288. Madrid, España: Ediciones Agro-técnicas S.L.
- FERNÁNDEZ-CAMPOS V. (2008) *Caracterización morfológica y anatomía foliar de festucas finas del Norte de España*. Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Forestal. Área de Producción Vegetal. Escuela Politécnica de Mieres. Universidad de Oviedo.
- FERNÁNDEZ PRIETO J.A., CIRES RODRIGUEZ E., BUENO SÁNCHEZ A., VÁZQUEZ V.M. Y NAVA FERNÁNDEZ H.S. (2014) *Catálogo de las plantas vasculares del Principado de Asturias*. Gijón, España: Ayuntamiento de Gijón y Jardín Botánico Atlántico. Disponible en: [http://botanico.gijon.es/multimedia\\_objects/download?object\\_type=document&object\\_id=158674](http://botanico.gijon.es/multimedia_objects/download?object_type=document&object_id=158674). Consulta: 12 mayo 2016.
- FERRERO LOMAS L.M<sup>a</sup>. (1999) *Citogenética, evolución y biogeografía de las secciones Festuca L. (Intravaginales) y Esikia Willk., del género Festuca L. (Poaceae) en la Península Ibérica*. Tesis doctoral. Madrid, España: Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid.
- FUNK C.R. (1998) *Opportunities for genetic improvement of underutilized plants for turf*. New Brunswick, NJ, Estados Unidos: Rutgers University. Disponible en: <https://turf.rutgers.edu/research/abstracts/symposium1998.pdf>. Consulta: 13 septiembre 2016.
- GALLI Z., PENKSZA K., KISS E., SÁGI L. Y HESZKY L.E. (2006) Low variability of internal transcribed spacer rDNA and trnL (UAA) intron sequences of several taxa in the *Festuca ovina* aggregate (Poaceae). *Acta Biologica Hungarica*, 57 (1), 57-69.
- GARCIA-SUAREZ R., FERNANDEZ-PRIETO J.A. Y FERNANDEZ-CARVAJAL ALVAREZ M<sup>a</sup>.C. (1993) Clave para la identificación de gramíneas pratenses de Asturias. *Lagasalia*, 17(1), 37-57.
- GONZÁLEZ GARCÍA M. (2006) *Identificación de agrostis y festucas finas mediante caracteres de hoja morfológicos y anatómicos*. Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Forestal. Área de Producción Vegetal. Escuela Politécnica de Mieres. Universidad de Oviedo.
- HAO J., YOU C. Y DENG X. (2002) Cell size as a morphological marker to calculate the mitotic index and ploidy level of citrus callus. *Plant Cell Reports*, 20, 1123-1127.
- HAYWARD M.D., DE LACEY I.H., TYLER B.F. Y DRAKE D.W. (1982) The application of pattern analysis for the recognition of adaptation in a collection of *Lolium multiflorum* populations. *Euphytica*, 31, 383-396.
- HUBBARD C.E. (1984) *Grasses: a guide to their structure, identification, uses and distribution in the British Isles*. London, Reino Unido: Penguin Books.
- HUFF D.R. Y PALAZZO A.J. (1998) Fine fescue species determination by laser flow cytometry. *Crop Science*, 38, 445-450.
- JAUHAR P.P. (1975) Genetic regulation of diploid-like chromosome pairing in the hexaploid species *Festuca arundinacea* Schreb. and *F. rubra* L. (Gramineae). *Chromosoma*, 52(4), 363-382.
- JONES K. (1956a) Species differentiation in *Agrostis* I. Cytological relationships in *Agrostis canina* L. *Journal of Genetics*, 54, 370-376.
- JONES K. (1956b) Species differentiation in *Agrostis* II. The significance of chromosome pairing in the tetraploid hybrids of *Agrostis canina* subsp. *montana* Hartmn., *A. tenuis* Sibth. and *A. stolonifera* L. *Journal of Genetics*, 54, 377-393.
- JONES K. (1956c) Species differentiation in *Agrostis* III. *Agrostis gigantea* Roth. and its hybrids with *A. tenuis* Sibth. and *A. stolonifera* L. *Journal of Genetics*, 54, 394-399.
- KERGUÉLEN M. Y PLONKA F. (1989) Les *Festuca* de la Flore de France (Corse comprise). *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, 10, 1-368.
- KINDLER S.D., BREEN J.P. Y SPRINGER T.L. (1991) Reproduction and damage by Russian wheat aphid (*Homoptera: Aphididae*) as influenced by fungal endophytes and cool season turfgrasses. *Journal of Economic Entomology*, 84, 685-692.
- LABRA VILLAR L. (2008) *Caracterización de festucas del grupo rubra mediante marcadores moleculares AFLP*. Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Forestal. Área de Producción Vegetal. Escuela Politécnica de Mieres. Universidad de Oviedo.
- LAZENBY A. Y ROGERS H.H. (1964) Selection criteria in grass breeding. II. Effect on *Lolium perenne* of differences in population density, variety and available moisture. *Journal of Agricultural Science*, 62, 285-298.
- LÓPEZ J.E. Y OLIVEIRA J.A. (2000) Comparación de procedimientos para elaborar colecciones nucleares en poblaciones españolas de raigrás inglés e italiano. *Pastos*, 30 (1), 71-102.
- MACBRYDE B. (2006) *White paper: Perspectives on creeping bentgrass, Agrostis stolonifera L.* Riverdale, Maryland, Estados Unidos: USDA/APHIS/BRS. Disponible en: [https://www.aphis.usda.gov/peer\\_review/downloads/cbg-wpFinal.pdf](https://www.aphis.usda.gov/peer_review/downloads/cbg-wpFinal.pdf). Consulta: 26 febrero 2017.
- MAJIDI M.M., MIRLOHI A.F. Y SAYED-TABATABAEI B.E. (2006) AFLP analyses of genetic variation in Iranian fescue accessions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9, 1869-1876.
- MARIC S., BOLARIC S., MARTINCIC J., PEJIC I. Y KOZUMPLIK V. (2004) Genetic diversity of hexaploid wheat cultivars estimated by RAPD markers, morphological traits and coefficients of parentage. *Plant Breeding*, 123, 366-369.
- MARTINEZ M. (1997) *Sistemática Molecular: Comparación entre diferentes métodos y sus aplicaciones*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 60, 123-136.

