

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ZINC SOBRE EL CULTIVO DE TRITICALE DE DOBLE APTITUD

Angélica Rivera Martín^{*1}, Nuno Pinheiro², Teodoro García White¹ y María José Poblaciones Suárez-Bárcena¹

¹ Departamento de Ingeniería del Medio Agronómico y Forestal. Escuela de Ingenierías Agrarias. Universidad de Extremadura. Avda. Adolfo Suárez s/n, 06007. Badajoz (España)

² Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, Elvas (Portugal)

EFFECT OF ZINC APPLICATION ON DOUBLE APTITUDE TRITICALE CROP

Historial del artículo:

Recibido: 02/02/2019

Revisado: 09/07/2019

Aceptado: 10/07/2019

Disponible online: 02/09/2019

* Autor para correspondencia:

angelicarm@unex.es

ISSN: 2340-1672

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

Palabras clave:

Sulfato de zinc, *Triticosecale*, biofortificación agronómica, calidad forrajera.

RESUMEN

El zinc (Zn) es un mineral esencial cuya deficiencia origina en el ganado numerosas alteraciones. A pesar de su importancia, se estima que la región mediterránea es deficiente en Zn. La biofortificación agronómica se ha mostrado como una técnica muy eficaz en el aumento de la concentración de Zn en las plantas. En la alimentación animal, el triticale de doble aptitud es un cereal muy interesante que puede ser aprovechado en invierno y tras su rebrote al final de campaña, supliendo las épocas de carestía típicas de las dehesas extremeñas: el invierno y el verano. Para estudiar la eficiencia de la biofortificación agronómica en el triticale de doble aptitud, se ha diseñado un experimento en parcelas subdivididas. En la parcela principal se han estudiado los tratamientos con Zn: no aplicación de Zn (Control), aplicación al suelo de 50 kg ha⁻¹ de ZnSO₄ (Suelo), aplicación foliar de 8 kg ha⁻¹ de ZnSO₄ durante el ahijado (Foliar), y aplicación combinada (Suelo+Foliar). En las subparcelas se ha considerado el aprovechamiento estival, con o sin corte invernal, para poder estudiar tanto la productividad como la acumulación de Zn y así determinar qué tratamiento es el más adecuado. En invierno se observó un aumento no significativo en el rendimiento del tratamiento Suelo, aplicado tanto aislado como junto con la aplicación foliar. En el rendimiento final, los tratamientos Suelo y Suelo+Foliar fueron de media un 15% más productivos que el Control. La concentración de Zn en el corte invernal fue más de cinco veces superior tanto en el tratamiento Foliar como en Suelo+Foliar, llegando a más de 160 mg Zn kg⁻¹, siendo el aumento de sólo 1,5 veces en primavera, insuficiente para suplir las carencias en la dieta del ganado. Estos resultados sugieren la necesidad de estudiar nuevas dosis y momentos de aplicación para aumentar la efectividad de la biofortificación en este cultivo.

Keywords:

Zinc sulphate, *Triticosecale*, agronomic biofortification, forage quality.

ABSTRACT

Zinc (Zn) is an essential mineral and its deficiency causes numerous alterations in livestock. The Mediterranean region is estimated to be deficient in Zn. Agronomic biofortification by Zn fertilization has been shown to be a very effective technique for increasing Zn concentration in plants. Double aptitude triticale is a very interesting cereal for animal feed because it can be used in winter and at the end of the crop season, matching the forage scarce seasons of the Extremadura dehesas, winter and summer. An experiment was designed using subdivided plots to study the efficiency of agronomic biofortification in double aptitude triticale crops. In the main plot, treatments regarding Zn fertilization were considered: no application of Zn (Control), soil application of 50 kg ha⁻¹ of ZnSO₄ (Soil), foliar application of 8 kg ha⁻¹ of ZnSO₄ during tillering (Foliar), and the previous two combined (Soil+Foliar). As subplot the summer harvest with or without winter cut were considered. The aim was to study both productivity and Zn accumulation, determining which treatment is the most appropriate. In winter, a non-significant increase in the yield of the Soil treatment was observed, applied both isolated and combined with the foliar application. For the whole season, the Soil and Soil+Foliar treatments were on average 15% more productive than the Control treatment. Zinc concentration in the winter cut was more than five times higher in both Foliar and Soil+Foliar treatments, reaching more than 160 mg Zn kg⁻¹. This increase was only 1.5 times in spring, insufficient to make up for deficiencies in livestock diets. Winter harvesting had negative influences both on the final yield and on the accumulation of Zn in the summer cut. New doses and moments of application should be studied to increase the effectiveness of biofortification in this crop.

