



## Adaptación del modelo CROPGRO-Perennial-Forage para simular la producción de los raigrases

En este artículo presentamos los resultados de la adaptación del modelo CROPGRO-PFM para simular el crecimiento y el desarrollo de cuatro cultivares representativos de raigrases en tres localidades gallegas con diferentes condiciones ambientales, determinando las limitaciones de producción asociadas tanto a las limitaciones de agua como de nitrógeno.

J.A. Oliveira<sup>1</sup>, K.J. Boote<sup>2</sup>, J.E. López<sup>3</sup>, N. Díaz<sup>3</sup>, J. Piñeiro<sup>3</sup>, G. Flores<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Área de Producción Vegetal, Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo (Asturias)

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Agrícola y Biológica, Universidad de Florida (EE. UU.)

<sup>3</sup>Departamento de Pastos y Cultivos, Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (Galicia)

### INTRODUCCIÓN

En agricultura se utilizan tres tipos de raigrases: el raigrás italiano (*Lolium multiflorum* Lam., anual o alternativo y bianual o no alternativo), el raigrás inglés (*Lolium perenne* L., de larga dura-

ción, 4 a 5 años) y el raigrás híbrido (*Lolium boucheanum* K., de duración intermedia entre el raigrás inglés y el raigrás italiano, 3 a 4 años).

El raigrás italiano es la gramínea pratense con mayor presencia en las

explotaciones lecheras del norte de España, tanto en monocultivo como en mezclas con otras especies. Flores-Calvete *et al.* (2017) indican que la frecuencia de explotaciones lecheras que cultivan raigrás italiano e inglés asciende, respectivamente, al 54,4 % y el 48 % para el conjunto de la zona norte, mientras que esta proporción en Galicia se incrementa hasta el 62,1 % y el 55,7 %, respectivamente.

Según Flores *et al.* (2013), el cultivo en invierno de los raigrases italianos e híbridos es muy productivo y con un alto valor energético, aunque los niveles de proteína bruta pueden ser bajos en los cortes tardíos. Las variedades alternativas se prefieren para los cortes tempranos en primavera, mientras que las variedades no alternativas e híbridas son la mejor opción para los cortes realizados al principio del espigado. Se requiere más información sobre el comportamiento agronómico y el valor nutritivo de las diferentes variedades para diseñar las mejores estrategias de manejo de este cultivo.

El raigrás inglés es una de las principales especies utilizadas para la siembra y la regeneración de praderas en el norte de España (Piñeiro y Pérez, 1992). Presenta una buena adaptación al pastoreo, un rápido establecimiento, un alto valor nutritivo y una buena persistencia (Oliveira y González, 2000). Las gramíneas y leguminosas perennes pueden ser de interés en el marco de la Política Agrícola Común de la Unión Europea y dentro de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible adoptados por las Naciones Unidas (FAO, 2015) para su utilización en sistemas forrajeros más sostenibles.



Los modelos de simulación de cultivos pueden ayudar a decidir el mejor manejo agronómico para un determinado genotipo en un determinado ambiente. Esta interacción genotipo x ambiente x manejo es la base para la experimentación en programas de modelización de cultivos (McCauley, 2020).

El modelo CROPGRO-Perennial-Forage (CROPGRO-PFM) es una versión modificada del modelo CROPGRO (Boote *et al.*, 1998; Jones *et al.*, 2003) incluido en el paquete informático del Sistema de Apoyo a las Decisiones para la Transferencia de Agrotecnología (DSSAT) (Hoogenboom *et al.*, 2019), que ha sido adaptada para simular las respuestas agronómicas de varias especies de pastos perennes como *Paspalum notatum* Flüegge, bahiagrass (Rymph *et al.*, 2004), *Brachiaria brizantha* Stapf, *palisadegrass* (Pedreira *et al.*, 2011; Pequeno *et al.*, 2014), *Panicum maximum* Jacq., guineagrass (Lara *et al.*, 2012), y *Medicago sativa* L. (Malik *et al.*, 2018).

La producción potencial se define como la producción máxima de un genotipo (cultivar) que depende únicamente de las condiciones climáticas específicas de cada zona (radiación solar

y temperatura) junto con la frecuencia de los cortes y el genotipo, considerando que los insumos (nutrientes, agua, etc.) no son limitantes. Los modelos de crecimiento de cultivos DSSAT se utilizan para estimar la producción potencial y determinar las brechas de producción y para evaluar los efectos del cambio climático en dichas producciones.

Varios parámetros específicos del cultivar (CSPs) determinan el ciclo vital y el crecimiento reproductivo de variedades de cultivos específicos considerando los cambios en los estadios de desarrollo (influencia de la vernalización y la sensibilidad al fotoperiodo) y los atributos vegetativos y reproductivos (Boote *et al.*, 2001). Además, el DSSAT incluye módulos específicos para simular la dinámica del suelo, el agua y los procesos del nitrógeno y el carbono, incluida la variación del contenido de materia orgánica del suelo según las condiciones ambientales y el manejo agronómico (Jones *et al.*, 2003). La inclusión del módulo CENTURY de carbono orgánico del suelo en el DSSAT por Gijsman *et al.* (2002) fue particularmente importante para su uso con especies perennes, porque el CENTURY ligado al CROPGRO-PFM permite el reciclaje ▶

▶ LOS MODELOS DE SIMULACIÓN DE CULTIVOS PUEDEN AYUDAR A DECIDIR EL MEJOR MANEJO AGRONÓMICO PARA UN DETERMINADO GENOTIPO EN UN DETERMINADO AMBIENTE

# TRITALP SI DECANTAS... NO ATASCAS !!!

**EL PRIMER TRITURADOR INVERTIDO DEL MERCADO**

**SEPARACIÓN POR DISCO EXCÉNTRICO NON-STOP**

**PATENTADO PATENTADO PATENTADO**

**DECANTACIÓN HIDROCICLÓNICA**

**SOLIDOS**

**DESCARGA AUTOMÁTICA**

Fariña maquinaria (A Coruña) Maxideza (Pontevedra) Talleres Churrillo (Lugo) M.A. Guerra (Orense) Garvín (Toledo) Margareto (Salamanca) Ovlac (Palencia) Peral (Zamora) Agroferba (León) Talleres Jose Luis (Cantabria) Seikin (País Vasco) Navarra (Remón) Teruel (M.A.Plumed) Huesca (Oscagri)

MAQUINARIA AGRÍCOLA PLUMED P.I EL TOLLO 715 MONREAL DEL CAMPO (TERUEL) 978 86 30 60 INFO@PLUMED.ES



de los tejidos senescentes (envejecidos) de tallos y raíces durante el crecimiento del forraje. El módulo CENTURY distingue tres tipos de carbono orgánico del suelo (SOC): 1) SOC1 fácilmente descomponible; 2) SOC2 recalcitrante (resistente a la descomposición), que contiene lignina y paredes celulares, y 3) SOC3 estable.