- MIAN M.A., HOPKINS A. Y ZWONITZER J. (2002) Determination of genetic diversity in tall fescue with AFLP markers. *Crop Science*, 42, 944-959.
- NTEP (1998) *National turfgrass evaluation workbook*. Maryland, Estados Unidos: National Turfgrass Evaluation Program.
- OLIVEIRA J.A. Y CHARMET G. (1988-1989) Polimorfismo isoenzimático de seis poblaciones naturales de raigrás inglés de Galicia. *Pastos*, XVIII-XIX:69-85.
- OLIVEIRA-PRENDES J.A., COSTAL ANDRADE L. Y GONZÁLEZ ARRÁEZ E. (2004) Análisis multivariante de la variabilidad agronómica de especies cespitosas en Galicia. En: García Criado B. et al. (Eds) *Pastos y Ganadería extensiva*, pp. 497-501. Salamanca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- OLIVEIRA-PRENDES J.A. Y FERNÁNDEZ-CASADO M.A. (2014) Anatomía foliar, morfología y ploidía en festucas de hojas estrechas de los grupos rubra y ovina. En: Busqué J. et al. (Eds) *Pastos y PAC 2014-2020*, pp. 49-56. Potes, Cantabria: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- OLIVEIRA J.A. Y GONZÁLEZ A. (2000) Recursos fitogenéticos de raigrás inglés europeos: valor agronómico en condiciones de bajo mantenimiento. *Investigaciones Agrarias: Producción y Protección Vegetal*, 15(1-2), 67-78.
- OLIVEIRA J.A., GUTIÉRREZ-VILLARIAS M.I., FERNÁNDEZ-CASADO M.A., COSTAL-ANDRADE L., GONZÁLEZ-ARRÁEZ E., BUGHRARA S.S. Y AFIF E. (2008) Agronomic, leaf anatomy, morphology, endophyte presence and ploidy characterization of accessions of *Festuca* group rubra collected in northern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6, 586-598.
- OLIVEIRA J.A., MONTEAGUDO A.B., BUGHRARA S.S., MARTINEZ J.L., SALAS A., NOVO-UZAL E. Y POMAR F. (2010a) Genetic characterization and Dollar spot fungus susceptibility in accessions of *Festuca rubra* from Northern Spain. *HortScience*, 45(6), 857-862.
- OLIVEIRA J.A., NOVO-UZAL E., POMAR F., BUGHRARA S.S. Y AFIF E. (2010b) Agromorphological characterization and dollar spot fungus susceptibility in accessions of common bent (*Agrostis capillaris* L.) collected in northern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(1), 56-66.
- OLIVEIRA-PRENDES J.A. Y SALAS-BUSTAMANTE A. (2015) Ploidía y contenido en ADN nuclear en germoplasma de *Agrostis* mediante citometría de flujo. En: Cifre Llompert J. et al. (Eds) *Pastos y Forrajes en el siglo XXI*. pp. 177-184. Palma, Mallorca: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- PERRING F.H. Y WALTERS S.M. (1976). *Atlas of the British flora*. London. Reino Unido: Botanical Society of the British Isles.
- RAO S.A., RAO K.E.P., MENGESHA M.H. Y REDDY V.G. (1996) Morphological diversity in sorghum germplasm from India. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 43, 559-567.
- RAFALSKI A. (2002) Applications of single nucleotide polymorphisms in crop genetics. *Current Opinion in Plant Biology*, 5, 94-100.
- RAVEL C., CHARMET G. Y BALFOURIER F. (1995) Influence of the fungal endophyte *Acremonium lolii* on agronomic traits of perennial ryegrass in France. *Grass and Forage Science*, 50, 75-80.
- RENGANAYAKI K., READ J.C. Y FRITZ A.K. (2001) Genetic diversity among Texas bluegrass genotypes (*Poa arachnifera* Torr.) revealed by AFLP and RAPD markers. *Theoretical & Applied Genetics* 102,1037-1045.
- ROMERO GARCIA A.T., BLANCA LÓPEZ G. Y MORALES TORRES C. (1988) *Revisión del género Agrostis L. (Poaceae) en la Península Ibérica*. Ruizia Tomo 7. Madrid, España: Editorial CSIC.
- ŠMARDÁ P., MÜLLER J., VRÁNA J. Y KOČI K. (2005) Ploidy level variability of some Central European fescues (*Festuca* subg. *Festuca*, *Poaceae*). *Biologia Bratislava*, 60(1), 25-36.
- SVOBODOVÁ M., MARTINEK J., KRÁLÍČKOVÁ T., NAŠINEC I. Y ŠANTRŮČEK J. (2013) Competition ability of selected amenity varieties of *Festuca rubra* in mixture with *Deschampsia cespitosa*. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 49, 70-76.
- TAR'AN B., ZHANG C., WARKENTIN T., TULLU A. Y VANDENBERG A. (2005) Genetic diversity among varieties and wild species accessions of pea (*Pisum sativum* L.) based on molecular markers, and morphological and physiological characters. *Genome*, 48, 257-272.
- TORRECILLA P. Y CATALAN P. (2002) Phylogeny of broad-leaved and fine-leaved *Festuca* lineages (*Poaceae*) based on nuclear ITS sequences. *Systematic Botany*, 27, 241-251.
- TURGEON A.J. (2005) *Turfgrass management*. New Jersey, Estados Unidos: Pearson Prentice Hall.
- TYLER B.F., CHORLTON K.H. Y THOMAS I.D. (1987) Preliminary screening of forage grasses. En: Tyler B.F. (Ed) *Collection, characterization and utilization of genetic resources of temperate forage grass and clover*, pp. 13-17, Rome, Italia: IBPGR.
- UPOV (1990) *Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability: Agrostis spp.* Geneve, Suiza: UPOV.
- UPOV (2006) *Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability: red fescue, sheep's fescue, hair fescue, reliant hard fescue, shade fescue, pseudovina*. Geneve, Suiza: UPOV.
- VAN DUREN M., MORPURGO R., DOLEZEL J. Y AFZA R. (1996) Induction and verification of autotetraploids and diploid banana (*Musa acuminata*) by *in vitro* techniques. *Euphytica*, 88, 25-34.
- VERGARA G.V. Y BUGHRARA S.S. (2003) AFLP analyses of genetic diversity in bentgrass. *Crop Science*, 43, 2162-2171.
- WALSH B., IKEDA S.S. Y BOLAND G.J. (1999) Biology and management of dollar spot (*Sclerotinia homoeocarpa*); an important disease of turfgrass. *HortScience*, 34, 13-21.

