

FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y POTÁSICA EN PRADERA MIXTA: II. EFECTO SOBRE EL NIVEL DE MICROELEMENTOS

M.R. MOSQUERA-LOSADA¹ Y A. GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ²

¹Departamento de Producción Vegetal. Escuela Politécnica Superior. Campus de Lugo. 27002-Lugo (España).

²Departamento de Producción Animal. Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. Apartado 10. 15080. A Coruña.

(España). e-mail: romos@lugo.usc.es, anriro@lugo.usc.es

RESUMEN

El objetivo de esta experiencia fue evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada y potásica sobre los contenidos en los microelementos cobre, hierro, zinc y manganeso que hay en el pasto en suelos ricos en hierro derivados de anfibolitas. Se estableció un experimento con un diseño de parcelas divididas y cuatro réplicas durante cuatro años. Los tratamientos consistieron en la aplicación de tres dosis de nitrógeno (0, 30+30 kg N ha⁻¹ y 60+60 kg N ha⁻¹) en las parcelas principales y tres dosis de potasio (0, 50+50 kg K₂O ha⁻¹ y 100+100 kg K₂O ha⁻¹) en las subparcelas. Los fertilizantes inorgánicos fueron aplicados a principios de año y después del segundo corte. Los niveles de cobre, hierro, zinc y manganeso variaron entre los distintos cortes o aprovechamientos de la pradera y la fertilización nitrogenada y potásica pareció afectar más a los niveles de hierro y cobre, pero no se encontró una tendencia clara. Se detectaron unos contenidos en hierro altos en general y muy altos en otoño. Los niveles altos de hierro no indujeron a deficiencias en el pasto de los micronutrientes estudiados, sin embargo, los niveles de cobre y zinc se encontraron en cantidad insuficiente para cubrir las necesidades de las vacas de leche, vacuno de engorde y corderos.

Palabras clave: Cobre, hierro, zinc, manganeso, pastos

INTRODUCCIÓN

La importancia de los microelementos más abundantes en el pasto, como son el cobre, hierro, zinc y manganeso, estriba en que son elementos que a pesar de ser necesarios en la alimentación animal en muy pequeñas cantidades, su déficit puede originar serios problemas metabólicos que afectan a la salud, fertilidad y capacidad productiva de los rumiantes.

Tanto los bajos contenidos de microelementos del pasto como los desequilibrios que puedan aparecer en las relaciones que se establezcan entre ellos y con los macroelementos, originan con mayor frecuencia problemas en los animales que en las plantas, sobre todo en sistemas con altas dosis de fertilización (Hopkins *et al.*, 1994).

El contenido de estos micronutrientes en el pasto depende en general de la composición botánica del mismo, ya que es conocido que los niveles de cobre, hierro, zinc y manganeso son superiores en la mayoría de las dicotiledóneas que en el trébol, y éste a su vez suele tener mayores contenidos de zinc y hierro que el raigrás (Babnik *et al.*, 1996). Esto adquiere una gran importancia cuando la extensificación de los sistemas y la reducción del aporte de fertilizantes en las praderas de las explotaciones hacen que el raigrás reduzca su capacidad competitiva con respecto a otras especies que incrementarán su porcentaje en el pasto.

En Galicia se han desarrollado estudios del efecto del encalado sobre los contenidos de cobre en el pasto desarrollado sobre suelos naturales (García *et al.*, 1986) no encontrándose respuesta alguna. Sin embargo, el estudio desarrollado por García *et al.* (1986) puso de manifiesto que los niveles de cobre, en terrenos de monte y durante la primavera, pueden alcanzar valores por debajo del óptimo para el desarrollo de los rumiantes, o bien originar toxicidad durante el período de otoño por superar los límites recomendados. El efecto de la fertilización con altas dosis de nitrógeno sobre el contenido de Cu, Zn y Mn del pasto también fue evaluado por Hopkins *et al.* (1994), observando que tal práctica eleva los niveles de Zn, reduce los niveles de manganeso y no afecta a los de cobre. Sin embargo, poco se sabe sobre el efecto de dosis bajas y medias de nitrógeno, así como del potasio, sobre el contenido de los distintos microelementos del pasto.