INTRODUCCIÓN

El zinc (Zn) es un nutriente esencial necesario para las plantas, animales y seres humanos. Su deficiencia puede causar serios problemas en los cultivos, ya que se encuentra implicado en procesos fisiológicos y bioquímicos como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas, función antioxidante, polinización, crecimiento, mecanismos de regulación y defensa contra enfermedades (Cakmak et al., 1989; Brown et al., 2004). En humanos puede dar lugar a numerosas enfermedades, como depresión del sistema inmune, cardiopatías, asma, retraso del crecimiento, infertilidad, llegando incluso a la muerte en los casos más graves (Leveson y Morris, 2011). En animales la deficiencia en Zn produce inapetencia severa, falta de crecimiento y perjuicios en la función reproductiva, entre otras afecciones (Mufarrege y Aguilar, 2001; Rosa et al., 2008).

Su entrada en la cadena alimentaria está directamente relacionada con la disponibilidad de Zn en el suelo, siendo el Zn el micronutriente con deficiencia más extendida en las tierras agrícolas de todo el mundo, especialmente en suelos cultivados con cereales (Cakmak, 2008). Cuando los cultivos crecen en suelos con baja disponibilidad de Zn, como ocurre en diferentes partes de España (Alloway, 2008), sufren su deficiencia mostrando no sólo un bajo rendimiento sino también bajas concentraciones de Zn en sus partes comestibles (Cakmak et al., 2010; Zou et al., 2012; Gomez-Coronado et al., 2016; 2018).

La biofortificación agronómica se ha constatado como una técnica eficiente para aumentar el contenido de Zn en las plantas,

basada principalmente en la aplicación de fertilizantes con altos contenidos en los micronutrientes que se quieren incrementar. La aplicación de sulfato de zinc al suelo aumenta los rendimientos del cultivo, y la aplicación foliar aumenta más eficazmente el contenido de Zn en la parte comestible de la planta (Cakmak et al., 2010; Zou et al., 2012). La aplicación conjunta suelo-foliar se considera la más eficaz, al incrementar el rendimiento del cultivo y su contenido en Zn (Cakmak et al., 2010; Gómez-Coronado et al. 2016).

Para que los programas de biofortificación sean efectivos y cumplan con su función de incrementar los niveles de Zn en el organismo, éstos deben ser llevados a cabo sobre cultivos que den lugar a productos de consumo diario o muy frecuente. En el caso de la alimentación animal se trataría de cultivos forrajeros o de grano si van a formar parte de formulaciones en piensos compuestos. En este sentido, se hace muy interesante el estudio del triticale (*x Triticosecale* Wittmack). En el caso concreto de la dehesa, destaca el triticale de doble aptitud, que se caracteriza por poder ser pastoreado o segado en invierno y su rebrote nuevamente aprovechado al final de su ciclo. Si además se consigue que los contenidos en Zn de este forraje invernal y de primavera obtenido después del rebrote sean adecuados, se podría proporcionar una herramienta de lucha contra la deficiencia en Zn muy interesante y duradera a lo largo del año.

Con estos antecedentes, se ha diseñado este ensayo con el objetivo de estudiar la eficiencia de la biofortificación agronómica con zinc en el triticale de doble aptitud, y su efecto en el

Con la colaboración de:





© María José Poblaciones

Rebrote del Tríticale. Izquierda/Derecha: Con/Sin corte invernal

rendimiento de la biomasa invernal y estival, así como en los parámetros fundamentales de calidad.