Aunque el raigrás anual responde al fertilizante nitrogenado según Piñeiro y Pérez (1978), Oliveira *et al.* (2013) y Flores *et al.* (2013), esta respuesta puede estar limitada por el fósforo (P), como se ha demostrado en otros pastos (Malhi *et al.*, 2004; Schils y Snijders, 2004). Esto es particularmente cierto en los suelos con bajo contenido de P, como los que se dan en gran parte del norte de España (Tóth *et al.*, 2013). El CROPGRO-PFM no incluye un submodelo de P para el componente vegetal y, por lo tanto, el efecto de este nutriente no se considera en las simulaciones (se supone que el P no es limitante). Se está trabajando en la creación de un submodelo P para el componente vegetal en el CROPGRO-PFM dentro del DSSAT.

A pesar de la importancia de los raigrases para la alimentación del ganado en todo el mundo, no se incluye en el DSSAT un modelo de simulación de crecimiento y desarrollo de los mismos.

Los objetivos del presente trabajo son: 1) adaptar el modelo CROPGRO-PFM para simular el crecimiento y el desarrollo de los raigrases, 2) determinar las limitaciones a la producción asociadas a la insuficiencia de agua, 3) determinar las limitaciones a la producción asociadas a las limitaciones de nitrógeno y 4) determinar las limitaciones a la producción asociadas tanto a las limitaciones de agua como de nitrógeno.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

**Sitios experimentales y conjunto mínimo de datos**

Entre 1978 y 2014 en el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (actualmente dependiente de la Axencia Galega de Calidade Alimentaria-Agacal, Consellería del Medio Rural de la Xunta de Galicia), dentro de las actividades del Departamento de Pastos y Cultivos, se llevó a cabo la evaluación de variedades comerciales de especies forrajeras con el fin de conocer su valor agronómico (Díaz *et al.*, 2015). Para el presente trabajo se utilizaron las observaciones de dichos estudios relativas a la producción de forraje y el manejo de los ensayos (fechas de siembra y cortes, fechas y dosis de fertilización y labores) procedentes de dos cultivares de raigrás italiano, uno alternativo (“Pomba”

▶ LOS MODELOS DE CRECIMIENTO DE CULTIVOS DSSAT SE UTILIZAN PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN POTENCIAL Y DETERMINAR LAS BRECHAS DE PRODUCCIÓN Y PARA EVALUAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN DICHAS PRODUCCIONES

2x, de la Xunta de Galicia) y otro no alternativo (“Caballo” 4x, de DLF Seeds), un cultivar de raigrás híbrido (“Barsilo” 2x, de Barenbrug) y un cultivar de raigrás inglés (“Ciami” 2x, de la Xunta de Galicia), que se sembraron en tres fincas experimentales: Mabegondo (43° 14’ 5” N, 8° 15’ 45” O, altitud = 100 m) y Marco da Curra (43° 20’ 30” N, 7° 53’ 30” O, 650 m de altitud), ambas en la provincia de A Coruña, y A Pobra do Brollón (42° 35’ 40” N, 7° 24’ 31” O, altitud = 400 m), en la provincia de Lugo.

Los cultivares se sembraron como monocultivos el 30 de septiembre de 2006 en las fincas de Marco da Curra y A Pobra do Brollón y el 3 de octubre de 2007 en la finca de Mabegondo.

El suelo de Mabegondo, situado en la costa, se desarrolla sobre esquistos



“Las mezclas que combinan semillas pratenses, leguminosas y cereales forrajeros en función de las necesidades del agricultor”



**SIEGA<sup>Max</sup>**

LA COMBINACIÓN PERFECTA DE LA ELECCIÓN DE LOS MEJORES RAIGRÁS A NIVEL MUNDIAL

**HIBRID<sup>Max</sup>**

LA CALIDAD Y LA PRODUCCIÓN ESTÁN ASEGURADAS

**SIEGA<sup>Max</sup>-pro**

LA COMBINACIÓN IDEAL DE RAIGRÁS CON TRÉBOLES ANUALES DE ACTIVIDAD FORRAGERA

**SIEGA<sup>Max</sup>-pro alternativa**

LA CALIDAD HECHA FÓRMULA

**TREBOL<sup>Max</sup>**

LA MEZCLA DE TRÉBOL POR EXCELENCIA

**TRITI<sup>Max</sup>**

LA MÁXIMA PRODUCCIÓN SIN DESCUIDAR LA CALIDAD NUTRITIVA

**PASTO<sup>Max</sup>**

LA PRADERA DE LARGA DURACIÓN PARA SIEGA Y PASTOREO



▶ A PESAR DE LA IMPORTANCIA DE LOS RAIGRASES PARA LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO EN TODO EL MUNDO, NO SE INCLUYE EN EL DSSAT UN MODELO DE SIMULACIÓN DE CRECIMIENTO Y SU DESARROLLO

y se caracteriza por ser un suelo franco (orden Inceptisol, suborden Udept, gran grupo Humudepts). El suelo de Marco da Curra, situado en una zona pendiente, se desarrolla sobre pizarras, es de profundidad intermedia y tiene una textura franca (orden Entisol, suborden Orthent, gran grupo Udorthent). El suelo de A Pobra do Brollón, situado en una zona interior, se desarrolla sobre esquistos y tiene una textura franca (orden Inceptisol, suborden Udept, gran grupo Humudepts) (USDA-Soil Taxonomy, 1999).

En la tabla 1 se resumen los datos meteorológicos obtenidos de las estaciones meteorológicas de las tres fincas.

Cada cultivar se sembró en pequeñas parcelas de 5 m x 1,3 m (6,5 m<sup>2</sup>) a razón de 2,5 g de semillas m<sup>2</sup> para los

cultivares diploides y 3,75 g de semillas m<sup>2</sup> para los cultivares tetraploides, en un diseño de bloques aleatorios con cuatro repeticiones en cada lugar. Las parcelas no fueron regadas (condiciones de secano) (CIAM, 1991).