- WARNKE S.E., DOUCHES D.S. Y BRANHAM B.E. (1997) Relationships among creeping bentgrass cultivars based on isozyme polymorphisms. *Crop Science*, 37, 203–207.
- WILKINSON M.J. Y STACE C.A. (1991) A new taxonomic treatment of the *Festuca ovina* L. aggregate (*Poaceae*) in the British Isles. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 106, 347–397.
- WIPFF J.K. Y FRICKER C.R. (2000) Determining gene flow of transgenic creeping bentgrass and gene transfer to other bentgrass species. *Diversity*, 16 (1-2), 36-39.
- ZHAO H., BUGHRARA S. Y OLIVEIRA J.A. (2006) Genetic diversity in colonial bentgrass (*Agrostis capillaris* L.) revealed by *EcoRI-MseI* and *PstI-MseI* AFLP markers. *Genome*, 49, 328-335.

# 4

## REUNIONES CIENTÍFICAS

56ª REUNIÓN CIENTÍFICA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA  
PARA EL ESTUDIO DE LOS PASTOS (S.E.E.P.)

## RENATURALIZACIÓN VS. RURALIZACIÓN

BARCELONA, 25 A 28 DE ABRIL DE 2017

© Organización de la 56 R.C. de la SEEP



Fotografía de los asistentes a la 56ª Reunión Científica de la SEEP. La nieve hizo acto de presencia el día 27 de abril de 2017 en la visita programada al Pla de la Calma, en el Parque Natural del Massís del Montseny.

La 56 Reunión Científica de la SEEP se celebró entre el 25 y el 28 de abril de 2017 en Barcelona, con el objetivo de conocer el estado de la investigación alrededor del fenómeno del abandono de la actividad ganadera en los pastos, donde dos discursos casi opuestos pugnan en las propuestas de gestión. Por un lado, se propone la recuperación de los grandes herbívoros salvajes como sustitutos del ganado doméstico y por otro se propone el estímulo a la ganadería tradicional por ser generadora de indudables servicios ambientales. Dos opciones que probablemente puedan coexistir y que han generado un interesante debate.

El congreso tuvo dos sedes, una en la antigua Escuela Industrial, donde actualmente se ubica el Servicio de Parques Naturales de la Diputación de Barcelona, a quienes agradecemos su colaboración. La otra en el edificio de La Pedrera, sede de la Fundación Catalunya Caixa, a quienes también agradecemos las facilidades brindadas para la celebración del evento.

Como singularidades de la edición de este año, cabe destacar la realización de un debate bajo el lema del congreso “Renaturalización vs. Ruralización” que fue moderado por J.L. González Rebollar y en él participaron Deli Saavedra de Rewilding

Con la colaboración de:

Europe, Carmen García de la OCA de Baza y Elsa Varela del CREDA - UPC – IRTA. En el debate se habló de la recuperación de los grandes herbívoros salvajes y de la conservación de la ganadería tradicional, poniendo de manifiesto que ambas líneas argumentales son compatibles en nuestro territorio.

Otra novedad de esta edición fue abrir al público en general la sesión dedicada a los recursos silvopastorales. Esta actividad fue promovida por el Departamet d'Agricultura, Ramaderia i Alimentació de la Generalitat de Catalunya quien la difundió a través de su Plan Anual de Transferencia Tecnológica (PATT) y que supuso la participación de unos 50 asistentes más en el congreso.

La primera salida de campo permitió que los asistentes conocieran el desarrollo del proyecto Life-Montserrat, dedicado al pastoreo del sotobosque mediterráneo para la prevención de incendios. La segunda salida se efectuó en los pastos del Pla de la Calma, en el Parque Natural del Montseny, donde la nieve aportó un toque pintoresco a la visita. Por la tarde la salida continuó hasta la finca de Can Casellas, en la región del Cabrerés. Allí se pudo observar un exitoso sistema silvopastoral adhesionado en el dominio del hayedo y robledal. Cabe señalar que esta finca ya había sido objeto de visita de la SEEP durante la reunión de 1984 celebrada en Vic, momento en que se iniciaba la transformación de un sistema de interés forestal a uno de interés ganadero.