MATERIAL Y METODOS

El ensayo se llevó a cabo durante la campaña agrícola 2017-2018, en una parcela perteneciente a los campos de prácticas de la Escuela de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Extremadura, en el término municipal de Badajoz (38° 53' 57"N y 6° 58' 4"O), con clima Mediterráneo Subtropical, en condiciones de secano. La precipitación total alcanzó los 477 mm, similares a los valores medios de la zona, aunque con un otoño-invierno bastante más seco de lo esperado, concentrándose el 60% de la precipitación anual en los meses comprendidos entre marzo y mayo, lo que favoreció el buen desarrollo del cultivo. El suelo, clasificado como tipo *Xerofluvent oxiácuico* (USDA, 1999), presentó una textura franco-arcillosa, pH ligeramente ácido (6,4), bajo contenido en materia orgánica (1,31%), Zn asimilable o DTPA (0,38 mg Zn kg⁻¹) y conductividad eléctrica muy ligeramente salina (1 321,4 μS cm⁻¹), pero con contenidos normales en nitrógeno total (0,12%) y potasio

asimilable (0,82 meq K/100g), y un contenido muy alto en magnesio intercambiable (3,72 meq Mg /100 g).

El material vegetal utilizado fue el tríticale cv. Bondadoso de ciclo medio-corto. Las labores preparatorias consistieron en un pase cruzado de grada de disco y un pase de rotovator. Previo a la siembra, se realizó un abonado de fondo N-P-K (15/15/15) a una dosis de 200 kg ha⁻¹ en todas las parcelas del ensayo. La siembra se realizó el 31 de octubre con una sembradora de chorrillo de seis botas separadas 20 cm, aplicando una dosis de 350 semillas m⁻², y tratándose posteriormente con herbicida en pre-emergencia.

Se planteó un ensayo para analizar el efecto de la fertilización con Zn sobre su acumulación tanto en el primer aprovechamiento del tríticale, el invernal, como en su rebrote, segado en primavera. Para ello se eligió un diseño experimental de parcelas subdivididas con cuatro repeticiones y un total de 32 parcelas. La parcela principal fue el factor "aplicación de Zn", con cuatro tratamientos: (i) no aplicación de Zn (Control); (ii) aplicación al suelo de 50 kg de ZnSO₄-7H₂O ha⁻¹ (Suelo); (iii) aplicación foliar de dos dosis de 4 kg de ZnSO₄-7H₂O ha⁻¹, una al inicio de

Con la colaboración de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN



Fundación Biodiversidad

ahijamiento (EC-20 según Zadoks et al., 1974) y otra en pleno ahijamiento (EC-25) (Foliar); y (iv) la aplicación conjunta de los dos tratamientos anteriores (Suelo+Foliar). Estas concentraciones han demostrado ser eficaces para trigo harinero en ensayos previos en la misma zona (Gómez-Coronado et al., 2016).

En la subparcela se estudió el factor “aprovechamiento invernal”: con y sin aprovechamiento del forraje al final de ahijado (EC-30) para cada uno de los tratamientos de la parcela principal. La unidad experimental estaba constituida por parcelas de 1,5 m de ancho y 5 m de longitud. El tratamiento de Zn al suelo se aplicó junto con la fertilización de fondo del cultivo y su posterior incorporación al suelo antes de la siembra. Los tratamientos foliares de Zn se efectuaron disueltos en 800 L ha⁻¹, aplicados a última hora del día y siguiendo la metodología descrita por Cakmak et al. (2010).

El aprovechamiento invernal se hizo con una segadora manual cuando la planta se encontraba en el estadio EC-30 y a una altura de corte de la planta de entre dos y tres centímetros sobre el nivel del suelo. El segundo aprovechamiento del forraje en primavera se realizó cuando el grano se encontraba en estado lechoso-pastoso. Tras el aprovechamiento invernal se aplicó un abono de cobertera con 50 kg ha⁻¹ de nitrato amónico cálcico (NAC al 27%).