Por otra parte, Hopkins *et al.* (1994) encontraron que los niveles de los microelementos Zn y Mn en el pasto varían en las distintas épocas del año, siendo estable el de cobre. Zinc y Mn presentan unos niveles más altos a finales de la estación de crecimiento que al principio de la misma. El presente estudio tuvo por finalidad evaluar los contenidos de cobre, hierro, zinc y manganeso, así como las relaciones entre estos elementos y los macroelementos, y en los distintos cortes de pastos fertilizados con diferentes dosis de nitrógeno y potasio durante los cuatro años de duración del ensayo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la localidad de Sergude (A Coruña) desde 1989 hasta 1992 y la descripción detallada del mismo figura en un trabajo anterior (Mosquera y González, 1997). El suelo sobre el que se desarrolló el ensayo procede de anfíbolitas, que, en general, presentó unos niveles altos de hierro y bajos de potasio.

La pradera se estableció en otoño de 1988 con raigrás inglés y trébol blanco. Se distribuyeron nueve tratamientos consistentes en tres dosis de nitrógeno (en forma de nitrato amónico cálcico, 0, 30+30 kg N ha⁻¹ y 60+60 kg N ha⁻¹) y tres dosis de potasio (0, 50+50 kg K₂O ha⁻¹, 100+100 kg K₂O ha⁻¹) en un diseño experimental de parcelas divididas con cuatro réplicas, siendo las parcelas principales asignadas a cada una de las dosis de nitrógeno y las subparcelas a las dosis de potasio. Las diferentes dosis de fertilización se aportaron en las parcelas a principios de año (de finales de febrero a principios de marzo) y después del segundo corte. Coincidiendo con la primera aplicación de N y K en los tratamientos se aportaron 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ en forma de superfosfato. Se realizaron cinco cortes anuales en los meses de abril, mayo, junio, julio y diciembre. En estos cortes se tomaban muestras de hierba de unos doscientos gramos de cada parcela; cien gramos se utilizaban para determinar la composición botánica, que se realizó de forma manual, y los otros cien gramos para determinar el peso seco (18 h a 80°C) y el contenido en micronutrientes: cobre, hierro, zinc y manganeso. Los micronutrientes se determinaron después de una digestión con ácido nítrico utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (MAPA, 1971).

Los resultados fueron analizados a través de la realización de regresiones entre las distintas variables y ANOVAs, empleándose la prueba estadística LSD para separar medias (SAS, 1985).

RESULTADOS

Los resultados del análisis de varianza realizado para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el contenido de cobre, hierro, zinc y manganeso se muestran en la Tabla 1. A partir de estos análisis se puede ver que existió una interacción altamente significativa año x corte x tratamiento para el hierro y año x corte y tratamiento x corte para el cobre. Los niveles de zinc fueron mayores en los dos últimos cortes del año que en los tres primeros, en los cuatro años de estudio. No se encontró ningún efecto significativo de los tratamientos sobre el Zn ni sobre el Mn pero sí hubo un efecto significativo del corte y del año por separado, tanto en el Mn como en el Zn y una interacción significativa entre estos dos factores para la variable Zn.

En general, el contenido en cobre se incrementó a medida que avanzó el período de crecimiento duplicando su valor desde el segundo corte hasta el último corte en otoño durante los cuatro años de estudio (Tabla 2). El contenido en cobre del pasto se vio afectado negativamente por la dosis alta de fertilización nitrogenada y potásica en la segunda cosecha, aunque no se encontró efecto alguno en el resto de los cortes, con

excepción del cuarto, en el que el nivel de cobre resultó significativamente mayor en el tratamiento en el que se aplicó la dosis alta de nitrógeno junto a la dosis baja de potasio (Tabla 3).