El programa de la reunión científica también tuvo espacio para la asamblea ordinaria de la SEEP (26/04/17) donde se acordaron algunas importantes novedades. Tras el análisis de la documentación enviada a los socios y un breve debate, la asamblea aprobó: (1) simplificar la denominación de la asociación a "Sociedad Española de Pastos", adoptando una forma tradicional de nombrar a la SEEP y con el objetivo de abrir la actividad de la asociación a una mayor diversidad de agentes; y (2): aprobar la propuesta de nuevo logo e imagen institucional que ya exhibe este nuevo número de la revista Pastos.

## DATOS NUMÉRICOS DE LA REUNIÓN CIENTÍFICA:

La Reunión Científica se estructuró en **cuatro sesiones temáticas**: Botánica y Ecología de Pastos, Producción Vegetal, Producción Animal y Sistemas y Recursos Silvopastorales.

### • Datos de participación

El balance numérico de participación en fue de 72 delegados inscritos entre ponentes invitados, delegados, acompañantes y miembros del comité organizador. A los inscritos hay que añadir 50 asistentes más que participaron en la sesión de Recursos Silvopastorales, que se planteó

como una jornada técnica, abierta a todo el público, previa inscripción gratuita.

### • Participación de España:

- Representación de 13 Comunidades Autónomas
- Colaboraciones de 14 Universidades Españolas
- Colaboraciones de 3 Centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
- Colaboraciones de 13 organismos Públicos de Investigación no CSIC
- Gobiernos regionales
- Patrimonio Nacional
- Empresas de gestión ambiental y consultorías
- Colaboraciones de laboratorios interprofesionales
- Centros de formación profesional

### • Colaboraciones fuera de España:

- Colaboraciones de 10 Universidades de: Portugal (Universidad de Aveiro), Francia (Universidad de Lyon), Estonia (Universidad de Tartu), México (Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM); Universidad Autónoma de Chiapas; Universidad Metropolitana de Lerma; Universidad Autónoma metropolitana Iztapalapa), Colombia (Universidad de Nariño) y Nicaragua (Universidad Autónoma de Nicaragua)
- Colaboraciones de organismos Públicos de Investigación de Portugal (Instituto Nacional de Investigación Agraria y Veterinaria de Elvas), Francia (INRA-UMR; Centre National d'études et de Recherche Appliquée Faune de Montagne de Gières; Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage de Toulouse; Experimental and theoretical Ecology Station de Moulis), México (Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales; Colegio Frontera Sur de Chiapas) y Colombia (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria).

### • El programa científico se estructuró en 13 sesiones de trabajo que incluyeron:

- 4 Ponencias invitada en torno al lema del congreso
  - Rewilding Europe (Deli Saavedra)
  - Transhumancia (Carmen García)
  - Los grandes herbívoros en Cataluña (Jordi Ruíz del Olmo)
  - Reflexiones sobre pastoreo controlado en Andalucía y Catalunya desde la óptica de la complejidad; Sistemas socio-ecológicos, resiliencia y ruralización (Elsa Varela).
- 1 mesa redonda en torno al tema central de la reunión Renaturalización vs. Ruralización
- 56 Comunicaciones: todas con exposición oral

Con la colaboración de:



- 20 de Botánica y ecología de Pastos
- 8 de Producción vegetal
- 12 de Producción animal
- 16 de Sistemas y recursos silvopastorales

• **El programa de trabajo se completó con dos Jornadas de Campo que incluyeron las siguientes visitas:**

- MONTSERRAT: Actuaciones del Proyecto “Life Montserrat” que incluye 14 municipios del entorno de Montserrat, con una superficie de 32.000ha con dos objetivos fundamentales:
  - El incremento de la resiliencia y la estabilidad de los bosques frente a los incendios, para disminuir el riesgo de grandes incendios forestales en la zona.
  - La mejora de la biodiversidad mediante la restauración de hábitats y la recuperación de especies de especial interés para la conservación

- MONTSENY: Parque Natural del Montseny, Reserva de la Biosfera

- CABRERÉS: Explotación de bovino de cría en base al aprovechamiento de rodales de pastos, rodales adehesados y cultivos

• **Otras actividades:**

- Durante los días de la reunión se pudo disfrutar, en la Sala Noble de la Escuela Industrial, de una excelente exposición fotográfica dedicada a la trashumancia, obra Carmen García.
- Los asistentes pudieron disfrutar también de una visita guiada nocturna al barrio gótico de Barcelona.

• **Actividades complementarias**

- Homenaje a dos socios de honor recientemente fallecidos: D. Pedro Montserrat y D. Leopoldo Olea.



## RESEÑAS DE LIBROS



### DICCIONARIO DE PASCOLOGÍA

- **Título:** Diccionario de Pascolo-gía: Aspectos ecológicos, botánicos, agronómicos, forestales, zootécnicos y socio-económicos de los pastos. (completo)
- **Autor:** Carlos Ferrer Benimeli
- **Editorial:** Fundación Conde del Valle de Salazar
- **Páginas:** 933
- **Año:** 2016
- **ISBN:** 978-84-96442-67-2

Este texto es el mismo que prepararon Leopoldo Olea y Alfonso San Miguel para la presentación de la obra reseñada, uno de los últimos documentos escritos por Leopoldo Olea antes de su fallecimiento.