Con el fin de determinar el valor agronómico y la calidad de cada una de las muestras, se realizaron las siguientes determinaciones: rendimiento de la biomasa forrajera invernal y estival, sumándole en los casos que corresponde el corte invernal; contenido en proteína (%) por el método Kjeldhal y concentración de Zn del forraje mediante digestión ácida siguiendo el método propuesto por Zhao et al. (1994) en vaso cerrado asistida por microondas (Mars X, CEM Corp, Matthews, EEUU). La concentración total de Zn en las muestras digeridas fue determinada utilizando un espectroscopio de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) (Agilent Technologies, Santa Clara, EE.UU.), operando en modo gas hidrógeno. Todos los resultados fueron referidos al contenido en materia seca.

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza de modelo factorial con dos factores fijos (aplicación de Zn y aprovechamiento invernal del forraje) y sus interacciones, y test de Mínima Diferencia Significativa en caso de diferencias significativas en el ANOVA, tras comprobar las hipótesis de normalidad y homocedasticidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Corte de invierno (Tabla 1)

El contenido inicial de Zn disponible en el suelo, 0,38 mg Zn kg⁻¹, fue inferior al nivel mínimo para producir cultivos con una adecuada concentración de Zn (Sims y Johnson,

1991), considerándose por tanto adecuado implantar un programa de biofortificación. Una vez cosechado el cultivo, se observó un aumento significativo en aquellas parcelas en las que se aplicaron los tratamientos al suelo, pasando de 0,42 mg Zn-DTPA kg⁻¹ en la parcela control a 1,4 mg Zn-DTPA kg⁻¹ en ambos tratamientos, con o sin aplicación foliar. Queda aún por determinar la persistencia de esta aplicación, no existiendo uniformidad entre autores: desde 4 a 6 años (Cakmak et al. 2010) a 13 años (Brennan, 2001). Posteriores campañas clarificarán la duración del efecto de esta aplicación inicial en nuestras condiciones edafoclimáticas.

TABLA 1. Efecto (media ± error estándar) de la aplicación de Zn sobre el Zn-DTPA en el suelo, el contenido en proteína (%) y la concentración de Zn en el forraje invernal de triticale.

TABLE 1. Effect of Zinc application (mean ± standard error) on soil Zn-DTPA, protein content (%) and Zn concentration in triticale winter forage.

Aplicación de Zinc	Zn-DTPA suelo (mg kg ⁻¹)	Proteína (%)	Zn (mg kg ⁻¹)
Control	0,42 ± 0,08 b	30,3 ± 0,6 bc	30,8 ± 1,3 b
Foliar	0,46 ± 0,09 b	31,8 ± 1,0 a	161,1 ± 7,9 a
Suelo	1,40 ± 0,08 a	29,9 ± 0,7 bc	35,6 ± 0,4 b
Suelo+Foliar	1,41 ± 0,09 a	31,3 ± 0,3 ab	166,9 ± 17,3 a

*Letras diferentes en cada tratamiento indican la existencia de diferencias significativas a P < 0,05 de acuerdo con la MDS.

La aplicación de Zn influyó significativamente sobre su acumulación en el forraje (P<0,001) y sobre el contenido proteico de éste (P<0,05). El rendimiento productivo no varió con los tratamientos de Zn (media de 1 120 kg ha⁻¹), siendo algo inferior a los valores encontrados por Cruz et al. (2011) y Llera y Cruz (2012), en torno a los 1 500-2 000 kg ha⁻¹, pudiendo ser debido al régimen de lluvias del año de estudio, con un otoño-invierno más seco de lo normal. La aplicación foliar de Zn influyó positivamente sobre el contenido en proteína que pasó de 30,3% en el tratamiento control a más de 31,2% y 31,8% en los tratamientos Suelo+Foliar y Foliar, respectivamente. En cuanto a la concentración de Zn en el forraje, el incremento respecto al tratamiento control fue de 5,2 veces en el tratamiento Foliar y de 5,4 veces en el combinado Suelo+Foliar. Estos incrementos fueron muy superiores a los encontrados en grano por Gómez-Coronado et al. (2016) en trigo harinero y por Poblaciones y Rengel (2017) en guisante, no habiéndose encontrado referencias en forrajes para nuestras condiciones agroecológicas. Estos resultados parecen poner de manifiesto la gran capacidad de acumulación de Zn de esta especie forrajera en su fase de crecimiento vegetativo, ya que tanto las concentraciones encontradas en el tratamiento control como los incrementos encontrados con los tratamientos foliares son muy elevados.

