



El raigrás italiano es la gramínea pratense con mayor presencia en las explotaciones lecheras del norte de España

Evaluación de la respuesta en la producción de biomasa del raigrás italiano al abonado fosfórico

En este artículo presentamos los resultados de nuestro estudio, cuyo objetivo fue la evaluación de la respuesta de la producción de biomasa al abonado fosfórico y, con la información obtenida, contribuir a la creación de un submodelo P para el componente vegetal en el CROPGRO-PFM dentro del DSSAT.

J.A. Oliveira¹, M.J. Rozados², E. Afif³, P. Palencia¹

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

²Centro de Investigación Forestal de Lourizán, Agacal (Xunta de Galicia)

³Área de Ingeniería Agroforestal, Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo (Asturias)

INTRODUCCIÓN

La producción de forraje y las características de la vegetación son muy sensibles a las condiciones ambientales como la lluvia, la temperatura del aire y la radiación solar incidente (Taiz y Zeiger, 2002). Los aspectos de la gestión de los pastos, como la cantidad de fertilizante aplicada (Woodard y Sollenberger, 2011), y el manejo de la recolección con la frecuencia e intensi-

dad de la defoliación (Pedreira *et al.*, 1999) juegan un papel importante en la morfología, composición química y producción de forraje.

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 el porcentaje 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.

Los modelos de simulación de cultivos pueden ayudar a decidir el mejor manejo agronómico para un determinado genotipo en un determinado ambiente. El modelo CROPGRO-Peren-



► LA CANTIDAD ÓPTIMA DE P APLICADO PARA LA FERTILIZACIÓN DEL RAIGRÁS ITALIANO, TENIENDO EN CUENTA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA SECA TOTAL SERÍA DE 40 KG P HA⁻¹ (=92 KG P₂O₅ HA⁻¹)

nial Forage (CROPGRO-PFM) es una versión modificada del modelo CROPGRO (Boote *et al.*, 1998), incluido en el paquete informático del Sistema de Apoyo a las Decisiones para la Transferencia de Agrotecnología (DSSAT) [Hoogenboom *et al.*, 2019].

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 estos, por lo que Oliveira *et al.* (2020) realizaron una primera versión de trabajo de dicho modelo con el fin de simular el crecimiento y desarrollo de estas especies en Galicia.

El fósforo (P) está considerado el nutriente del suelo más importante después del nitrógeno (N) para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que juega un papel relevante en su estructura y en la transformación de la energía. También ha sido reconocido como un contaminante potencial de las aguas (Anderson, 1980).

Aunque el raigrás italiano responde al fertilizante nitrógeno según Piñeiro y Pérez (1978), esta respuesta puede estar limitada por el 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 del 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). Debido a que las hojas constituyen la parte más nutritiva y digestible de las plantas (Díaz Barcos y Callejo Ramos, 2004) se deben considerar las concentraciones de P en las hojas y en los tallos de manera independiente en la configuración del submodelo del P.

El área foliar es un buen indicador de la capacidad de un cultivo para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (Villalobos *et al.*, 2017). Cuando no hay limitaciones de fertilidad y agua en el suelo para el crecimiento de un cultivo, su producción se correlaciona positivamente con la radiación ►

¡Abre bien los ojos!



No todos los fertilizantes nitrogenados son iguales.

Numerosos estudios de I+D han demostrado que la menor pérdida de nitrógeno se consigue con la aportación de un **equilibrio perfecto en nitrógeno y magnesio** lo que se traduce en mayor proteína y cantidad de forraje.

Fertimón ha conseguido con **NITROFERTIMÓN**, ese equilibrio a un nivel que no aporta ningún otro fertilizante.



Parque Empresarial Vilanova I
36614 Baion - Vilanova de Arousa (Pontevedra)
Tf. 986 51 60 30 - soaga@soaga.com
www.soaga.com

fotosintética absorbida por este (Russell *et al.*, 1989).

Como es costoso aplicar fertilizantes inorgánicos de P, es importante que se comprendan los factores que afectan a la disponibilidad de P de fuentes inorgánicas y orgánicas en diversos sistemas de cultivo y condiciones climáticas, de modo que los resultados puedan extrapolarse de una región a otra. El contenido total de P del suelo (formas inorgánicas y orgánicas) suele dividirse en diferentes grupos (soluble, lábil o intercambiable, no lábil o insoluble) para facilitar la modelización del equilibrio del fósforo del suelo (Heng, 2000).

El P disponible es la cantidad de P en los suelos que se puede absorber por las raíces de las plantas. Es un parámetro cuantitativo y está influenciado por las condiciones del suelo existentes en un momento particular y por la capacidad de la planta para absorber P de la solución del suelo (Raven y Hossner, 1993; Holford, 1997).

Los análisis de P en el suelo más usados son extracciones químicas que utilizan reactivos para extraer el P del suelo, pero no representan todo el fósforo disponible para las plantas (Recena *et al.*, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la finca Casero en Candás (43° 35' 03,95" N, 5° 46' 56,32" O, altitud 80 m, Asturias, España) en un clima templado marítimo. El área del estudio se incluye en la ecorregión eurosiberiana, provincia atlántica europea del norte de España, subprovincia fitogeográfica cántabro-atlántica. Bioclimáticamente presenta un termotipo (temperaturas) termocolino (zona litoral) y un ombrotipo (precipitaciones) de tipo húmedo inferior (900-1.150 l m⁻²) [Díaz González y Fernández Prieto, 1994].

La parcela en donde se implantó el ensayo estuvo destinada los últimos años a prado para la producción de forraje.

Se realizó un estudio del perfil del suelo antes de la siembra, determinando que el suelo pertenece al orden Inceptisol (suelo pardo ácido Cambisol distrito), subordinados Udepts, grupo: Typic Dystrudepts (USDA-Soil Taxonomy, 1999).

Los análisis de suelo se realizaron en el Laboratorio de Análisis Agroalimentario del Instituto Naves de Empresarios Agrarios (INEA, Valladolid) según

métodos oficiales de análisis (MAPA, 1994).