La concentración de hierro del pasto se elevó notablemente en otoño, pasando de una media de 283 mg kg⁻¹ durante la primavera a unos valores medios de 2522 mg kg⁻¹ en

TABLA 1

Análisis de Varianza para estudiar el efecto del año(A), corte (C), y tratamiento (T) sobre las concentraciones de cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn) en el pasto.

Anova results to study the effect of the year (A), harvest (C) and treatment (T) over the concentrations of copper (Cu), iron (Fe), zinc (Zn) and manganese (Mn) in pasture.

Variable	Factor						
	A	T	C	A x T	A x C	T x C	A x C x T
Cu	***	*	ns	ns	***	*	ns
Fe	*	*	***	ns	***	***	***
Zn	***	ns	***	ns	***	ns	ns
Mn	***	ns	***	ns	ns	ns	ns

Nivel de significación: *:p<0,05; **:p<0,01; ***:p<0,001.

TABLA 2

Concentraciones medias (mg kg⁻¹) de cobre (Cu) y zinc (Zn) en el pasto según el año de estudio y el corte. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre cortes del mismo año.

Mean concentrations (mg kg⁻¹) of copper (Cu), and zinc (Zn). Values followed by the same letter are not significantly different for the different cuts for the same year.

año	corte				
	1	2	3	4	5
Cu					
1	7,2 c	7,2 c	6,4 d	8,2 b	14,7 a
2	5,8 c	6,2 c	6,3 c	8,1 b	9,9 a
3	9,0 b	6,7 c	9,3 b	10,3 b	12,9 a
4	6,3 c	6,5 c	7,7 b	-----	12,8 a
Zn					
1	22,9 c	27,4 c	25,9 c	60,4 a	41,9 b
2	27,2 b	26,8 b	27,4 b	28,3 a	29,9 a
3	24,0 c	25,2 c	33,3 b	34,5 b	41,3 a
4	23,9 c	24,5 bc	25,8 b	-----	30,9 a

TABLA 3

Concentraciones medias (mg kg^{-1}) de cobre (Cu) en cada tratamiento y corte. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre tratamientos en el mismo corte. N1: 0N; N2: 30N; N3: 60N; K1: 0K₂O; K2: 100K₂O; K3: 200K₂O

Mean concentrations (mg kg^{-1}) of Copper (Cu), in each treatment and harvest. Values followed by the same letter are not significantly different for the different treatments for the same harvest.

N1: 0N; N2: 30 N; N3: 60 N; K1: 0K₂O; K2: 100K₂O; K3: 200K₂O

Corte	Tratamiento								
	N1K1	N1K2	N1K3	N2K1	N2K2	N2K3	N3K1	N3K2	N3K3
1	6,40	6,54	6,72	7,14	7,95	7,75	7,82	6,96	6,72
2	7,27 a	6,87 a	7,30 a	7,18 a	7,07 a	6,97 a	6,33 a	6,44a	5,28 b
3	7,51	7,13	7,15	7,17	7,45	7,24	7,79	7,36	7,58
4	8,20 ab	8,31 ab	8,50 ab	8,67 ab	8,57 ab	9,41 ab	10,40 a	8,64ab	7,63 b
5	11,47	13,38	12,65	11,73	13,61	12,37	11,08	10,97	10,97

otoño (Tabla 4). La dosis alta de fertilización nitrogenada afectó negativamente al contenido en hierro de la hierba en el segundo y cuarto corte del primer año. Por otra parte, en el corte de otoño del primer año, el tratamiento de la dosis media de nitrógeno y potasio presentó el más alto contenido de hierro, al igual que sucedía en el primer corte del segundo año, en el que además no se detectaron diferencias significativas entre la dosis media y alta de potasio para la dosis media de nitrógeno. En el corte de otoño del cuarto año la ausencia de fertilización nitrogenada y potásica redujo considerablemente el nivel de hierro en el pasto.