Corte de primavera (Tabla 2)

El rendimiento productivo final (P<0,05) y la concentración de Zn en el forraje de primavera (P<0,001) se vieron influidas por los tratamientos con Zn y por la realización o no de

corte invernal ($P < 0,01$ y $P < 0,05$, respectivamente), mientras que el contenido proteico sólo varió con los tratamientos con Zn ($P < 0,001$).

El rendimiento de biomasa total se vio reducido en $2\,400\text{ kg ha}^{-1}$ al aprovecharlo invernalmente. Este descenso responde a la interrupción del desarrollo vegetativo con el corte al final del ahijado, debiendo el cultivo producir un nuevo rebrote. A pesar de esta reducción en el rendimiento, los resultados obtenidos son muy superiores a los de la media de la zona, como los obtenidos por Rodrigo (2011), comprendidos entre $6\,600\text{ kg ha}^{-1}$ y $11\,788\text{ kg ha}^{-1}$ de forraje de primavera en ensayos de variedades de triticale con dos aprovechamientos, o los $11\,600\text{ kg ha}^{-1}$ alcanzados por Llera, et al. (2012) en ensayos de triticale de doble aptitud en un año lluvioso. Nuestros mejores resultados son posiblemente debidos a la abundante precipitación primaveral, por encima de la media en 180 mm , y la mayor potencialidad de los triticales cuanto mayor es la pluviometría en el periodo de crecimiento y desarrollo (Peltonen-Sainio y Järvinen, 1995; Rodrigo, 2011). Sin embargo, la pérdida de parte del rendimiento primaveral con el corte invernal, estimada en este estudio en un 15% , es muy interesante en la dehesa ya que proporciona alimento al ganado en una época de falta de pasto.

TABLA 2. Efecto (media \pm error estándar) del corte invernal y de la aplicación de Zn sobre del rendimiento de biomasa, contenido de proteína y de Zn del forraje de primavera de triticale.

TABLE 2. Effect (mean \pm standard error) of winter cutting and Zn application on biomass yield, protein and Zn content of triticale spring forage.

Tratamiento	Rendimiento (kg MS ha ⁻¹)	Proteína (%)	Zn (mg kg ⁻¹)
Corte invernal			
Sin corte	16 188 \pm 634 a	7,7 \pm 0,4 a	17,4 \pm 1,6 a
Con corte	13 815 \pm 544 b	7,3 \pm 0,5 a	15,2 \pm 1,5 b
Aplicación de Zn			
Control	14 095 \pm 571 bc	7,6 \pm 0,2 b	10,8 \pm 0,5 d
Foliar	13 467 \pm 1 016 c	8,7 \pm 0,4 a	22,4 \pm 1,0 a
Suelo	16 088 \pm 601 ab	6,8 \pm 0,2 c	14,7 \pm 1,5 c
Suelo+Foliar	16 357 \pm 1211 a	6,7 \pm 0,3 c	17,3 \pm 1,7 b

*Letras diferentes en cada tratamiento indican la existencia de diferencias significativas a $P < 0,05$ de acuerdo con la MDS.

El contenido en proteína del forraje se vio positivamente influido por la aplicación foliar de Zn, aunque la aplicación conjunta Suelo+Foliar no tuvo efecto positivo en la acumulación de la misma. Resultados parecidos se han obtenido por Poblaciones y Rengel (2017) en grano de guisante.