Las labores que se dieron antes de la siembra de los ensayos en 2019 y 2020 fueron las siguientes: aplicación de herbicida total Roundup Ultraplus (36 % glifosato, sal potásica P/V, dosis 2 l ha⁻¹ de producto comercial). Una vez muerta la vegetación del prado, se dio un pase de rotovator. Aplicación de 2.500 kg ha⁻¹ de caliza (Agrocarb 100 de Asturiana de Calizas con el 57 % CaO) y de 200 kg de K₂O ha⁻¹ en forma de sulfato potásico (52 % K₂O), pase de rotovator; aplicación de superfosfato de cal (18 % P₂O₅ y 25 % CaO) a las cinco dosis del ensayo y posterior pase de rotovator para enterrar el abono fosfórico.

El diseño experimental fue el de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y cinco niveles de P (0, 20, 40, 60 y 80 kg P ha⁻¹). El *Lolium multiflorum* bianual 4x Barmultra II (Semillas Clemente) se sembró a una dosis de 40 kg semilla ha⁻¹, en parcelas de 5 m x 2 m (10 m²). La parcela sembrada en 2019 fue diferente de la parcela sembrada en 2020. Tras la siembra se dio un pase manual de rastrillo para tapar la semilla. Se aplicaron 140 kg N ha⁻¹ año⁻¹, 70 kg N ha⁻¹ un mes antes del primer corte y 70 kg N ha⁻¹ después del primer corte.

Determinaciones

Durante el ensayo (octubre-abril) se realizaron dos cortes de biomasa en las siguientes fechas:

Corte 1: 20/2/2020 y 6/3/2021 en estado vegetativo y corte 2: 23/4/2020 y 18/4/2021 en estado inicio de espigado.

Solo se dieron dos cortes cada año en cada parcela, pues después del cultivo del raigrás italiano, en la parcela se sembró maíz forrajero en el mes de mayo.

Antes de cada corte se determinó el índice de área foliar (IAF=LAI, m² m⁻²) utilizando un analizador de la cubierta vegetal LI-COR® LAI 2000. Cada medición se obtuvo realizando una secuencia de dos lecturas por encima y cuatro por debajo (una en cada esquina de la parcela, es decir en 4 puntos de la parcela) en un día nublado. Se utilizó una máscara opaca con una abertura de 45-90° ajustada a la lente del ojo de pez para reducir la influencia del operador y de las parcelas adyacentes.

También antes de cada corte se determinó la radiación fotosintéticamente

▶ A LA DOSIS DE 40 KG P HA⁻¹ APLICADO, LA EFICIENCIA DE LA RECUPERACIÓN DEL P (%) FUE DEL 11 %, LO QUE POSIBLEMENTE INCREMENTARÁ EL NIVEL DE P EN EL SUELO CON EL TIEMPO

activa (PAR) interceptada mediante un sensor cuántico de línea Li-191SA de 1 m de longitud. Una medida por parcela en diagonal por encima y otra por debajo de la cubierta vegetal (micromol m⁻² s⁻¹) a las 12:00 h (hora solar) enfrente del sol.

Con los valores de las medidas PAR encima y debajo de la cubierta vegetal se determinó la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (FIPAR) con la fórmula siguiente: FIPAR = (PAR encima-PAR debajo)/PAR encima.

Después del primer corte (cuatro días después del corte) se determinó también el IAF y el PAR en las parcelas encima de la cubierta vegetal y a ras del suelo, con el fin de ver la influencia del rastrojo que quedó tras el primer corte en el posterior rebrote.

Antes del corte de la biomasa en las parcelas se midió la altura en cuatro puntos de la parcela con un metro de ▶▶

LOS PRODUCTOS **GALICAL** FAVORECEN EL RENDIMIENTO DE LA PRADERA

La acidez de los suelos gallegos es una de las limitaciones para el crecimiento de nuestros cultivos (maíz, hierba, etc.). Para reducir el efecto limitante del pH y controlar el aluminio hay que aplicar enmiendas calizas o magnésicas en las tierras de cultivo.

TIPOS DE ENMIENDA

Cal viva (90 % CaO)

Cal viva dolomítica (60 % CaO + 35 % MgO)

La cal viva es el producto resultante de calcinar en un horno caliza o caliza dolomítica. Se caracteriza por su alto contenido en calcio y magnesio, ya que más del 90 % está en forma de óxido. Ambos son materiales muy solubles, por eso se pueden aplicar en granulometrías carentes de polvo. Alto índice de neutralización entre 90 y 100 %. La acción sobre el terreno es inmediata.

Cal apagada (65 % CaO)

Cal apagada + dolomía (53 % CaO / 23 % MgO)

La cal apagada es el resultado de mezclar cal viva con agua. Conserva todas las propiedades de las cales vivas y actúa también rápidamente sobre el terreno. Su valor de neutralización es alto (80 %). Tanto la cal viva como la cal apagada son fundamentales para un encalado de corrección.

Calizas

Calizas dolomíticas

Son materiales que resultan de moler finamente las calizas. Contienen bajos porcentajes de calcio y de magnesio.



Caliza (entre 50 y 56 % CaO)

Caliza dolomítica (30-40 % CaO y 17-20 % MgO)

Se caracterizan por ser materiales poco solubles. Si la molienda que reciben no está por debajo de 0,125 mm son productos de actuación lenta y corren el riesgo de que la lluvia provoque pérdidas de la enmienda. Tienen un valor neutralizante medio de entre el 50 y el 60 %. Se utilizan más bien para encalados de mantenimiento una vez que el pH ya se aproxima a niveles óptimos.

**EXTENDIDO
REGULADO
POR GPS**



La aplicación sobre el terreno controlada por GPS nos permite el ahorro de los productos y la optimización de los costes. Con esta nueva herramienta podremos calcular de forma precisa la cantidad que vamos a aplicar en nuestra finca y con su regulación podremos asegurar que echamos exactamente el producto deseado.