Se aplicó fertilizante (40 kg ha<sup>-1</sup> N y 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O) en cada lugar antes de la siembra y se aplicaron 120 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 200 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O a la salida del invierno posterior al primer año de crecimiento y 40 kg ha<sup>-1</sup> N después de cada siega (alrededor de 200-240 kg N ha<sup>-1</sup> por año en Mabegondo y 120-160 kg N ha<sup>-1</sup> por año en Marco da Curra y A Pobra do Brollón). Las parcelas se cosecharon cortando con una motosegadora con un peine de 0,9 m de ancho. La producción se determinó sobre una superficie de 4,1 m x 0,9 m (3,69 m<sup>2</sup>) centrada en los ejes de cada parcela, con el fin de evitar los efectos de borde que pudieran afectar a la producción. Las producciones de forraje se cortaron a una altura aproximada de 5 cm en cada lugar (7, 6 y 6 cortes por año para el raigrás anual en Mabegondo, Marco da Curra y A Pobra do Brollón, respectivamente, y 12, 10 y 9 cortes en el conjunto de los dos años para el raigrás italiano bianual, híbrido y perenne en Mabegondo, Marco da Curra y A Pobra do Brollón, respectivamente, en fechas

más o menos fijas tras el primer corte en la fase de crecimiento vegetativo en marzo) durante un período de dos años (2007 y 2008 en Marco da Curra y A Pobra do Brollón y 2008 y 2009 en Mabegondo). Se consideró una biomasa media de rastrojo de 1.000 kg MS ha<sup>-1</sup> a una altura de 5 cm. Las muestras consistieron en las plantas enteras, es decir, hojas y vainas incluyendo tallos e inflorescencias en el corte de la primavera tardía u hojas y vainas en los otros cortes. El peso seco total del material se determinó después de secarlo en un horno de aire forzado (Unitherm) a 80 °C durante 16 h. En cada lugar experimental se tomaron muestras de suelo para determinar las principales características físicas del suelo y las condiciones iniciales del mismo para las entradas del modelo (tabla 2). En todos los experimentos se supuso que el contenido inicial de agua del suelo era igual a la capacidad de campo. El factor de crecimiento de las raíces del suelo (SRGF) es el factor de distribución relativa de la longitud de las raíces (0-1) en los horizontes del suelo. Este factor se calculó con el programa SBUILD incluido en el DSSAT a partir de las características medidas en el terreno (profundidad de los horizontes, arcilla, limo y carbono orgánico). ▶▶

## SEMILLAS GRAOS

### Cultivos alternativos GRAOS, semilla certificada de CEREALES y LEGUMINOSAS

CEREALES; TRITICALE, AVENA, CEBADA, CENTENO. LEGUMINOSAS (ANUALES-PLURIANUALES); VEZA, TITARRO, GUISANTE, ALFALFA, ESPARCETA...

Consulte a nuestro departamento técnico sobre las diferentes mezclas que se pueden aplicar en función de las necesidades de cada suelo.



**Tabla 1. Datos meteorológicos medios mensuales observados durante los períodos de evaluación en las fincas experimentales de Mabegondo, Marco da Curra y A Pobra do Brollón**

Variable meteorológica	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Mabegondo 2007-2009</b>												
T. máx. (°C)	13,2	15,7	15,6	17,4	18,8	21,9	22,8	24,0	23,9	20,7	15,4	13,6
T. mín. (°C)	5,2	4,3	4,7	5,9	9,2	11,5	12,4	12,5	9,4	8,8	5,8	3,8
Radiación solar (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	4,1	7,5	11,3	14,9	15,5	19,9	19,3	17,9	15,9	10,0	6,0	4,8
Lluvia (mm)	138,5	110,8	92,6	109,3	106,7	52,3	64,1	50,3	39,9	80,7	172,2	142,4
<b>Marco da Curra 2006-2008</b>												
T. máx. (°C)	8,9	10,4	10,5	14,3	15,5	19,0	20,8	20,0	19,6	16,3	11,6	9,3
T. mín. (°C)	4,1	4,2	4,8	6,0	8,0	10,4	12,1	12,0	11,3	9,6	6,1	4,1
Radiación solar (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	4,9	7,7	9,2	15,7	16,2	19,7	19,3	18,1	15,1	9,5	6,1	4,7
Lluvia (mm)	123,5	181,8	172,0	119,0	97,1	41,7	74,5	60,7	62,7	188,2	188,3	179,0
<b>A Pobra do Brollón 2006-2008</b>												
T. máx. (°C)	10,6	14,1	15,8	20,3	22,4	26,8	29,1	28,6	26,7	21,2	13,8	9,3
T. mín. (°C)	1,2	1,1	3,5	4,8	7,4	10,0	11,2	10,6	9,4	6,7	2,9	0,9
Radiación solar (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	4,7	7,9	10,5	16,4	18,7	21,8	21,8	20,2	15,3	9,8	5,3	3,6
Lluvia (mm)	62,6	73,2	68,7	66,5	72,2	27,4	20,2	30,3	42,7	82,7	115,9	78,9

**Tabla 2. Características del perfil del suelo en las fincas experimentales de Mabegondo, Marco da Curra y A Pobra do Brollón**

Profundidad	Arcilla	Limo	SOC†	SOC3	LL	DUL	SAT	BD	SRGF
cm	%	%	%	%	v/v	v/v	v/v	g cm <sup>-3</sup>	0-1
<b>Mabegondo</b>									
A 20	20,6	49	1,3	0,80	0,188	0,334	0,467	1,43	1
Bw 40	21	50,1	1,3	0,80	0,188	0,334	0,467	1,43	1
C 55	22	49	1,2	0,75	0,188	0,334	0,467	1,43	1
<b>Marco da Curra</b>									
A 20	10,3	38,8	1,1	0,70	0,243	0,342	0,434	1,4	1
C 40	12,4	45	1,1	0,70	0,243	0,342	0,434	1,4	1
<b>A Pobra do Brollón</b>									
A 20	18,5	32,7	1,4	0,75	0,114	0,334	0,502	1,5	1
Bw 40	19	34	1,4	0,75	0,114	0,334	0,502	1,5	1
C 55	20	35	1,3	0,70	0,114	0,334	0,502	1,5	1

† SOC, carbono orgánico; SOC3, carbono orgánico estable calibrado por CENTURY; LL, punto de marchitez permanente; DUL, capacidad de campo; BD, densidad aparente; SAT, humedad de saturación; SRGF, factor de distribución relativa de la longitud de las raíces en el suelo

Todas las observaciones recogidas (clima, suelo y prácticas agrícolas) se organizaron en la forma requerida por el DSSAT y los archivos experimentales se crearon en consecuencia. El conjunto de datos mínimos para la simulación del modelo incluye características del suelo, datos meteorológicos diarios (temperaturas mínimas y máximas, precipitaciones y radiación solar), prácticas agrícolas y los CSPs (Jones *et al.*, 2003).