Triticale poco después del corte invernal. Izquierda/Derecha: Con/Sin corte invernal

Con la colaboración de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN



Fundación Biodiversidad

La concentración de Zn en el forraje de triticale en el tratamiento control, con $10,8 \text{ mg Zn kg}^{-1}$, fue tres veces inferior al obtenido en el aprovechamiento invernal, lo que se puede deber al efecto de dilución por los altos rendimientos obtenidos. Esta concentración no llega al mínimo establecido por Mortimer et al. (1999) como adecuada para la alimentación de las especies ganaderas (30 mg Zn kg^{-1}), por lo que podemos concluir que el ganado que se alimente con este triticale en invierno cubre sus necesidades, pero en primavera necesitaría alguna suplementación extra de Zn. La realización de un aprovechamiento invernal disminuye significativamente la acumulación de Zn, de $17,4$ a $15,2 \text{ mg Zn kg}^{-1}$, ambas cantidades claramente insuficientes. Respecto a los tratamientos con Zn, todos aumentaron significativamente la acumulación de Zn en el forraje, siendo la aplicación foliar la más efectiva de todas, seguida de la combinación Suelo+Foliar. Aunque tratamientos que aumenten en 10 mg de Zn por kg de la parte comestible de la planta se consideren exitosos (Cakmak et al., 2010), el contenido alcanzado fue aún insuficiente. Es probable que la aplicación de los dos tratamientos foliares antes del aprovechamiento invernal sea demasiado prematura para obtener una buena absorción y acumulación en el forraje del Zn aplicado. Se estima que lo más adecuado para que la acumulación de Zn sea más efectiva sería aplicar una dosis foliar antes del primer aprovechamiento y otra mucho después, en el estado de encañado después del rebrote.

CONCLUSIONES

Mientras que en el corte invernal las concentraciones de Zn encontradas en el forraje sin biofortificar fueron adecuadas, la aplicación foliar incrementó en cinco veces dichas concentraciones. La aplicación de Zn al suelo aumentó de forma no significativa el rendimiento del forraje en primavera, viéndose reducido cuando hubo corte invernal. El tratamiento foliar aumentó sólo 1,5 veces la concentración de Zn en el forraje, no llegando a contenidos suficientes para las necesidades nutricionales del ganado. Se deben estudiar nuevas dosis y momentos de aplicación para aumentar la efectividad de la biofortificación en este cultivo.

AGRADECIMIENTOS

La asistencia de Angélica Rivera a la LVIII Reunión Científica de la Sociedad Española de Pastos (SEP) fue financiada gracias a las ayudas a los Grupos de Investigación (Decreto 14/2018 de 6 de febrero) financiadas por el Gobierno de Extremadura (Consejería de Ciencia, Tecnología e Innovación) y por los fondos FEDER.

BIBLIOGRAFÍA

ALLOWAY B.J. (2008) *Zinc in soils and crop nutrition*. International Zn Association. Bruselas y Paris.

BRENNAN R.F. (2001) The effect of zinc fertilizer on take-all and the grain yield of wheat grown on zinc-deficient soils of the Esperance region, Western Australia. *Fertilization Research*, 31, 215–219.

BROWN K.M., RIVERA J.A., BHUTTA Z.A., GIBSON R.S., KING J.C., LÖNNERDAL B., LONNERDAL B., RUEL M.T., SANDTROM B., WASANTWISUT E. Y HOTZ C. (2004) International zinc nutrition consultative group (IZINCG) technical document 1. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food Nutrition Bulletin*, 25, 99–203.

CAKMAK I., MARSCHNER H. Y BANGERTH F. (1989) Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and level of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Experimental Botany*, 40(3), 405–412.

CAKMAK I. (2008) Enrichment of cereal grains with Zinc: agronomic or genetic biofortification?. *Plant and Soil*, 302, 1–17.

CAKMAK I., KALAYCI M., KAYA Y., TORUN A.A., AYDIN N., WANG Y., ET AL. (2010) Biofortification and Localization of Zinc in Wheat Grain. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 58, 9092–9102.