GALICAL SL
CALES Y DOLOMÍAS AGRÍCOLAS



R/ Gallastegui Unamuno.
Vial G - N.º 7
Polígono Industrial As Gándaras
27003 Lugo

Fax 982 22.14.08
E-mail: info@galical.es
Web: www.galical.es

carpintero. La altura en cada uno de los puntos fue la altura máxima del follaje en el punto de contacto con el metro de carpintero. Las parcelas se cosecharon cortando con una motosegadora con un peine de 1 m de ancho. La producción se determinó sobre una superficie de 4 m x 1 m (4 m²), 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 del suelo.

La producción de biomasa en cada parcela se pesó en el campo y una submuestra de 200 gramos en cada repetición y tratamiento se llevó al Laboratorio de Producción Vegetal de la Universidad de Oviedo. En el laboratorio se realizó la separación de la muestra en hoja viva, tallo vivo (vaina + tallo) y material muerto.

El peso seco total de las diferentes fracciones se determinó después de secarlas en una estufa de circulación de aire forzado a 70 °C durante 48 horas.

La producción de materia seca en los diferentes componentes de cada muestra se calculó a partir de los pesos secos de las submuestras y posteriormente se estimó la producción de materia seca del total de la muestra. Las muestras secas de hojas y tallos se molieron y se hicieron pasar por un tamiz de 1 mm.

La concentración de P (g kg⁻¹) se realizó en las muestras de hojas y tallos (80 muestras obtenidas en 2 cortes por año) de manera independiente mediante colorimetría (PerkinElmer® LambdaTM 35 UV/VIS Espectrofotómetro, Shelton, CT, EE. UU.) tras combustión en una mufla a 450 °C durante 4 horas y disolución de las cenizas con 6 N HCl en el laboratorio de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Oviedo.

El P extraído en el forraje (kg P ha⁻¹) se calculó mediante el producto de los kg MS ha⁻¹ y la concentración de P en g kg⁻¹ (sobre materia seca = sms).

Se estimó la eficiencia en la recuperación del fósforo (%) (eficiencia de absorción del P por la planta) mediante la siguiente ecuación: % eficiencia recuperación P = (P extraído en plantas fertilizadas - P extraído en plantas sin fertilización/P aplicado) x 100.

Se realizó un análisis de varianza para comparar el efecto de las diferentes dosis de fósforo en la producción de materia seca del forraje, altura de las plantas en el momento del corte, FIPAR, IAF, concentración de P

en hojas y tallos y cantidad de fósforo extraído en la materia seca cosechada de la variedad de raigrás italiano Barmultra II mediante un diseño en bloques completos al azar (4 repeticiones) con el factor dosis de abonado fosfórico (5 niveles) y año de siembra (2019 y 2020). Las medias se compararon mediante la prueba Tukey de comparación de medias (P<0,05). El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante el programa IBM SPSS Statistics v.27.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis edafológico

Los valores de pH fueron algo ácidos, por lo que se estimó conveniente aplicar una enmienda caliza (tabla 1). Los valores de carbono orgánico fueron altos, porque en los prados el ritmo de descomposición de la materia orgánica es bajo debido a que no se realizan labores en el suelo. Los niveles de P y K fueron bajos en los tres horizontes del suelo según MARM (2011). Los dos horizontes superiores son franco-arenosos o franco-arcilloso-arenosos, lo que influye en que la intensidad de infiltración del agua sea alta. En cambio, el horizonte C, al ser arcilloso, presenta una menor infiltración del agua. ▶▶

▶ LA MAYOR EFICIENCIA EN LA RECUPERACIÓN DEL P (13 %) SE LOGRARÍA CON UNA DOSIS DE 20 KG P HA⁻¹, PERO DESDE EL PUNTO DE VISTA AGRONÓMICO LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA SECA SERÍA MENOR QUE CON UNA DOSIS DE ABONADO DE 40 KG P HA⁻¹

Tabla 1. Características fisicoquímicas del perfil del suelo en la finca Casero (Candás) antes de la siembra del ensayo. Los valores de las propiedades hídricas del suelo se determinaron a partir de los datos de la textura de los diferentes horizontes según Saxton *et al.* (1986)

Variables	A (25 cm) Ócrico	Bw (25-40 cm) Cámbico	C (40-60 cm) Argílico
pH (1:2,5)	5,3	5,4	5,4
Carbono orgánico (%)	3,71	1,80	1,39
Nitrógeno total (%)	0,32	0,15	0,12
Fósforo Olsen (ppm)	10	5	4
Potasio extraíble (ppm)	151	114	100
Limo (%)	29	24	18
Arena (%)	61	47	39
Arcilla (%)	10	29	43
Textura	Franco arenosa	Franco arcillo arenosa	Arcillosa
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1,549	1,366	1,293
Punto de marchitez permanente (v/v)	0,090	0,166	0,237
Agua capacidad de campo (v/v)	0,203	0,281	0,353
Agua disponible para el crecimiento de las plantas (v/v)	0,113	0,115	0,116
Punto de saturación (v/v)	0,415	0,485	0,512
Intensidad de infiltración (mm h ⁻¹)	26,53	3,34	1,58

EL ABONADO RENTABLE Y EFICAZ DE CULTIVOS FORRAJEROS

ENTE[®]C

MAYOR EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO

Fertilizantes estabilizados que reducen la nitrificación y aseguran el suministro de N

AHORRO OPERACIONAL Y APLICACIONES FLEXIBLES

Menor número de aplicaciones y menor dependencia del clima

COMPATIBLE CON LA PROTECCIÓN DEL CLIMA Y DEL MEDIO AMBIENTE

Reducción de las pérdidas de nitratos por lavado y de las emisiones de gases de efecto invernadero

EXCELENTE ALMACENAMIENTO Y APLICACIÓN PRECISA

Granulometría homogénea y con ausencia de polvo para garantizar una distribución uniforme de los nutrientes