Con la colaboración de:



La precisión en el uso del lenguaje es necesaria en todas las actividades humanas, pero si en alguna resulta realmente vital es en la científica. La actividad científica tiene por objetivo la creación y transmisión de conocimiento, y su principal herramienta para desarrollar su labor es el lenguaje. También sucede lo mismo en el sector de la educación, que se orienta a la divulgación del conocimiento; y en el de la extensión, que actúa a modo de enlace entre investigación y gestión para conseguir que el conocimiento científico se integre en la técnica, para que sea directamente útil. Por eso, todas las áreas del conocimiento tienen un lenguaje propio, característico, que emplean con asiduidad; un patrimonio vivo y vital que deben cuidar con especial celo. Y la principal forma de hacerlo es recogiendo en un Diccionario. De ese modo, el Diccionario se convierte en una herramienta imprescindible para el avance y la transmisión de la ciencia, para su incorporación al mundo de la gestión y para su difusión, mediante la educación, en Universidades e Institutos.

La Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (SEEP) tiene por objetivo fomentar el conocimiento y la mejora de los pastos españoles. Por ello, ya en su primera reunión, celebrada en Zaragoza en 1960, el Prof. Montserrat Recoder puso en evidencia la necesidad de mejorar la precisión en la terminología y propuso elaborar un Nomenclátor de pastos que recogiese ese léxico propio. Tuvieron que pasar más de cuarenta años para que esa propuesta diese sus primeros frutos en forma de un Nomenclátor Básico de Pastos en España, que fue aprobado por la Asamblea General de la SEEP celebrada en Alicante en abril de 2001 y publicado en la revistas Pastos ese mismo año. Con él, se dio un importante paso adelante en la unificación de la terminología relacionada con los pastos. El Nomenclátor se empezó a utilizar de forma generalizada en los ámbitos científico y académico y tuvo, incluso, una moderada repercusión en las estadísticas agrarias. De ese modo, se configuró como un pilar imprescindible para la investigación y la transmisión del conocimiento ligado a los pastos. Sin embargo, a pesar de ser necesario, el Nomenclátor no resultaba suficiente. No bastaba con establecer la acepción válida de algunos términos pascícolas de especial importancia. Parecía conveniente elaborar, además, un documento que estableciese las diversas acepciones de otros muchos términos relacionados con la ciencia de los pastos; en definitiva, un Diccionario de Pascolo-gía. En consecuencia, la Asamblea General de la

SEEP celebrada en enero de 2013, creó una Comisión, coordinada por su Vicepresidenta, la Dra. Martínez, cuya misión era iniciar el proceso de elaboración de ese documento. A pesar de la mala fama de las comisiones, la que ahora nos ocupa trabajó con orden, rapidez y eficacia y en un periodo de tiempo sorprendentemente corto logró reunir un listado inicial de términos que podrían ser recogidos en el Diccionario. También durante ese corto periodo de tiempo, el Profesor Ferrer Benimeli, anterior Presidente de la SEEP y promotor y autor del Nomenclátor Básico de Pastos, pasó a la situación de Profesor Emérito, tras 44 años de intensa y fructífera actividad científica y docente. Esa conjunción de acontecimientos desembocó, de forma absolutamente lógica y feliz, en el encargo de elaboración del Diccionario de Pascolología de la SEEP al Prof. Ferrer Benimeli.

El Prof. Ferrer Benimeli reúne numerosos méritos que le configuran con claridad como la autoridad española más competente para la elaboración de Diccionario de Pascolología. En primer lugar, la base que, como el sistema radical de un árbol, ha permitido el desarrollo de su actividad científica y académica: una formación inicial en edafología, pero sólidamente apoyada en otras ramas del saber a las que el Prof. Ferrer ha estado fuertemente vinculado y que resultan esenciales para el conocimiento y la gestión de los pastos. Es el caso de la geología, la biología, la agronomía, la economía, la veterinaria o la sociología, entre otras. En segundo término, su fuerte vocación y sorprendente capacidad de trabajo que, como ya dijimos, han dado como resultado más de 44 años de intensa y fructífera actividad científica y académica en ese ámbito de conocimiento. En tercer lugar, su participación permanentemente activa, crítica y dinamizadora en la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos; una labor que le ha permitido conocer de primera mano temas no relacionados directamente con su línea de trabajo, que le llevó a proponer y coordinar el macro-proyecto "Cartografía, Tipología y Evaluación de los Pastos Españoles", en el que participaron más de 200 investigadores, y que finalmente le condujo a la Presidencia de la SEEP. Y, sobre todo, el inmenso interés que siempre ha mostrado por el conocimiento y buen uso del lenguaje; un interés que no se restringe al ámbito científico y que, afortunadamente para la SEEP, nos ha sometido a todos a un grado de exigencia que, como en el caso de los pastos bien aprovechados, ha conseguido mayores niveles de calidad, eficiencia y producción.

Quizás por atesorar esos méritos que acabamos de resumir, al recibir el encargo de la SEEP, el Prof. Ferrer Benimeli no se limitó a elaborar un simple Diccionario de Pascolología. En la obra que ahora tenemos el placer de presentar, resultado de

más de dos años de trabajo diario, intenso y exclusivo, el autor no se ha limitado a ofrecer la definición o descripción de cada uno de los más de 3000 términos que contiene, como corresponde a un diccionario. Ha recopilado, ordenado, resumido y presentado, además, buena parte del saber relacionado con cada uno de los términos, llegando en muchos casos a ofrecer entre dos y cuatro páginas de información actualizada sobre un concepto. De ese modo, el trabajo resultante podría recibir también la denominación de Enciclopedia o Diccionario Enciclopédico de Pascolología. Además, aporta otros complementos interesantes, como la indicación de usos no recomendados; la inclusión de vínculos entre distintas entradas mediante el uso de comillas; las explicaciones sobre términos poco frecuentes en el léxico habitual; la etimología, en algunos casos, y el listado de abreviaturas, siglas y símbolos alfabéticos. El cierre de la obra en Zaragoza, ciudad en la que se celebró la primera Reunión Científica de la SEEP y en la que se propuso la elaboración del Nomenclátor de pastos hace ya 55 años, no deja de ser una circunstancia curiosa.