**Enfoque para la adaptación (calibración) del modelo**

El CROPGRO-PFM se puede adaptar modificando los valores de los parámetros (constantes del modelo numérico y sus relaciones) fisiológicos, fenológicos y bromatológicos que describen las características de la especie (archivo SPE), el cultivar (archivo CUL) y el ecotipo (archivo ECO) (Jones *et al.*, 2003).

El archivo SPE tiene los parámetros más representativos del comportamiento fisiológico de la planta en un determinado medio. Contiene, además, los parámetros de ▶▶



fotosíntesis, respiración, composición bromatológica de cada una de las partes de la planta, carbono y nitrógeno, crecimiento de la hoja, factores de envejecimiento de la hoja, parámetros de la raíz, fenología, etc.

El archivo CUL incluye los parámetros que describen la duración del desarrollo (tiempo térmico o fisiológico expresado en grados-día, °Cd), la sensibilidad a la longitud del día, la tasa máxima de fotosíntesis en la hoja, el área foliar específica y los componentes del rendimiento.

Los parámetros del archivo ECO muestran como grupos de cultivares pueden compartir rasgos comunes (por ejemplo, la tasa de aparición de hojas) en respuesta a las condiciones ambientales. En este estudio se utilizó el modelo CROPGRO-PFM con parámetros tomados inicialmente de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (Pequeno *et al.*, 2014), pero también modificados por Leonardo Moreno en 2013 para el raigrás italiano anual cultivado en Brasil (inédito), sin alterar la estructura del modelo.

Una característica exclusiva de dicho modelo es el archivo de entrada MOW (MOW = producción de materia seca de la biomasa viva del rastrojo), que se utiliza para definir las fechas de cosecha, la cantidad de rastrojo vivo que queda por debajo de la altura de corte, el porcentaje de hojas del rastrojo (RS-PLF) y el número de hojas del rastrojo (MVS) en el momento del corte del forraje. El valor MOW, que caracteriza la biomasa no cosechada que permanece en el campo, se fijó en 1.000 kg MS ha<sup>-1</sup> (producción de materia seca hipotética) porque no se había medido la biomasa real de los rastrojos en el campo. Los parámetros MVS y RSPLF se fijaron en 2 % y 20 %, respectivamente. La producción de materia seca

total se calculó como la suma del valor de MOW más la producción de materia seca cosechada.

Parte de la calibración requirió el establecimiento del nivel de carbono orgánico estable del suelo (SOC3) para fijar la mineralización del nitrógeno del suelo con el módulo CENTURY. Los correspondientes valores calibrados de SOC3 se muestran para cada suelo con la información del perfil del suelo que figura en la tabla 2.

Se siguió un procedimiento de adaptación sistemática según Boote *et al.* (2002) y Pequeno *et al.* (2014) en el que los parámetros se establecieron inicialmente sobre la base de los valores de la bibliografía y los principios fisiológicos conocidos de las plantas, es decir, composición típica de los raigrases, tasa fotosintética de las hojas típica de los pastos C-3 y parametrización de las temperaturas cardinales o críticas, que son las temperaturas mínimas, máximas y óptimas que definen la curva de crecimiento de un cultivo. El siguiente paso consistió en la comparación de las simulaciones del modelo con las observaciones experimentales, en las que los parámetros no disponibles en la bibliografía (por ejemplo, el reparto de asimilados a las raíces, base de los tallos, tallos y hojas) se obtuvieron mediante un proceso de optimización, buscando el mejor ajuste de la simulación del modelo a las variables observadas (producción de materia seca cosechada) que se veían influidas por esos parámetros. Este proceso se denomina modelización inversa y se realizó cambiando manualmente los valores de los parámetros hasta lograr valores que proporcionen simulaciones cercanas a la media de los valores observados, junto con la reducción al mínimo de la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el aumento del índice

► EL CONJUNTO DE DATOS MÍNIMOS PARA LA SIMULACIÓN DEL MODELO INCLUYE CARACTERÍSTICAS DEL SUELO, DATOS METEOROLÓGICOS DIARIOS, PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y LOS CSPs

de ajuste de Willmott (estadístico d, con valores de 0-1, indicando los valores cercanos a 1 una buena predicción del modelo), (Willmott, 1981).

**Estimación de las producciones potenciales y las brechas de producción**

La producción potencial (PY) de las cuatro variedades de raigrás se simuló considerando que no hay limitación de agua y nitrógeno.

La producción potencial en seco (PR) de las cuatro variedades de raigrás se simuló considerando limitación en el agua y sin limitaciones en el nitrógeno.

La producción alcanzable (AY) se simuló considerando limitaciones de agua y de nitrógeno.

Se estimaron tres brechas de producción para cada finca experimental y cultivar:

Brecha de producción 1 (limitación de agua) = (PY-PR)/PY\*100  
Brecha de producción 2 (limitación de nitrógeno) = (PR-AY)/PR\*100

Brecha de producción 3 (limitación de agua y nitrógeno) = (PY-AY)/PY\*100 ►►

**Distribuidor de Semillas RAGT para Galicia y Asturias**

**Venta de todo tipo de semillas para praderas, mezclas especiales para coberteras y desinfección del suelo, mostazas, habas, guisantes, colzas, alfalfa, vezas y todo tipo de cereales**



Sembrando y Alimentando  
El Futuro  
tel: 670 535 636

Polígono Lalín 2000  
Ciudad del Transporte - nave A3  
36500 LALÍN (Po)

[gilangel@hotmail.es](mailto:gilangel@hotmail.es)  
Tel.: 670 535 636

**Tabla 3. Parámetros para los ficheros CUL y ECO adaptados al raigrás. Valores iniciales de *Brachiaria* (Pequeno *et al.*, 2014)**

Parámetro	Definición	Inicial <i>Brachiaria</i>	Calibrado Raigrás
<b>Parámetros del fichero CUL</b>			
LFMAX	Tasa fotosintética máxima en hojas a 30°C, 350 ppm CO <sub>2</sub> y nivel alto de luz (mg CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	1,80	1,11-1,23*
SLAVR	Área foliar específica (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) bajo condiciones óptimas de temperatura, agua y luz	190	300
<b>Parámetros del fichero ECO</b>			
TRIFL	Tasa de aparición de hojas por día térmico (°Cd)	0,15	0,15
RDRMT	Sensibilidad relativa a la dormición (reposo), efecto de la duración del día en el reparto de asimilados para el almacenamiento (0-1)	0,475	0,951
RDRMM	Sensibilidad relativa a la dormición, efecto de la duración del día en la movilización de asimilados para el rebrote (0-1)	0,850	1,000

\*1,11 para "Barsilo" y "Ciami", 1,17 para "Caballo" y 1,23 para "Pomba"

► LOS VALORES SIMULADOS FUERON INFERIORES A LOS OBSERVADOS, PERO HAY QUE TENER EN CUENTA QUE LA SIMULACIÓN SOLO CONSIDERA EL ESTRÉS HÍDRICO Y DE NITRÓGENO

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a que el punto de partida del modelo fue una gramínea tropical C-4 (*Brachiaria*), muchas de las modificaciones se asociaron con las temperaturas cardinales, así como con la modificación de la composición de las plantas (raíces, hojas, tallos) y la fotosíntesis típica de especies C-3, como los raigrases.