EuroChem Agro Iberia, S.L.
www.eurochemiberia.com



EUROCHEM

Tabla 2. Medias mensuales de la temperatura máxima (Tmax) y mínima diaria (Tmin), medias mensuales de la radiación solar global incidente diaria (RG) y precipitación mensual acumulada (P), registradas en la finca Casero (Candás) durante el periodo experimental

	Tmax. (°C)	Tmin. (°C)	RG (MJ m ² d ⁻¹)	P mm
Oct. 2019	20,4	14,1	8,6	190,4
Nov. 2019	16,2	10,2	4,3	348,6
Dic. 2019	15,6	8,4	4,1	153,4
Ene. 2020	14,9	8,1	4,9	80,2
Feb. 2020	16,3	9,5	7,9	26,6
Mar. 2020	15,4	9,2	10,9	101,8
Abr. 2020	17,2	12,2	11,3	53,4
Oct. 2020	23,0	9,2	8,6	126
Nov. 2020	24,2	6,6	5,9	386
Dic. 2020	20,1	5,5	3,7	182
Ene. 2021	13,0	5,0	5,2	166
Feb. 2021	16,1	7,6	7,2	105
Mar. 2021	15,2	6,7	11,4	24
Abr. 2021	16,0	8,2	15,6	32

En la tabla 2 se resumen los datos meteorológicos obtenidos en la estación meteorológica de la finca experimental durante los dos años de ensayo.

El conocimiento de las temperaturas cardinales (temperatura base o mínima, temperaturas óptimas mínimas y máximas y temperatura máxima) es fundamental para ajustar el momento de la siembra, germinación y emergencia con condiciones ambientales favorables para el crecimiento de las plantas y su desarrollo (Monks *et al.*, 2009). La media mensual más alta de las temperaturas máximas diarias se produjo en el mes de noviembre de 2020 y fue menor de 30 °C, temperatura óptima máxima, a partir de la cual disminuye el ritmo de desarrollo en el raigrás italiano. La media mensual de las temperaturas mínimas diaria, más baja (5 °C) se obtuvo en el mes de enero de 2021 y fue superior a 2 °C, temperatura base o mínima por debajo de la cual cesa el desarrollo en el raigrás italiano, según Kim *et al.* (2018). La media mensual más baja de radiación solar diaria se produjo en el mes de diciembre, siendo valores de radiación similares a zonas costeras de Galicia como Mabegondo en A Coruña (Oliveira *et al.*, 2020). Los valores de precipitación mensual acumulada más altos se produjeron en el mes de noviembre de 2020 y

los más bajos en el mes de marzo de 2021. La cantidad de lluvia durante el periodo de crecimiento del raigrás italiano en 2019-2020 (954 mm) y en 2020-2021 (1021 mm) fue óptima para su desarrollo y crecimiento (Kim *et al.*, 2018).

Producción de biomasa del raigrás italiano

Tanto la altura como la producción de biomasa en cada uno de los dos cortes como en la suma de los dos cortes resultaron significativamente diferentes (tratamiento dosis de fósforo $P < 0,001$), creciendo los valores de acuerdo con el aumento de la dosis de abonado fosfórico (tabla 3).

► LA FIPAR FUE HASTA UN 14 % MAYOR ANTES DEL SEGUNDO CORTE QUE ANTES DEL PRIMERO

En el primer corte, la producción de biomasa seca aérea del raigrás italiano se incrementó un 39 % desde el control de P aplicado (0 kg P) al pico de respuesta a 40 kg P. La producción de biomasa con 40 kg P en el primer corte no se desvió significativamente respecto a la obtenida con los niveles de 60 y 80 kg P aplicado.

En el segundo corte, la producción de biomasa seca aérea del raigrás italiano se incrementó un 15 % desde el control de P aplicado al pico de respuesta a 40 kg P. La producción de biomasa con 40 kg P no se desvió significativamente respecto a la obtenida con los niveles de 60 y 80 kg P aplicado. ►►

Tabla 3. Respuesta en kg MS ha⁻¹ año⁻¹ y altura del cultivar en el momento del corte de raigrás italiano Barmultra II a varias dosis de abonado fosfórico en Candás, Asturias (valores medios de los dos años de ensayo, desviación estándar entre paréntesis). Significación del efecto dosis de fósforo: * $P < 0,001$. Diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0,05$), a>b>c>d**

Fósforo (kg P ha ⁻¹ año ⁻¹)	Altura (cm)		kg MS ha ⁻¹		
	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte1+Corte2
0	25(5)c	54(16)d	1284(592)c	4082(1034)c	5366(1619)c
20	30(5)b	58(19)c	1576(630)b	4467(988)bc	6043(1603)b
40	32(6)ab	60(20)c	1790(670)ab	4710(1006)ab	6501(1649)ab
60	33(7)a	63(19)b	1814(967)ab	4789(1015)ab	6704(1648)a
80	34(8)a	66(19)a	1915(665)a	5119(1224)a	6933(2177)a
Significación	***	***	***	***	***



ARVUM
FERTILIZANTES



SOLUCIONES SEGÚN SUELOS Y CULTIVOS

**SEGUIMOS AMPLIANDO NUESTRA RED
DE DISTRIBUCIÓN **¡SÚMATE!****



CONTACTO
info@arvum.org
www.arvum.org

Tabla 5. Valores medios (dos años de ensayo) de FIPAR (desviación estándar entre paréntesis) antes del primer corte FIPAR_pre1, después del primer corte FIPAR_post1 y antes del segundo corte FIPAR_pre2 del raigrás italiano Barmultra II a varias dosis de abonado fosfórico en Candás, Asturias. Significación del efecto dosis de fósforo: ** P<0,01; * P<0,001. Diferencias significativas según la prueba de Tukey (P<0,05), a>b>c>d>e**

Fósforo (kg P ha ⁻¹ año ⁻¹)	FIPAR_pre1	FIPAR_post1	FIPAR_pre2
0	0,81(0,04)b	0,13(0,01)e	0,92(0,06)b
20	0,83(0,04)b	0,16(0,01)d	0,92(0,05)b
40	0,84(0,03)a	0,18(0,02)c	0,93(0,05)ab
60	0,85(0,02)a	0,21(0,01)b	0,93(0,05)ab
80	0,86(0,05)a	0,23(0,02)a	0,94(0,05)a
Significación	***	***	**