CRUZ V., RIVERA-MARTÍN A.M. Y LLERA F. (2011) El triticale de doble aptitud: Un nuevo cultivo forrajero para la ganadería extensiva. *Tierras*, 180, 62-67.

GOMEZ-CORONADO F., POBLACIONES M.J., ALMEIDA A. Y CAKMAK I. (2016) Zinc (Zn) concentration of bread wheat grown under Mediterranean conditions as affected by genotype and soil/foliar Zn application. *Plant and Soil*, 401, 331-346.

GOMEZ-CORONADO F., ALMEIDA A.S., SANTAMARIA O., CAKMAK I. Y POBLACIONES M.J. (2018) Potential of advanced breeding lines of bread-making wheat to accumulate grain minerals (Ca, Fe, Mg and Zn) and low phytates under Mediterranean conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1-12.

LEVENSON C.W. Y MORRIS D. (2011) Zinc and neurogenesis: making new neurons from development to adulthood. *Advances in Nutrition*, 2, 96–100.

LLERA F. Y CRUZ V. (2012) El triticale: una interesante alternativa forrajera. *Agricultura*, 955, 656-699.

LLERA F., DE SANTIAGO A., RIVERA-MARTÍN A., GALLEGO R.A., Y CRUZ V. (2012) Curvas de dilución de la proteína en un triticale de doble aptitud: influencia de

- la densidad de siembra, la dosis de nitrógeno y el número de cortes. En: Canals, R.M. *et al.* (Eds) *Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción*, pp. 417-423. Pamplona, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- MORTIMER R.G., DARGATZ D.A., Y CORAH L.R. (1999) Forage Analyses from Cow-Calf Herds in 23 States. US-DAAPHIS:VS, Centers for Epidemiology and Animal Health. Fort Collins, CO. N303.499.
- MUFARREGE D.J. Y AGUILAR D.E. (2001) Suplementación con Zinc de los bovinos para carne en la provincia de Corrientes (Argentina). E.E.A. INTA Mercedes, Corrientes, Noticias y Comentarios, 348.
- PELTONEN-SAINIO P. Y JARVINEN P. (1995) Seeding rate effects on tillering, grain yield, and yield components of oat at high latitude. *Field Crops Research*, 40, 49-56.
- POBLACIONES M.J. Y RENGEL Z. (2017) Soil and foliar zinc biofortification in field pea (*Pisum sativum* L.): Grain accumulation and bioavailability in raw and cooked grains. *Food Chemistry*, 212, 427 - 433.
- RODRIGO S. (2011) *Dinámica productiva de forrajes de diferentes cultivares de triticales y avenas cómo suplemento de los pastos de dehesa y pastizales del S.O. de la península ibérica*. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura. Escuela de Ingenierías Agrarias. Badajoz.
- ROSA D.E., FAZZIO L.E., PICCO S.J., FURNUS C.C. Y MATIOLI G.A. (2008) Metabolismo y deficiencia de zinc en bovinos. Laboratorio de nutrición mineral y fisiología reproductiva. Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
- SIMS J.T. Y JOHNSON G.V. (1991) Micronutrient soil tests. En: Mortvedt J.J., Cox F.R., Shuman L.M. and Welch R.M. (Eds) *Micronutrients in Agriculture: Second Edition*. Soil Science Society of America Book Series, 12, pp. 427-476. Wisconsin, USA: Inc. Madison.
- USDA-NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (1999), *Soil Taxonomy* 2ª ed. Washington, DC, EEUU.
- ZADOKS J.C., CHANG T.T. Y KONZAK C.F. (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421.
- ZHAO F.J., Y MCGRATH S.P. (1994) Extractable sulphate and organic sulphur in soils and their availability to plants. *Plant and Soil*, 164, 243-250.
- ZOU C.Q., ZHANG Y.Q., RASHID A., RAM H., SAVASLI E., ARISOY R.Z., ET AL. (2012) Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries. *Plant and Soil*, 361, 119-130.