#### Adaptación del modelo

Los parámetros de los ficheros CUL y ECO que son utilizables para el raigrás se muestran en la tabla 3.

Los raigrases, al ser plantas C-3, tienen una capacidad y una eficiencia fotosintética inferior a la de la mayoría de las gramíneas tropicales (Kajala *et al.*, 2011). Sobre la base de ese concepto y otras referencias en la bibliografía, la fotosíntesis máxima de la hoja (LFMAX) en el archivo CUL se redujo de 1,80 (utilizado inicialmente para los forrajes C-4) a valores de 1,11 a 1,23 mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, según los cultivares de raigrás. El CROPGRO-PFM simula la fotosíntesis horaria a nivel de hoja en función de la asimilación de la cubierta vegetal, basándose así en principios fisiológicos, y también simula el crecimiento y la respiración. La tasa de crecimiento de la planta es una función del índice de área foliar (LAI) y de la eficiencia fotosintética de las hojas. El área foliar específica (SLAVR) muestra una variación estacional en relación con la luz y la temperatura. El SLAVR se fijó en 300 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> como referencia estándar en condiciones óptimas de crecimiento.

La tasa de aparición de hojas en el tallo principal (TRIFL) se mantuvo en 0,15 hojas por día térmico, de acuerdo con los valores obtenidos por Pedreira *et al.* (2011).

Los parámetros de fenología, fotosíntesis, crecimiento y senescencia de las hojas, composición de las plantas (hoja, tallo, raíz y órganos de almacenamiento), reparto de asimilados en estado vegetativo durante las fases de plántula y establecimiento y dormición/almacenamiento de asimilados del archivo SPE se optimizaron, pero no se presentan en este artículo. Los valores de estos parámetros están disponibles pidiéndolos a los autores.

La fenología en el modelo CROPGRO-PFM está regulada por un conjunto de parámetros de temperaturas cardinales (°C): temperatura base (TB), primer óptimo (TO1), segundo óptimo (TO2) y temperatura máxima (TM), definidos para la tasa de aparición de las hojas y del desarrollo reproductivo tanto temprano como tardío.

Como los forrajes permanecen en estado vegetativo la mayor parte del tiempo, la calibración de las temperaturas cardinales se centró principalmente en el desarrollo vegetativo, para el cual la TB, TO1, TO2 y TM se fijaron en 1, 20, 25 y 45 °C, respectivamente.

Después del corte de los forrajes, el rebrote depende en gran medida de la superficie de las hojas de los rastrojos, la densidad de los tallos y las reservas de la planta forrajera. En la mayoría de las plantas forrajeras no rizomatosas, como son los raigrases, ►

los órganos de almacenamiento están situados en la base de los tallos y también en las raíces. El reparto de asimilados obtenidos en la fotosíntesis hacia los órganos de almacenamiento está regulado por el suministro de los mismos, el índice de área foliar y las “reglas” de almacenamiento, que incluyen los efectos de la disminución de la duración del día y la temperatura (Pequeno *et al.*, 2014). Además, la disminución de la producción de forraje durante los meses de invierno se ajustó mediante parámetros de “dormición o reposo”, desencadenados por las bajas temperaturas y la menor duración del día (Pequeno *et al.*, 2014). Para asegurar una buena simulación de los ciclos de rebrote, se optimizaron los parámetros de movilización de carbono y nitrógeno procedentes de los órganos de almacenamiento.

Se optimizó el efecto de la sensibilidad relativa a la dormición por la duración del día (RDRMT y RDRMM) en el reparto y la movilización de asimilados para aumentar las variaciones de los ciclos estacionales a lo largo del rebrote, haciendo que el modelo sea más

sensible al efecto de la duración del día (aumentando los valores de RDRMT y RDRMM).

El crecimiento de las plantas se ve muy afectado por el suministro de N. La concentración crítica de N requerida para un crecimiento óptimo se define como la concentración más baja en la que se produce el crecimiento máximo. La concentración en los tejidos por debajo de esta concentración crítica reduce los procesos de crecimiento. Por encima de esta concentración crítica no se produce un aumento adicional de la tasa de crecimiento, aunque se produce un consumo de lujo de N (Godwin y Singh, 1998). La concentración de N en la hoja y el tallo se optimizó teniendo en cuenta los valores habituales de proteína bruta en estas especies.

#### Evaluación del modelo adaptado

En la tabla 4 se presentan las producciones anuales de materia seca cosechada, los valores observados y simulados medios de la producción de materia seca por corte para cuatro cultivares de raigrás en tres localidades de Galicia, tras la adaptación del modelo. ►►

► LOS RESULTADOS OBTENIDOS SON COMPARABLES CON OTROS ESTUDIOS PUBLICADOS EN SIMULACIONES DE ESPECIES FORRAJERAS

**Tabla 4. Producción anual de materia seca cosechada (kg MS ha<sup>-1</sup>), producción media de materia seca cosechada por corte (observado) y producción media de materia seca simulada por corte (simulado) y sus desviaciones estándar (SD), valores de la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y del índice de ajuste de Willmott (estadístico d) para cuatro cultivares de raigrás en tres localidades: Mabegondo, Marco da Curra y A Pobra do Brollón. Simulación con limitación de agua y nitrógeno (producción alcanzable)**