Tabla 6. Valores medios (dos años de ensayo) de IAF (desviación estándar entre paréntesis) antes del primer corte IAF_pre1, después del primer corte IAF_post1 y antes del segundo corte IAF_pre2 del raigrás italiano Barmultra II a varias dosis de abonado fosfórico en Candás, Asturias. Significación del efecto dosis de fósforo: * P<0,001. Diferencias significativas según la prueba de Tukey (P<0,05), a>b>c>d**

Fósforo (kg P ha ⁻¹ año ⁻¹)	IAF_pre1	IAF_post1	IAF_pre2
0	3,6(0,6)c	0,2(0,03)d	6,3(1,1)c
20	4,3(0,9)b	0,3(0,03)c	7,1(0,9)bc
40	4,7(0,9)ab	0,3(0,04)c	7,6(1,0)ab
60	4,8(1,6)ab	0,4(0,02)b	7,7(0,9)ab
80	5,0(1,0)a	0,5(0,04)a	8,3(1,2)a
Significación	***	***	***

En la producción total de los dos cortes, la producción de biomasa seca aérea del raigrás italiano se incrementó un 20 % desde el control de P aplicado al pico de respuesta a 40 kg P. La producción de biomasa con 40 kg P no se desvió significativamente respecto a la obtenida con los niveles de 60 y 80 kg P aplicado. Este valor de 40 kg P ha⁻¹ (92 kg P₂O₅ ha⁻¹) es algo más bajo al indicado (110 kg P₂O₅ ha⁻¹) por Piñeiro *et al.* (2011) para cultivos forrajeros de invierno anuales en suelos con niveles bajos de P.

Investigaciones en suelos con bajos niveles de P (Robinson y Ellers, 1996) como los de este trabajo y con precipitaciones altas y temperaturas suaves mostraron resultados similares, indicando que las producciones más altas se alcanzaron con niveles de 40 kg P ha⁻¹.

Tabla 4. Producción de biomasa en hojas y tallos del raigrás italiano (valores medios de los dos años de ensayo, desviación estándar entre paréntesis). Significación del efecto dosis de fósforo: * P<0,001**

	kg MS ha ⁻¹	
	Corte 1	Corte 2
Hojas	1459 (250)	1758 (268)
Tallos	216 (42)	2876 (349)
Significación	***	***

En el corte 1 se observó una mayor producción de biomasa en forma de hojas, debido a realizarse el corte en un estado vegetativo (tabla 4). En cambio, en el segundo corte se obtuvo una mayor proporción de tallos en la biomasa, debido a realizarse el corte al inicio del espigado.

Fracción de radiación fotosintética interceptada (FIPAR) e índice de área foliar (IAF)

Antes del primer corte del raigrás italiano (tabla 5), la FIPAR fue significativamente diferente según la dosis de abonado fosfórico, alcanzando el pico máximo con la dosis de 40 kg P ha⁻¹ y representando el 84 % de la radiación incidente con un IAF de 4,7 (tabla 6).

En el primer corte, la FIPAR presenta un incremento de un 2 % por la adición de 20 kg P ha⁻¹ con respecto a las parcelas control sin abonar. Si se aumenta la dosis de abonado fosfórico al doble, se produce un incremento del 4 % respecto al control y, si se triplica la dosis, la FIPAR aumenta un 5 % respecto a las parcelas control. Si se sigue aumentando la dosis hasta 80 kg P ha⁻¹, la FIPAR presenta un incremento del 6 %.

La altura de las plantas en el momento del corte y la biomasa también

► LOS VALORES MAYORES DEL 90 % DE FIPAR EN EL SEGUNDO CORTE SE OBTUVIERON CON VALORES DE IAF DE 6,3-8,3 Y SE INCREMENTARON A MEDIDA QUE AUMENTABA LA DOSIS DE ABONADO FOSFÓRICO

se vieron incrementadas con respecto al control con las distintas dosis de abonado fosfórico.

Antes del segundo corte del raigrás italiano, también la FIPAR fue significativamente diferente según la dosis de abonado fosfórico, alcanzando el pico máximo con la dosis de 40 kg P ha⁻¹ y alcanzando el 93 % de la radiación incidente con un IAF de 7,6. La FIPAR fue hasta un 14 % mayor antes del segundo corte que antes del primer corte en las parcelas control sin abonar.

La FIPAR, antes del primer corte, refleja el efecto del abonado con valores significativamente mayores que el control para todas las dosis aplicadas. Este efecto se mantiene tras el primer corte en las mediciones hechas en el remanente de la cubierta que queda tras el corte. Antes del segundo corte, la FIPAR fue significativamente distinta entre las distintas dosis de abonado fosfórico.

En un ensayo para determinar la eficiencia del uso del agua y la productividad del raigrás inglés sometido a distintos niveles de agua y nitrógeno, Akmal y Janssens (2004) indicaron que el porcentaje de radiación PAR interceptada aumenta bruscamente cuando aumenta el IAF hasta un valor crítico a partir del cual los incrementos del ►►

¡NOVEDAD!



FERTIMÓN PRO



Con tecnología **SLOW**

Se estima que en la aplicación de un fertilizante nitrogenado se puede llegar a perder hasta un 50% del nitrógeno.

De ahí nace la necesidad de crear una tecnología que nos permita un **suministro racional del nitrógeno contenido en los fertilizantes**. Bienvenidos a la era de FERTIMÓN PRO, con tecnología SLOW.

Absorción de nitrógeno casi nula

Otros fertilizantes aportan todo el nitrógeno cuando la planta aún no está preparada.



Fertimón PRO actúa en la fase más importante, cuando el cultivo permite una gran absorción de nitrógeno, fósforo y potasio



Menor absorción de nitrógeno



PRINCIPALES VENTAJAS



BENEFICIOSO PARA AGRICULTORES Y GANADEROS

Sus características únicas ofrecen numerosos beneficios a los agricultores y ganaderos y a la sociedad en su conjunto: más productividad, sostenibilidad medioambiental e innovación.