Estamos plenamente convencidos de que el Diccionario de Pascolología que ahora tenemos el placer y el honor de presentar será una obra de obligada consulta para todos aquellos que están relacionados con el mundo de los pastos y, en especial, para los que proceden de los ámbitos de la investigación, la gestión y de la educación. También estamos seguros que esa utilización se traducirá un conocimiento más profundo y una mejor gestión para nuestros pastos y, por consiguiente, en el cumplimiento del objetivo principal de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Estamos, por tanto, de enhorabuena.

**Leopoldo Olea Márquez de Prado**<sup>1</sup>

Dr. Ingeniero Agrónomo  
Catedrático de Universidad  
Escuela de Ingenierías Agrarias  
Universidad de Extremadura  
Presidente de la SEEP (1999-2007)

**Alfonso San Miguel Ayanz**

Dr. Ingeniero de Montes  
Catedrático de Universidad  
E.T.S. Ingenieros de Montes  
Universidad Politécnica de Madrid  
Presidente de la SEEP (2011-2015)

Junio 2015

<sup>1</sup> Fallecido

# INSTRUCCIONES PARA AUTORES

## ÁMBITO DE LA REVISTA

La revista PASTOS admite artículos originales sobre la producción y utilización de pastos y forrajes, dentro de las áreas de conocimiento siguientes: recursos naturales (suelo, agua, clima, etc.) en los que se basa la producción de pastos y forrajes; ecología, nutrición, protección, selección, mejora, manejo y conservación de especies forrajeras y pratenses; nutrición, alimentación y manejo de animales; sistemas de producción animal con base en pastos y forrajes; aprovechamiento de pastos; impacto ambiental de las explotaciones ganaderas; estudios económicos; etc. El envío de un trabajo a PASTOS implica que sus autores no han enviado simultáneamente el mismo original a otra revista para su publicación.

## CESIÓN DE DERECHOS DE LOS AUTORES

Dado que la revista es de libre acceso, la publicación en PASTOS implica la cesión de los derechos de los autores para que PASTOS pueda difundir sus artículos a través de las bases de datos que estime oportunas.

## IDIOMAS

La revista PASTOS acepta artículos originales en español e inglés.

## TEXTOS ORIGINALES

Los textos originales se escribirán utilizando el programa Word de Microsoft Office. No se requiere ninguna especificación en cuanto a formato (fuente de letras, espacios, etc). La extensión máxima de los artículos científicos será de 70.000 caracteres (sin espacios). Para las revisiones científicas y ponencias de reuniones científicas no hay un límite prefijado de caracteres.

## ENVÍO DE LOS ORIGINALES

Se enviarán por correo electrónico a uno o a los dos editores principales de la Revista PASTOS, D. Juan Busqué Marcos (juanbusque@cifacantabria.org) y D. Ramón Reiné Viñales (rreine@unizar.es).

## PROCESO DE REVISIÓN DE LOS ORIGINALES

Los editores principales enviarán los originales recibidos a uno de los editores asociados del área al que corresponda el trabajo. El editor asociado asignará la evaluación a un mínimo de dos revisores anónimos externos y expertos en la temática.

## ORGANIZACIÓN DEL TEXTO

Los artículos científicos tendrán la siguiente disposición:

- Título principal en idioma original (máximo 25 palabras)
- Título en segundo idioma (inglés o español)
- Título abreviado (para cabecera de páginas; máximo 50 caracteres con espacios)

- Nombre autor/es
- Dirección autor/es
- Correo electrónico del autor de contacto
- Resumen en idioma original
- Resumen en segundo idioma (inglés o español)
- Palabras clave en idioma original
- Palabras clave en segundo idioma (inglés o español)
- Introducción
- Material y métodos
- Resultados
- Discusión (o junto a Resultados)
- Conclusiones
- Agradecimientos
- Referencias bibliográficas

## NOMBRE DEL AUTOR O AUTORES

Nombre completo y dos apellidos. La dirección de los autores incluirá la dirección postal completa. Si los distintos autores tienen direcciones diferentes, debe indicarse con un superíndice numérico.

Se señalará el autor para la correspondencia con un asterisco y una nota con su correo electrónico a continuación de las direcciones.

*Ejemplo:* Juan Fernández García\*1, Antonio Gómez Ferrán1 y Raúl Andrés Sarmiento2

1 Área de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Cádiz. Plaza de la Ciencia s/n E-25371 Cádiz (España).

2 Área de Ecología. Facultad de Biología. Universidad de Toledo.

E-45071 Toledo (España).

\* jfgarcia@tmail.com

## RESUMEN

Debe ser informativo, no indicativo, para permitir al lector apreciar el contenido e interés del trabajo. Debe informar sobre objetivos, metodología, resultados y conclusiones. En su contenido no debe haber referencias ni al texto, ni a las figuras, ni a las tablas del artículo resumido. Máximo de 300 palabras para artículos científicos y notas de investigación, y 450 para las revisiones científicas.