Los niveles de manganeso fueron notoriamente más elevados en los tres últimos años en relación al primero (Tabla 5), encontrándose también la tendencia del aumento del contenido de este elemento desde el segundo año al cuarto. Se observó además una fuerte variación de los niveles de este elemento en el pasto en los diferentes cortes, resultando significativamente mayor en otoño en comparación con los de primavera y en los dos primeros cortes de primavera en relación a los dos últimos.

Relación con los macroelementos y proteína

La relación entre los contenidos en cobre del pasto y los de proteína y potasio en el total anual fue positiva, altamente significativa y se puede ver en la Figura 1a ($r^2=0,69$). Por cortes, esta relación también fue positiva y significativa en el segundo ($r^2=0,72$) y quinto corte del año ($r^2=0,77$).

TABLA 4

Concentraciones medias (mg kg^{-1}) de hierro (Fe) en cada tratamiento, corte y año. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre tratamientos en el mismo corte y año. N1: 0N; N2: 30N; N3: 60N; K1: 0K₂O; K2: 100K₂O; K3: 200K₂O

Mean concentrations (mg kg^{-1}) of iron (Fe), in each treatment, harvest and year. Values followed by the same letter are not significantly different for the different treatments in the same cut and year. N1: 0N; N2: 30N; N3: 60N; K1: 0K₂O; K2: 100K₂O; K3: 200K₂O

AÑO 1									
Corte	Tratamiento								
	N1K1	N1K2	N1K3	N2K1	N2K2	N2K3	N3K1	N3K2	N3K3
1	437	519	358	489	833	879			
2	208 abc	262 bc	361 a	302 a	248 abc	266 ab	73 c	113 bc	90 bc
3	66	92	154	94	171	93	244	85	136
4	232 ab	193 bc	277 a	229 ab	152 bc	159 bc	133 c	197 abc	156 bc
5	2921 b	3315 b	1667 b	2349 b	8736 a	1999 b	2552 b	2499 b	1912 b
AÑO 2									
Corte	Tratamiento								
	N1K1	N1K2	N1K3	N2K1	N2K2	N2K3	N3K1	N3K2	N3K3
1	207 b	194 b	163 b	326 b	1139 a	1260 a			
2	189	187	700	617	914	679	154	597	125
3	115	202	286	219	228	290	197	170	171
4	223	142	187	115	144	432	123	231	163
5	1877	1329	1412	1229	1547	1010	1040	1069	1002
AÑO 3									
Corte	Tratamiento								
	N1K1	N1K2	N1K3	N2K1	N2K2	N2K3	N3K1	N3K2	N3K3
1	118	106	128	115	130	162	154	132	158
2	288	217	363	421	261	298	290	253	217
3	464	366	247	203	245	389	545	324	262
4	1325	365	660	281	381	560	872	366	426
5	1912	7423	5584	2314	4677	3835	3160	3354	2934
AÑO 4									
Corte	Tratamiento								
	N1K1	N1K2	N1K3	N2K1	N2K2	N2K3	N3K1	N3K2	N3K3
1	131 ab	285 ab	121 ab	155 ab	670 a	176 ab	150 ab	191 ab	107 b
2	396	462	465	312	448	424	407	245	273
3	220	166	220	107	151	187	134	125	136
5	1340 b	2713 ab	2222 b	5480 a	3344 ab	3117 ab	3281 ab	3089 ab	2718 ab

TABLA 5

Concentraciones medias (mg kg⁻¹) de manganeso (Mn) en cada año y corte. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre cortes y año.

Mean concentrations (mg kg⁻¹) of manganese (Mn), in each year and harvest. Values followed by the same letter are not significantly different for the different cuts and year

	año				
Mn	1 69,01b	2 86,94 b	3 92,56ab	4 100,40 a	
	corte				
Mn	1 85,07 b	2 86,66 b	3 64,82 c	4 58,88 c	5 124,61 a

Se ha encontrado también una relación similar entre el porcentaje de proteína y potasio en el pasto y el contenido de hierro durante el período de primavera (incluye todos los cortes exceptuando el último, que es el de otoño) ($r^2=0,85$) como se aprecia en la Figura 1b, pero esta relación no fue significativa para el período de otoño ni cuando esta época se incluía para realizar la regresión. Esto podría explicarse por la fuerte estacionalidad de este elemento, obteniéndose valores más altos de hierro independientemente de los niveles de proteína y fósforo en otoño.