ADAPTADO A LAS NUEVAS REGLAMENTACIONES

Cumple con las nuevas normas medioambientales para la nutrición sostenible de los suelos agrarios.



VANGUARDIA DE INVESTIGACIÓN

Desarrollado con las últimas tecnologías de fabricación con una clara apuesta por la I+D.



GRUPO
SOAGA

Tf. 986 51 60 30 | www.soaga.com



CON TECNOLOGÍA SLOW

Suministro racional de los nutrientes en la fase de crecimiento de los cultivos para obtener el máximo rendimiento.

Tabla 7. Respuesta (dos años de ensayo) en concentración de P (g P kg⁻¹ sobre materia seca = sms, desviación estándar entre paréntesis) en hojas y tallos del cultivar de raigrás italiano Barmultra II a varias dosis de abonado fosfórico en Candás, Asturias. Significación del efecto dosis de fósforo: **, P<0,01; *, P<0,001. Diferencias significativas según la prueba de Tukey (P<0,05), a>b>c**

Fósforo (kg P ha ⁻¹ año ⁻¹)	g P hojas kg ⁻¹ (sms)		g P tallos kg ⁻¹ (sms)	
	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2
0	1,8(0,3)c	1,4(0,2)b	1,9(0,3)b	1,2(0,2)b
20	2,5(0,7)b	1,8(0,4)ab	2,4(0,7)ab	1,5(0,3)ab
40	2,6(0,6)b	1,9(0,3)a	2,5(0,6)a	1,7(0,4)a
60	2,7(0,5)b	2,0(0,2)a	2,6(0,5)a	1,7(0,3)a
80	3,2(0,4)a	2,0(0,3)a	2,9(0,5)a	1,8(0,3)a
Significación	***	***	***	**

Tabla 8. Respuesta (dos años de ensayo) en kg P ha⁻¹ año⁻¹ y eficiencia en la recuperación del P (%), del cultivar de raigrás italiano Barmultra II a varias dosis de abonado fosfórico en Candás, Asturias. Significación del efecto dosis de fósforo: * P<0,001. Diferencias significativas según la prueba de Tukey (P<0,05), a>b>c**

Fósforo (kg P ha ⁻¹ año ⁻¹)	kg P ha ⁻¹			Eficiencia en la recuperación del P (%)
	Corte 1	Corte 2	Corte 1 + Corte 2	
0	2,9(0,7)c	6,0(1,1)b	8,9(1,7)c	
20	3,9(0,9)b	7,6(1,1)a	11,5(1,8)b	13
40	4,0(0,9)b	7,7(1,8)a	11,7(2,6)b	11
60	4,2(1,0)b	8,4(1,2)a	12,6(2,1)ab	6
80	5,1(1,7)a	8,8(2,0)a	13,9(3,6)a	6
Significación	***	***	***	

IAF no van aparejados con un aumento importante de la FIPAR, a lo largo del desarrollo del cultivo de raigrás.

El IAF también se vio influido por el efecto del abonado fosfórico, que resultó muy significativo antes del primer y del segundo corte (tabla 6).

Los valores del IAF antes del primer y segundo cortes mostraron una correlación positiva con los valores de producción de materia seca del primer corte (Coef. de correlación Pearson = 0,91, n=40) y del segundo corte (Coef. de correlación Pearson = 0,86, n=40).

Para una producción óptima de materia seca el cultivo debe ser capaz de interceptar un 95 % de la radiación incidente en la parte superior de la cubierta vegetal (Horrocks y Valentine, 1999). Cuando la FIPAR es mayor del 95 % de la radiación incidente, en las cubiertas vegetales, el crecimiento y la producción de hojas se ven inhibidos (Davidson y Donald, 1958). En el caso del trébol subterráneo, Davidson y Donald (1958) obtuvieron esos valores de radiación interceptada con valores de IAF de 4-5. Por otra parte, Brougham (1956) en condiciones de aumento de radiación obtuvo un ritmo constante de crecimiento con

valores de IAF de 5-9 en pastos, en el mismo rango que los obtenidos en este ensayo con raigrás italiano con fertilización con P en el primer corte y en el segundo corte de primavera, con mayor radiación (IAF de 4,3-8,3).

Concentración y extracción de fósforo en hojas, tallos y biomasa

La concentración de fósforo se incrementó significativamente tanto en hojas como en tallos a medida que aumentó la dosis de P aplicado tanto en el corte 1 (estado vegetativo) como en el corte 2 (inicio de espigado), siendo mayores en el corte 1 (tabla 7). En otros estudios (Hillard *et al.*, 1992; Robinson y Eilers, 1996) en los que no se hizo la separación entre hojas y tallos, el incremento en la dosis de fertilizante fosfórico aportado también incrementó la concentración de P en la biomasa del raigrás italiano.

Los rendimientos en fósforo en la biomasa fueron mayores cuando los rendimientos en biomasa fueron más altos, en particular en el corte 2 (tabla 8).

Un aspecto importante en la fertilización de forrajes es la evaluación de la absorción y extracción de nutrientes en

comparación con la dosis de fertilizante aplicado. Se entiende por absorción de nutrientes, la cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo. El término extracción es la cantidad total de nutrientes en los órganos cosechados, grano, forrajes u otros. En general, los planes de fertilización se realizan teniendo en cuenta los niveles de extracción de los cultivos, buscando reponer los nutrientes que son absorbidos y depositados en los órganos cosechables, y que por lo tanto no son reciclados debido a que no vuelven al suelo (Ciampitti y García, 2008). En el caso de los forrajes cosechados, la biomasa aérea se extrae del terreno (ejemplo corte de forraje en verde, heno o ensilado) y la absorción y extracción de nutrientes es prácticamente similar (Butler *et al.*, 2006).