Localidad	Cultivares	Producción anual	Observado (SD)	Simulado (SD)	RMSE	d
Mabegondo	Pomba	19.733	2.819 (1.399)	2.353 (999)	1.151	0,76
	Caballo	16.716	2.786 (1.568)	2.405 (1.128)	1.222	0,78
	Barsilo	15.690	2.615 (1.549)	2.364 (1.146)	1.140	0,81
	Ciami	14.184	2.364 (1.515)	2.370 (1.149)	918	0,87
Marco da Curra	Pomba	9.612	1.602 (979)	1.454 (777)	763	0,79
	Caballo	11.730	2.346 (1.501)	1.733 (807)	1.475	0,61
	Barsilo	10.390	2.078 (1.518)	1.704 (809)	1.372	0,64
	Ciami	10.830	2.166 (1.363)	1.708 (814)	1.158	0,72
A Pobra do Brollón	Pomba	14.868	2.478 (1.560)	1.580 (791)	1.221	0,78
	Caballo	11.470	2.549 (1.424)	2.211 (1.163)	1.220	0,76
	Barsilo	11.151	2.478 (1.539)	2.161 (1.158)	1.271	0,75
	Ciami	10.372	2.305 (1.428)	2.161 (1.154)	991	0,84



Son de destacar las altas producciones anuales de materia seca cosechada del cultivar de raigrás italiano anual “Pomba” en Mabegondo y A Pobra do Brollón.

En general se obtuvieron buenos resultados en las medias de los valores observados y simulados para todos los cultivares. Los valores simulados fueron inferiores a los observados, pero hay que tener en cuenta que la simulación considera el estrés hídrico y de nitrógeno, es decir, que solo tiene en cuenta la contribución de las precipitaciones, el fertilizante nitrogenado aplicado y el nitrógeno que proporciona la mineralización del suelo. Es posible que las diferencias entre las producciones observadas y simuladas se puedan deber a que el modelo no haya simulado de manera adecuada la mineralización del nitrógeno del suelo.

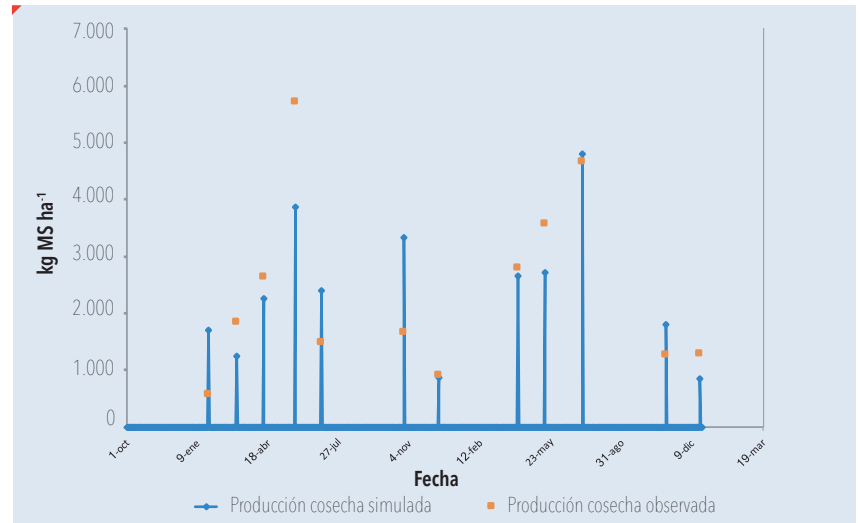
Las diferencias simuladas entre los cultivares de diferentes especies de raigrases fueron pequeñas. El índice d más alto fue de 0,87 para “Ciami” en Mabegondo y el más bajo de 0,61 para “Caballo” en Marco da Curra. La RMSE más baja de la producción de materia seca fue de 763 kg MS ha<sup>-1</sup> para “Pomba” en Marco da Curra y la RMSE más alta, de 1.475 kg MS ha<sup>-1</sup> para “Caballo”, también en Marco da Curra.

Los resultados obtenidos son comparables con otros estudios publicados en simulaciones de especies forrajeras, como en el caso de *Medicago sativa*, en el que se obtuvo una RMSE de 760 y un índice d de 0,75 para la producción de materia seca (Malik *et al.*, 2018). Además, Lara *et al.* (2012) para *Panicum maximum* obtuvieron una RMSE de 478 kg MS ha<sup>-1</sup> y un índice d de 0,79 para la biomasa total. También Pedreira *et al.* (2011) obtuvieron una RMSE de 538 kg MS ha<sup>-1</sup> y un índice d de 0,83 simulando *Brachiaria brizantha*. Pequeno *et al.* (2014) obtuvieron una RMSE de 523 kg MS ha<sup>-1</sup> y un índice d de 0,96 simulando las producciones de los rebrotes del cv. Marandu de *Brachiaria brizantha*.

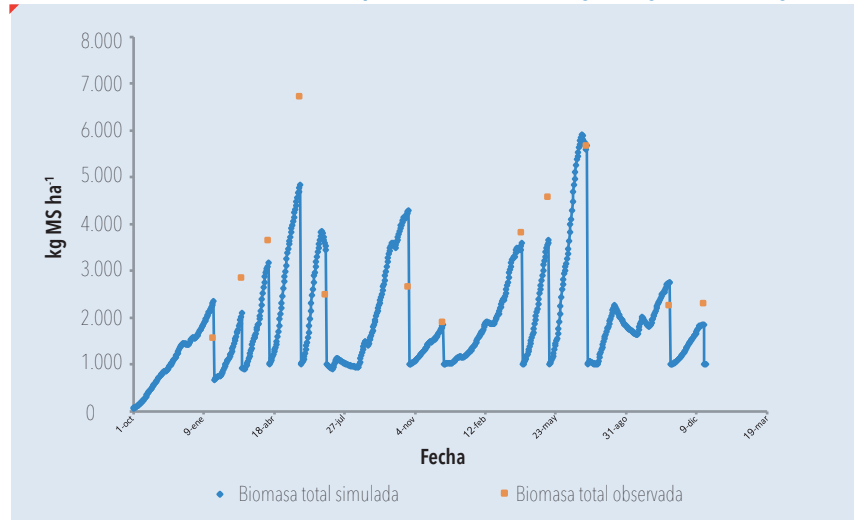
El patrón de crecimiento estacional de la producción de materia seca cosechada se ilustra en la figura 1 y la biomasa total (producción de materia seca cosechada + producción de materia seca del rastrojo) en la

figura 2 para “Ciami” en Mabegondo. Se encontró una buena concordancia entre los valores observados y simulados durante la estación de crecimiento para ambas variables (véase la RMSE y las estadísticas d dadas anteriormente). Las simulaciones de la producción de materia seca cosechada y de la biomasa total muestran el patrón esperado de una producción relativamente baja para los cortes de principios de invierno, con un aumento de la producción hacia los aprovechamientos de mayo y junio y una menor producción en verano, cuando el crecimiento está limitado por las bajas precipitaciones. ▶▶