## PALABRAS CLAVE

El resumen irá seguido de un máximo de cinco palabras clave que no estén contenidas en el título.

## SUBAPARTADOS

Para los apartados "Material y Métodos", "Resultados" y "Discusión", se podrá estructurar el texto en unidades menores como subapartados jerarquizados.

Con la colaboración de:



## TABLAS

Las tablas deben estar concebidas y estructuradas de tal modo que puedan leerse y entenderse por sí mismas, con independencia del texto. Se recomienda hacerlas con el procesador de textos y nunca insertadas como imagen desde otro programa. Se situarán al final del texto, después del apartado de referencias bibliográficas, aunque los autores podrán indicar su preferencia de ubicación en el trabajo. Los títulos irán encima de las tablas. Se traducirá al segundo idioma inmediatamente debajo del título en idioma original.

## FIGURAS

Las figuras deben estar concebidas y diseñadas de tal modo que puedan leerse y entenderse por sí mismas, con independencia del texto. Se enviarán en formato JPG o TIF a una resolución mínima de 300 ppp, o como fichero de excel. Se indicará en el texto del artículo su lugar de inserción. Se recomienda que las figuras sean originalmente en color, pero cuidando que sean comprensibles en la escala de grises. El pie (título de la figura) no formará parte de la figura. Se escribirá a continuación de las tablas con la correspondiente traducción al segundo idioma.

## FOTOGRAFÍAS

Se recomienda incluir dos fotografías que ayuden a entender mejor aspectos importantes del trabajo. Estas deberán enviarse como archivos TIF, JPG o PSD, con una calidad mínima de 300 ppp. Se publicarán en color. El pie (texto de la fotografía) no formará parte de la fotografía. Se escribirá en el texto a continuación de los pies de figuras con la correspondiente traducción al segundo idioma. Se recomienda especificar el autor de la fotografía.

## CITAS DENTRO DEL TEXTO

Todas las citas que aparezcan en el texto deben figurar también en el apartado de referencias bibliográficas, situado al final del texto, y viceversa.

1. Si el nombre/s del autor/es no forma parte del texto se citarán solamente los apellidos, sin iniciales, entre paréntesis, en letra minúscula, seguidos del año de la publicación, separado por una coma, en el lugar que corresponda.  
*Ejemplos:* Caso de un autor "... (Garcés, 1995a)...", caso de dos autores "... (Pérez y Marqués, 2005)...", caso de más de dos autores "... (Navarro *et al.*, 2010)..."
2. Si el nombre/nombres del autor/es forma parte del texto se pone el año entre paréntesis.  
*Ejemplos:* "...según los trabajos de Garcés (1995a), Pérez y Marqués *et al.* (2005), Navarro *et al.* (2010), ...".

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (al final del texto)

Las referencias bibliográficas se ordenarán por orden alfabético de apellidos del autor o primer autor, si son varios. Para distintos trabajos de un mismo autor, o autores, se seguirá el orden cronológico del año de publicación. Si en un mismo año hay más de una publicación de un autor, o autores, se distinguirán añadiendo una letra al año de publicación.  
*Ejemplo:* 2013a, 2013b.

### Forma de presentación de las referencias al final del texto:

#### • Caso de revistas:

##### Formato:

APELLIDO/S INICIAL/ES [del nombre],..... Y APELLIDO/S INICIAL/ES [del nombre] [de los autores] (año) Título del artículo. *Nombre completo de la revista [en cursiva]*, volumen (número), primera página-última página (del artículo).

##### Ejemplos:

PÉREZ A. Y MARQUÉS C. (2005) Caracterización de un sistema productivo forrajero basado en el uso de recursos endógenos. *Pastos*, 27(2), 124-145.

NAVARRO A.M., REQUÉS G. Y FERNÁNDEZ-RICO V. (2013) Factores asociados al crecimiento de *Dactylis glomerata* L. bajo distintos niveles de fertilización nitrogenada. *Pastos*, 41(2), 1-14.

#### • Caso de libros de un solo autor o grupo de autores para toda la obra:

##### Formato:

APELLIDO/S INICIAL/S [del nombre],..... Y APELLIDO/S INICIAL/S [del nombre] [de los autores] (año) *Título del libro [en cursiva]*. Ciudad de la Editorial, País: Nombre de la Editorial.

##### Ejemplos:

ALONSO MARTÍNEZ J. (2008) *Los recursos forrajeros de la baja Extremadura*. Badajoz, España: Ediciones Alday.

JONES J., INGLISH J.K. Y SMITH A.S. (2012) *British grasslands under siege*. Wallingford, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux.

#### • Caso de libros colectivos, con capítulos escritos por distintos autores:

##### Formato:

APELLIDO/S INICIAL/S [del nombre],..... Y APELLIDO/S INICIAL/S [del nombre] [de los autores] (año) Título del artículo o capítulo. En: Apellido/s Inicial/s [del nombre],..... y Apellido/s Inicial/s [del nombre] [de los editores] (Ed, si es solamente un editor, o Eds, si son dos o más editores) *Título del libro (en cursiva)*, pp. primera página-última página (del artículo o capítulo). Ciudad de la Editorial, País: Nombre de la Editorial.

En el caso de que haya más de dos editores se pondrá solamente el primero seguido de las palabras *et al.*

##### Ejemplos [con uno o dos editores]:

SMITH A. (2010) Measuring productivity. En: Taylor B.J.F. (Ed) *Measures of pasture systems*, pp. 25-40. Bristol, Australia: Ferguson and Liar Ltd.