También se encontró una relación altamente significativa para la primavera entre el contenido en zinc, potasio y proteína del pasto ($r^2=0,77$) (Figura 1c) y el de manganeso con el de potasio y proteína ($r^2=0,91$) (Figura 1d).

Por otra parte, también se han detectado en el cuarto corte, esto es en el corte previo a la sequía estival una relación significativa y positiva entre los niveles de hierro con el contenido en potasio ($r^2=0,65$) (Figura 2b) y negativa (Figura 2c) con el porcentaje de magnesio ($r^2=0,67$) del pasto. En cuanto a los niveles de hierro parece que se estabilizan alrededor de 600 mg kg⁻¹ cuando se alcanzan valores de potasio en torno al 15 g kg⁻¹.

También existe una relación significativa en el cuarto ($r^2=0,58$) y quinto ($r^2=0,77$) corte entre los niveles de fósforo y zinc (Figura 2a).

Relaciones entre microelementos

La Figura 3 muestra las relaciones encontradas entre las concentraciones de los microelementos estudiados. Existió una relación entre los contenidos en cobre y zinc que fue significativa y positiva en el primer ($r^2=0,54$), tercer ($r^2=0,52$) y quinto corte ($r^2=0,50$) (Figura 3a).

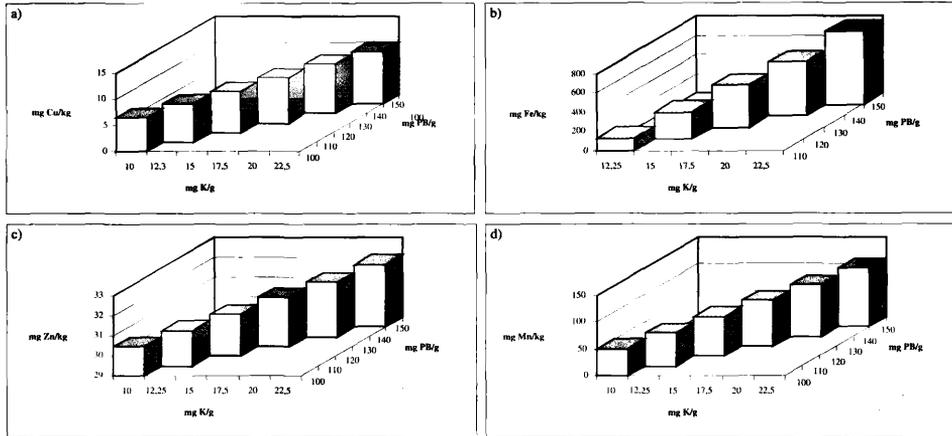


FIGURA 1

Relación entre el Cu y los contenidos de proteína bruta y potasio (a) en planta para el período de estudio y entre el Fe (b), Zn (c) y Mn (d), y los contenidos de proteína y potasio en el período de primavera.

Relationship between Cu and the concentrations of crude protein and potassium (a) in plant for whole period and between Fe (b), Zn (c) and Mn (d) and the crude protein content and potassium in the spring period