**Figura 1. Comparación de la producción de materia seca cosechada (kg MS ha<sup>-1</sup>) simulada y observada por corte, en dos años de toma de datos para el cv. Ciami de raigrás inglés en Mabegondo**



**Figura 2. Comparación de la biomasa total (kg MS ha<sup>-1</sup>) simulada y observada por corte, en dos años de toma de datos para el cv. Ciami de raigrás inglés en Mabegondo**



**Tabla 5. Producción potencial (sin limitación de agua y nitrógeno), producción potencial en secano (agua limitada y nitrógeno no limitado), producción alcanzable (con limitación de agua y nitrógeno) en kg de MS ha<sup>-1</sup> cosechada por corte y brechas de producción en los raigrases en tres localidades de Galicia**

Localidad	Cultivares	Producción potencial	Producción potencial secano	Producción alcanzable	% brecha 1 (por limitación de agua)	% brecha 2 (por limitación de nitrógeno)	% brecha 3 (por limitación de agua y nitrógeno)
Mabegondo	Pomba	3.937	3.090	2.353	21,5	23,8	40,2
	Caballo	4.174	3.276	2.405	21,5	26,6	42,4
	Barsilo	4.066	3.160	2.364	22,3	25,2	41,9
	Ciami	4.070	3.164	2.370	22,3	25,1	41,8
	<b>Media</b>	<b>4.062</b>	<b>3.172</b>	<b>2.373</b>	<b>21,9</b>	<b>25,2</b>	<b>41,6</b>
Marco da Curra	Pomba	4.549	2.938	1.454	35,4	50,5	68,0
	Caballo	5.379	3.812	1.733	29,1	54,5	67,8
	Barsilo	5.234	3.652	1.704	30,2	53,3	67,4
	Ciami	5.233	3.657	1.708	30,1	53,3	67,4
	<b>Media</b>	<b>5.099</b>	<b>3.515</b>	<b>1.650</b>	<b>31,2</b>	<b>52,9</b>	<b>67,7</b>
A Pobra do Brollón	Pomba	4.870	2.036	1.580	58,2	22,4	67,6
	Caballo	4.707	2.750	2.211	41,6	19,6	53,0
	Barsilo	4.570	2.650	2.161	42,0	18,5	52,7
	Ciami	4.575	2.655	2.161	42,0	18,6	52,8
	<b>Media</b>	<b>4.680</b>	<b>2.523</b>	<b>2.028</b>	<b>45,9</b>	<b>19,8</b>	<b>56,5</b>

El valor añadido de este trabajo es la parametrización del modelo CROPGRO-PFM para cuatro cultivares representativos de las diferentes especies de raigrases, realizada en tres localidades gallegas con diferentes condiciones ambientales. La parametrización de dicho modelo debe ser evaluada más a fondo para otros aspectos (índice de área foliar, proteína bruta, digestibilidad, etc.) que no fueron probados en este estudio. La inclusión de otras zonas experimentales y de información adicional sobre las condiciones ambientales, las prácticas agrícolas, el crecimiento y la producción de las distintas especies podrían mejorar el modelo. En este estudio, los datos utilizados para la parametrización no se recogieron con fines de modelización de cultivos, por lo tanto, la falta de datos adecuados puede afectar a la capacidad de simulación, por lo que puede influir en sus resultados.

### Brechas de producción

Las diferencias entre la producción potencial y la producción potencial en secano (brecha 1) oscilaron entre el 22 y el 46 % de la producción potencial, es decir, entre 0,9 y 2,2 t ha<sup>-1</sup>. Mabegondo tuvo la menor y A Pobra do Brollón la mayor brecha de producción. Esta brecha se debe a la falta de agua (de lluvia y de riego).

Las brechas entre la producción potencial en secano y la producción alcanzable (brecha 2) oscilaron entre el 20 y el 53 % de la producción potencial en

secano, o sea, de 0,5 a 1,9 t ha<sup>-1</sup>. A Pobra do Brollón tuvo la menor y Marco da Curra la mayor brecha de producción. Esta brecha se debe a la falta de nitrógeno (de la fertilización y del suelo).

Las brechas entre las producciones potenciales y las producciones alcanzables (brecha 3) oscilaron entre el 42 y el 68 % de la producción potencial, o sea, de 1,7 a 3,5 t ha<sup>-1</sup>. Mabegondo tuvo la brecha de producción más baja y Marco da Curra la más alta. Esta brecha de producción se debe a la falta de suficiente agua y nitrógeno. Marco da Curra es el lugar con mayores limitaciones para el crecimiento de los raigrases debido al estrés hídrico y a la falta de nitrógeno.

CROPGRO-PFM fue útil para identificar las brechas entre las producciones potenciales posibles y alcanzables.

### CONCLUSIÓN

La adaptación del modelo CROPGRO-PFM para simular la producción de los raigrases se realizó mediante la optimización de los parámetros de los ficheros SPE, CUL y ECO del modelo CROPGRO-PFM en respuesta de procesos fisiológicos a efectos ambientales. Como primera versión de trabajo, la versión modificada del modelo CROPGRO-PFM para raigrases es un primer paso en la adaptación del modelo para simular el crecimiento y el desarrollo de estas especies. Los parámetros pueden ajustarse a medida que se disponga de nuevos datos. Si bien este modelo adaptado represen-

ta un progreso basado en trabajos recogidos de otros autores y de datos de tres experimentos de campo en Galicia, se necesitarían más datos adicionales recopilados en más ambientes y de tratamientos para mejorar la capacidad del modelo para su uso general.

Esta versión del modelo CROPGRO-PFM para los raigrases todavía no está incluida en el paquete DSSAT de modelos de cultivos. La inclusión en la nueva versión DSSAT la hará disponible para futuras pruebas y mejoras. Más allá del objetivo de la mejora de los modelos, un importante desafío de investigación

en el área de los cultivos forrajeros es evaluar el efecto de diferentes prácticas agrícolas en la producción y el valor nutritivo de los raigrases con el fin de aumentar la capacidad de adaptación del sistema de producción forrajera (resiliencia) para que el sector agrícola sea más productivo y sostenible.

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores desean agradecer la ayuda prestada en la determinación de los perfiles de suelo a las profesoras universitarias Dra. Rosa María Calvo de Anta y Dra. Esperanza Álvarez Rodríguez, de la Universidad de Santiago de Compostela (Galicia). ■

**BIBLIOGRAFÍA**

Boote, K.J., Jones, J.W., Hoogenboom, G., Pickering, N.B., 1998. The CROPGRO model for grain legumes. In: G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom, and P.K. Thornton, eds. *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands, pp. 99-128.