La eficiencia en la recuperación del P (incremento en la extracción de P por parte de la planta por unidad de nutriente aplicado) fue mayor (13 %) con dosis bajas de abonado fosfórico (20 kg P aplicado), lo cual es común en suelos con niveles bajos de P disponible (Butler *et al.*, 2007). Cuando un suelo con bajo nivel de fósforo disponible se fertiliza por primera vez, la eficiencia del fertilizante fosfórico es baja (a menudo <20 %), debido a un proceso de “fijación” (McLaughlin *et al.*, 2011). A medida que se fertiliza con más P, la reacción de fijación se debilita y se produce una reacción denominada “desorción”, que implica una vuelta progresiva del P fijado a la solución del suelo, aumentando la eficiencia de las fertilizaciones con abonos fosfóricos (McLaughlin *et al.*, 2011).

La solubilidad de los iones ortofosfatos (monovalente y en menor proporción bivalente) que pueden ser absorbidos por las plantas dependen fundamentalmente del pH (el pH alrededor de 6,5 favorece la disponibilidad del P) y de la presencia de otros iones en la disolución del suelo, principalmente aluminio y hierro (Hernández y Zamalvide, 1998; De Bussetti *et al.*, 1999; Cerón y Ancizar, 2012). ➤

GRUPO AGROAMB

SENTIDO DEL RECICLAJE

VENTAJAS

- ✓ Mejoran la estructura del suelo, drenaje, retención de agua y aireación, proporcionando un mejor ambiente de enraizamiento de las plantas.
- ✓ Poseen cualidades de liberación de nutrientes lenta. El material continúa su descomposición dentro del suelo, reduciendo la cantidad de nitrógeno y fosfato que puede originarse con los fertilizantes químicos.
- ✓ Mejoran la capacidad de trabajo de los suelos, especialmente arcillosos pesados.
- ✓ Mejoran la retención de agua en los suelos ligeros.
- ✓ Mejoran la resistencia a la compactación del suelo y a la erosión.
- ✓ Reducen la necesidad de fertilizantes artificiales.
- ✓ Regulan el pH del suelo, al aportar cal.

PRODUCTOS FERTILIZANTES

Su contenido en materia orgánica, nitrógeno y fósforo los hacen especialmente atractivos para la elaboración de fertilizante en el sector agroforestal. Entre sus variadas ventajas hay que destacar que mejoran la estructura del suelo, su grado de porosidad y la capacidad de retención de agua debido fundamentalmente al aporte de materia orgánica. Además, le proporciona al suelo nitrógeno, fósforo y potasio de liberación lenta, y, al aportar cal, permite regular el pH del suelo. AGROAMB tiene inscritos los diferentes productos fertilizantes que elabora en el Registro de Productos Fertilizantes del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

FERTILIZANTES AUTORIZADOS

CÓDIGO	TIPO	NOMBRE COMERCIAL
F0001757/2022	Fertilizante orgánico NPK de origen animal y vegetal	AGROTHAME ORGANITE START
F0001894/2022	Enmienda orgánica compost	AGROTHAME ORGANITE COMPOST
F0001895/2022	Enmienda orgánica compost	AGROTHAME ORGANITE COMPOST START
F0001896/2022	Enmienda orgánica húmica	AGROTHAME ORGANITE HUMICO START
F0001897/2022	Enmienda orgánica húmica	AGROTHAME ORGANITE HUMICO
F0001919/2023	Fertilizante órgano-mineral nitrogenado líquido	AGROTHAME ORGANITE N-LIQ
F0001925/2023	Fertilizante órgano-mineral NK líquido	AGROTHAME ORGANITE PURINE
F0001926/2023	Fertilizante órgano-mineral NP líquido	AGROTHAME ORGANITE LIQUID
F0001980/2023	Enmienda orgánica húmica	AGROTHAME ORGANITE HUMICO ZEN
F0002420/2025	Fertilizante órgano-mineral NPK	AGROTHAME ORGANITE AGRO
F0002421/2025	Fertilizante órgano-mineral NPK	AGROTHAME ORGANITE SULFAGRO
F0002422/2025	Enmienda orgánica húmica	AGROTHAME ORGANITE HUMOST



AGROAMB

Ponte de Outeiro, 10 | 27256 Castro de Rei (Lugo)

Teléfono (+34) 982 231 365 | Fax (+34) 982 240 534

E-mail agroamb@agroamb.com | Web www.agroamb.com

CONCLUSIONES

La cantidad óptima de P aplicado para la fertilización del raigrás italiano, teniendo en cuenta la producción de biomasa seca, total sería de 40 kg P ha⁻¹ (=92 kg P₂O₅ ha⁻¹).

A la dosis de 40 kg P ha⁻¹ aplicado, la eficiencia de la recuperación del P (%) fue del 11 %, lo que posiblemente incrementará el nivel de P en el suelo con el tiempo.

La mayor eficiencia en la recuperación del P (13 %) se lograría con una dosis de 20 kg P ha⁻¹, pero desde el punto de vista agronómico la producción de biomasa seca sería menor que con una dosis de abonado de 40 kg P ha⁻¹.

La FIPAR fue hasta un 14 % mayor antes del segundo corte que antes del primer corte.

Los valores mayores del 90 % de FIPAR en el segundo corte se obtuvieron con valores de IAF de 6,3-8,3, y se incrementaron a medida que aumentaba la dosis de abonado fosfórico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dar las gracias al estudiante del Grado de Ingeniería Forestal y del Medio Natural, Rubén Aguirre Muñiz, y al estudiante de Máster en Biotecnología Aplicada a la Conservación y Gestión de Recursos Biológicos de la Universidad de Oviedo, El Bachir Baha, por la ayuda en los análisis de laboratorio de las muestras vegetales. ■

BIBLIOGRAFÍA

- Akmal, M., Janssens, M.J.J. (2004). Productivity and water use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. *Field Crops Research* 88:143-155.
- Anderson, G. (1980). Assessing organic phosphorus in soils. In: F.E. Khasawneh *et al.* (Eds.) pp. 411-431. The role of phosphorus in agriculture. ASA, Madison, WI.
- 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.
- Brougham, R.W. (1956). Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. *Australian Journal of Agricultural Research*, 7:337-387.
- Butler, T.J., Muir, J.P., Provin, T., Stewart, W.M. (2006). Phosphorus fertilization of annual ryegrass. *Better Crops*. Vol. 90 (3):6-9.
- Butler, T.J., Muir, J.P., Provin, T.L. (2007). Phosphorus fertilization of annual ryegrass and comparison of soil phosphorus extractants. *Journal of Plant Nutrition*, 30:9-20.
- Cerón, L.E. Ancizar, F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1):285-295.