MARTÍNEZ N. Y RUÍZ M.T. (2002) Fuegos prescritos. En: García P. y Bosque M. (Eds) *Usos y problemática del fuego*, pp. 115-147. Ciudad Real, España: Verdeamor.

##### Ejemplo [con tres o más editores]:

GARCÍA-NAVARRO R., ALVARENGA J. Y CALLEJA A. (2009) Efecto de la fertilización fosfórica sobre la presencia de especies en el forraje de prados de montaña. En: Reiné R. *et al.* (Eds) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp 197-203. Huesca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

#### • Caso de recursos en internet:

En el caso de que la referencia bibliográfica tenga un acceso URL a su contenido, se recomienda especificarlo al final de la referencia con la fecha de consulta.

#### Ejemplo:

ALONSO MARTÍNEZ J. (2008) *Los recursos forrajeros de la baja Extremadura*. Badajoz, España: Ediciones Alday.  
Disponible en: <http://pastosextramadura.org/librorecursos.pdf>.  
Consulta: 14 abril 2013.

### UNIDADES DE MEDIDA

Para las unidades de medida se seguirá el SI (Sistema Internacional de Unidades). En general, los símbolos se escriben en minúsculas, salvo si se trata de la primera palabra de una frase o del nombre "grado Celsius", quedando invariables en plural. Nunca los símbolos van seguidos de punto, salvo si se encuentran al final de una frase. En este caso el punto corresponde a la ortografía habitual de la frase pero no forma parte del símbolo (es incorrecto escribir kg., ha., km.).

El símbolo de litro será L cuando vaya precedido por un número y l cuando lo sea por un prefijo de fracción (ejemplo, ml). Cuando las unidades no vayan precedidas por un número se expresarán por su nombre completo, sin utilizar su símbolo. Ejemplos de símbolos comunes: kilogramo = kg, hectárea = ha, metro = m, kilómetro = km. (en este último caso el punto no forma parte del símbolo, se pone porque es final de frase).

### Expresión algebraica de los símbolos de las unidades SI

1. Multiplicación. Cuando una unidad derivada está formada multiplicando dos o varias unidades, los símbolos de las unidades se separarán por un espacio. *Ejemplo:* N m.
2. División. Cuando una unidad derivada está formada dividiendo una unidad por otra, se puede utilizar una barra inclinada (/), una barra horizontal o exponentes negativos.  
*Ejemplo:* m/s o m s<sup>-1</sup>. No debe utilizarse la barra inclinada y los exponentes negativos en un mismo artículo. Hay que optar por uno de los dos.
3. Nunca, en una misma línea, debe seguir a una barra inclinada un signo de multiplicación o de división, a no ser que se utilicen paréntesis para evitar toda ambigüedad.  
*Ejemplo 1:* m/s<sup>2</sup> o m s<sup>-2</sup>, son expresiones correctas, pero m/s/s, es incorrecta.  
*Ejemplo 2:* m kg/(s<sup>3</sup> A) o m kg s<sup>-3</sup> A<sup>-1</sup>, son expresiones correctas, pero m kg/s<sup>3</sup>A y m kg/s<sup>3</sup> A, son incorrectas.

### NOTACIÓN NUMÉRICA

1. En el texto se utilizarán palabras para los valores de cero a nueve y cifras para los valores superiores.
2. Debe dejarse un espacio entre grupos de tres dígitos, tanto a la izquierda como a la derecha de la coma (15 739,012 53). En números de cuatro dígitos puede omitirse dicho espacio. Los números de los años deben escribirse sin separar el primer dígito

del segundo (es correcto escribir año 2011). Ni el punto, ni la coma deben usarse como separadores de los miles.

*Ejemplo:* el número ciento veintitrés millones trescientos veinticinco mil ciento setenta se escribe 123 325 170 (123.325.170 o 123,325,170 son formas incorrectas).

3. Las operaciones matemáticas solo deben aplicarse a símbolos de unidades (kg/m<sup>3</sup>) y no a nombres de unidades (kilogramo/metro cúbico).
4. Debe estar perfectamente claro a qué símbolo de unidad pertenece el valor numérico y qué operación matemática se aplica al valor de la magnitud.  
*Ejemplo:* es correcto escribir 35 cm x 48 cm o 100 g ± 2 g (35 x 48 cm o 100 ± 2g son formas incorrectas).

### CIFRAS DECIMALES

#### Dentro del texto en español:

Se separarán de la parte entera por una coma abajo (,).

*Ejemplo:* 10,17 (10.17 es forma incorrecta).

#### Dentro del texto en inglés (summary):

Se separarán de la parte entera por un punto.

*Ejemplo:* 10.17 es correcto.

### ABREVIATURAS

Las abreviaturas deberán definirse la primera vez que se mencionen en el texto (*Ejemplo:* "política agraria común (PAC)") y de nuevo en todas las tablas y figuras donde aparezcan.

### NOMBRES DE PLANTAS, CULTIVARES, ETC.

El nombre botánico de las plantas se escribirá en cursiva, en letra minúscula, con excepción de la primera del género, que será mayúscula.

El nombre de las variedades comerciales, o cultivares, se escribirá con letra normal y entre comillas simples o bien con letra normal precedido de cv (símbolo de cultivar) cuando sigan al nombre botánico de la especie.

*Ejemplo:* *Lolium multiflorum* Lam. "Tama" o *Lolium multiflorum* Lam. cv Tama.

En el caso de cultivos de microorganismos se indicará la procedencia y denominación cuando estén depositados en colecciones reconocidas. Los nombres vulgares de plantas deben ir seguidos del nombre botánico entre paréntesis la primera vez que aparezcan en el texto.