Boote, K.J., Kropff, M.J., Nidraban, P.S., 2001. Physiology and modeling of traits in crop plants: Implications for genetic improvement. *Agric. Syst.*, 70: 395-420.

Boote, K.J., Minguez, M.I., Sau, F., 2002. Adapting the CROPGRO legume model to simulate growth of faba bean. *Agron. J.*, 94: 743-756.

CIAM, 1991. Evaluación de variedades comerciales de gramíneas pratenses en zonas húmedas: resultados 1985/1990 (siembras de 1985). Editor: Xunta de Galicia. La Coruña, Galicia, España, 50 p.

Díaz, N., Díaz, D., Crecente, S., Flores, G., 2015. Valor agronómico de las variedades comerciales de gramíneas y leguminosas pratenses. *Evaluación de 2014*. *Afriga*, año XXI, 118: 95-106.

FAO, 2015. La FAO y los 17 objetivos de desarrollo sostenible (<http://www.fao.org/3/a-i4997s.pdf>).

Flores, G., Díaz, N., Díaz, D., Valladares, J., Pereira-Crespo, S., Fernández-Lorenzo, B., Resch, C., Rodríguez-Diz, X., Piñeiro, J., 2013. Evaluación de cultivares de raigrás italiano e híbrido como cultivo de invierno para ensilar en primavera. *Pastos*, 43(1): 20-34.

Flores-Calvete, G., Martínez-Fernández, A., Doltra, J., García-Rodríguez, A., Eguinoa-Ancho, P., 2017. Informe estructura y sistema de alimentación de las explotaciones lecheras de Galicia, Cornisa Cantábrica y Navarra, 52 p.

Gijsman, A.J., Hoogenboom, G., Parton, W.J., Kerridge, C.P., 2002. Modifying DSSAT crop models for low-input agricultural systems using a soil organic matter residue module from CENTURY. *Agron. J.*, 94: 462-474.

Godwin, D.C., Singh, U., 1998. Nitrogen balance and crop response to nitrogen in lowland and upland cropping systems. In: G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom, and P.K. Thornton, eds. *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands, pp. 55-77.

Hoogenboom, G., Porter, C.H., Shelia, V., Boote, K.J., Singh, U., White, J.W., Hunt, L.A., Ogoshi, R., Lizaso, J.I., Koo, J., Asseng, S., Singels, A., Moreno, L.P., Jones, J.W., 2019. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7.5 (<https://DSSAT.net>). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.

Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T., 2003. The DSSAT cropping system model. *Eur. J. Agron.*, 18: 235-265.

Kajala, K., Covshoff, S., Karki, S., Woodfield, H., Tolley, B.J., Dionora, M.J.A., Mogul, R.T., Mabilangan, A.E., Danila, F.R., Hibberd, J.M., Quick, N.P., 2011. Strategies for engineering a two-celled C4 photosynthetic pathway into rice. *J. Exp. Bot.*, 62: 3001-3010.

Lara, M.A.S., Pedreira, C.G.S., Boote, K.J., Pedreira, B.C., Moreno, L.S.B., Alderman, P.D., 2012. Predicting growth of *Panicum maximum*: An adaptation of the CROPGRO-perennial forage model. *Agron. J.*, 104: 600-611.

Malhi, S.S., Gill, K.S., McCartney, D.H., Malmgren, R., 2004. Fertilizer management of forage crops in the Canadian Great Plains. *Recent Research Developments Crop Science Research Signpost, Trivandrum*, 1(1): 237-271.

Malik, W., Boote, K.J., Hoogenboom, G., Cavero, J., Dechmi, F., 2018. Adapting the CROPGRO model to simulate alfalfa growth and yield. *Agron. J.*, 110(5): 1777-1790.

McCauley, D.J., 2020. Predictive agriculture. *Crop modeling for the future*. *CSA News Magazine*, 65 (5): 3-9.

Oliveira, J.A., González, A., 2000. Recursos Fitogenéticos de raigrás inglés europeos: valor agronómico en condiciones de bajo mantenimiento. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.*, 15 (1-2): 67-78.

Oliveira, J.A., Affif-Khouri, E., Palencia, P.,

Gorgoso, J., 2013. Efecto del abonado nitrogenado sobre el primer corte de primavera en un cultivo invernal de raigrás italiano. En: Olea L., Poblaciones, Mª J., Rodrigo, S.M., Santamaría, O., eds. *Los pastos: nuevos retos, nuevas oportunidades*, pp. 227-234. Badajoz, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

Pedreira, B.C., Pedreira, C.G.S., Boote, K.J., Lara, M.A.S. Alderman, P.D., 2011. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. *Field Crops Research*, 120: 370-379.

Pequeno, D.N.L., Pedreira, C.G.S., Boote, K.J., 2014. Simulating forage production of Marandu palisadegrass (*Brachiaria brizantha*) with the CROPGRO-Perennial Forage Model. *Crop Pasture Science*, 65: 1335-1348.

Piñeiro, J., Pérez, M., 1978. El nitrógeno en una mezcla de ray-grass italiano y trébol violeta. *Pastos*, 8(2): 239-263.

Piñeiro, J., Pérez, M., 1992. Mezclas pratenses de la España Húmeda. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Hoja Divulgadora Núm. 8/92 HD, pp. 1-48.

Rymph, S.J., Boote, K.J., Irmak, A., Mislevy, P., Evers, G.W., 2004. Adapting the CROPGRO model to predict growth and composition of tropical grasses: Developing physiological parameters. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings*, Gainesville, 63: 37-51.

Schils, R., Snijders, P., 2004. The combined effect of fertilizer nitrogen and phosphorus on herbage yield and changes in soil nutrients of a grass/clover and grass-only sward. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2: 165-179.

Tóth, G., Jones, A., Montanarella, L., 2013. The LUCAS topsoil database and derived information on the regional variability of cropland topsoil properties in the European Union. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185 (9): 7409-7425.

USDA-Soil Taxonomy, 1999. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, 869 p. *Agriculture Handbook No. 436*, 2nd edn. Soil Survey Staff. Washington DC.

Willmott, C.J., 1981. On the validation of models. *Phys. Geogr.*, 2: 184-194.

**Semillas** **ASTURVERDE**

**Semillas forrajeras y pratenses**  
**Mezclas para jardín y campos deportivos**  
**Ceceda - NAVA - ASTURIAS - Tfno: 985 70 40 17**