- Ciampitti, I.A., García, F.O. (2008). Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. II. Hortalizas, frutales y forrajeras. *International Plant Nutrition Institute*. Archivo Agronómico n°12:1-4. <http://lacs.ipni.net/article/LACS1083>.
- Davidson, J.L., Donald, C.M. (1958). The growth of swards of subterranean clover with particular reference to leaf area. *Australian Journal of Agricultural Research*, 9(1):53-72.
- De Bussetti, S.G., Ferreiro, E.A., Natale, I.M., Mandolesi, M.E. (1999). Fósforo retenido por suelos y por sus fracciones granulométricas en relación con la materia orgánica. *Ciencia del Suelo*, 17(2):54-57.
- Díaz Barcos, V., Callejo Ramos, A. (2004). Calidad del forraje y del heno. *BOVIS. Aula Veterinaria. Conservación de Forrajes* I, 120:55-64.
- Díaz González, T.E., Fernández Prieto, J.A. (1994). El paisaje vegetal de Asturias. *Itinera Geobotánica* 8:5-242. Servicio de Publicaciones de la Universidad de León. León.
- 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.
- Heng, L.K. (2000). Modelling, databases and the P submodel. In *Management and Conservation of Tropical Acid Soils for Sustainable Crop Production*. IAEA TECDOC 1159, IAEA, 101-108. Vienna, Austria: IAEA.
- Hernández, J., Zamalvide, J.P. (1998). Procesos de retención de fósforo por los suelos evaluados a través de parámetros de suelo y planta. *Agrociencia* (Montevideo). 2(1):48-63.
- Hillard, J.B., Haby, V.A., Hons, F.M. (1992). Annual ryegrass response to limestone and phosphorus on an ultisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* Vol. 23:175-188.
- Holford, I.C.R. (1997). Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Australian journal of soil research* 35:227-240.
- 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.
- Horrocks, R.D., Valentine, J.F. (1999). *Harvested forages*. Academic Press. San Diego, California, USA. 426 p.
- Kim, H., Hyun, S.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Kim, K.S. (2018). Fuzzy Union to Assess Climate Suitability of Annual Ryegrass (*Lolium multiflorum*), Alfalfa (*Medicago sativa*) and Sorghum (*Sorghum bicolor*). *Scientific Reports* 8, 10220:1-15.
- 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.
- MAPA. (1994). Métodos oficiales de análisis de suelos y aguas para riego. En: *Métodos Oficiales de Análisis Vol III* (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación Eds.). Madrid.
- MARM. (2011). *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.
- McCauley, D.J. (2020). Predictive agriculture. *Crop modeling for the future*. *CSA News Magazine*, 65 (5):3-9.
- McLaughlin, M.J., McBeath, T.M., Smernik, R., Stacey, S.P., Ajilove, B., Guppy, C. (2011).

- The chemical nature of P accumulation in agricultural soils; implications for fertiliser management and design: an Australian perspective. *Plant and Soil*, 349(1-2):69-87.
- Monks, D.P., Sadat Esmaelan, K., Moot, D.J. (2009). Cardinal temperatures and thermal time requirements for germination of annual and perennial temperate pasture species. *Agronomy New Zealand*, 39:95-110.
- Oliveira J.A., Boote, K.J., López, J.E., Díaz, N., Piñero, J., Flores, G. (2020). Adaptación del modelo CROPGRO-Perennial-Forage para simular la producción de los raigrases. *Revista Vaca Pinta* n° 19:140-155.
- Pedreira C.G.S., Sollenberger L.E., Mislevy P. (1999). Productivity and nutritive value of 'Florakirk' bermudagrass as affected by grazing management. *Agronomy Journal* 91:796-801.
- Piñero, J., Pérez, M. (1978). El nitrógeno en una mezcla de raigrás italiano y trébol violeta. *Pastos*, 8(2):239-263.
- Piñero, J., Castro, J., Blázquez, R., Lloveras, J. (2011). Abonado de los cultivos forrajeros. En: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones (Eds). *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*. Madrid.
- Raven, K.P., Hossner, L.R. (1993). Phosphate desorption quantity-intensity relationships in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1505-1508.
- Recena, R., Torrent, J., del Campillo, M.C., Delgado, A. (2015). Accuracy of Olsen P to assess plant P uptake in relation to soil properties and P forms. *Agronomy for Sustainable Development*. 35(4):1571-1579.
- Robinson, D.L., Eilers, T.L. (1996). Phosphorus and potassium influences on annual ryegrass production. *Louisiana Agriculture* 2:10-11.
- Russell, G., Jarvis, P-G., Monteith, J.L. (1989). Absorption of radiation by canopies and stand growth. In *Plant Canopies: Their Growth, Form and Function*. Eds. G. Russell, B. Marshall and P.G. Jarvis. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 21-39.
- Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S., Papendick, R.I. (1986). Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50(4):1031-1036.
- 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.
- Taiz L, Zeiger E. (2002). *Plant physiology* (third edition). Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, MA, USA. 690 p.
- 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.
- Villalobos, F.J., De Melo Abreu, J.P., Mateos, L., Fereres, E. (2017). El balance de radiación. En: *Fitotecnia. Principios de agronomía para una agricultura sostenible*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Woodard K.R., Sollenberger L.E. (2011). Broiler litter vs. ammonium nitrate as N source for bermudagrass hay production: yield, nutritive value, and nitrate leaching. *Crop Science* 51:1342-1352.