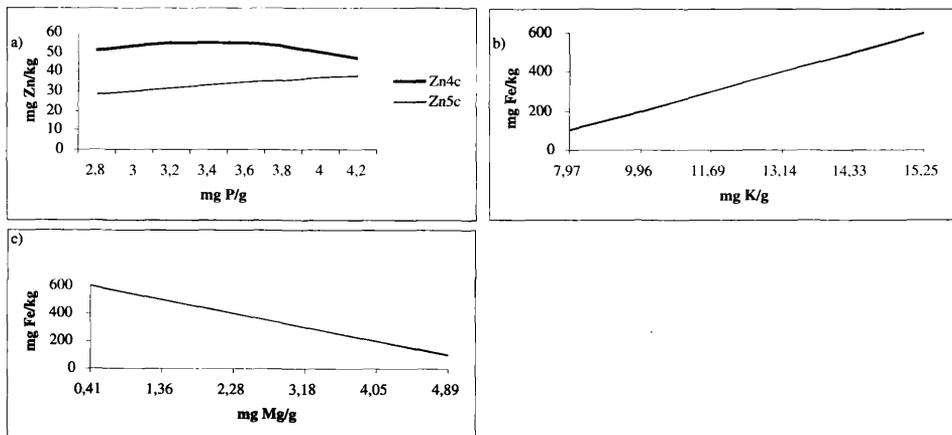


FIGURA 2

Relación entre los contenidos de Zn y P en el cuarto y quinto corte (a), y Fe y K (b), Fe y Mg (c) en el cuarto corte.

Relationship between the contents of Zn and P (a) in the fourth and fifth harvest, and Fe and K (b), Fe and Mg (c) in the fourth harvest.

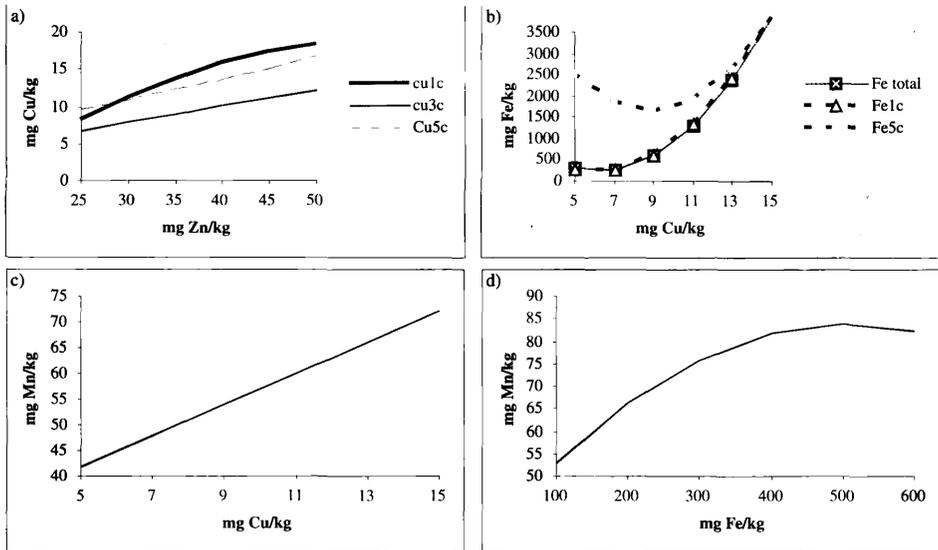


FIGURA 3

Relación entre los niveles de cobre y zinc (a) en el primer, tercer y quinto corte, de cobre y hierro (b) en el primer y quinto corte, de cobre y manganeso (c) en el tercer corte y de hierro y manganeso (d) en el tercer corte.

Relationship between the concentrations of Cu and Zn (a) in the first, third and fifth harvest, between Cu and Fe (b) in the first and fifth harvest, between Cu and Mn © in the third cut and between Fe and Mn (d) in the third cut.

Para el período completo, que incluye los cortes de primavera y de otoño, se encontró una relación altamente significativa entre el contenido en cobre y el contenido en hierro ($r^2=0,80$), relación que también fue positiva y significativa en el primer ($r^2=0,50$) y quinto ($r^2=0,70$) corte (Figura 3b).

Se observó, además, una relación significativa entre el contenido en cobre y el contenido en manganeso en el tercer corte ($r^2=0,71$) (Figura 3c).

Por último, la concentración de hierro presentó una relación significativa y positiva hasta niveles de 80 mg Fe kg⁻¹ con la del manganeso ($r^2=0,53$) en el tercer corte (Figura 3d).

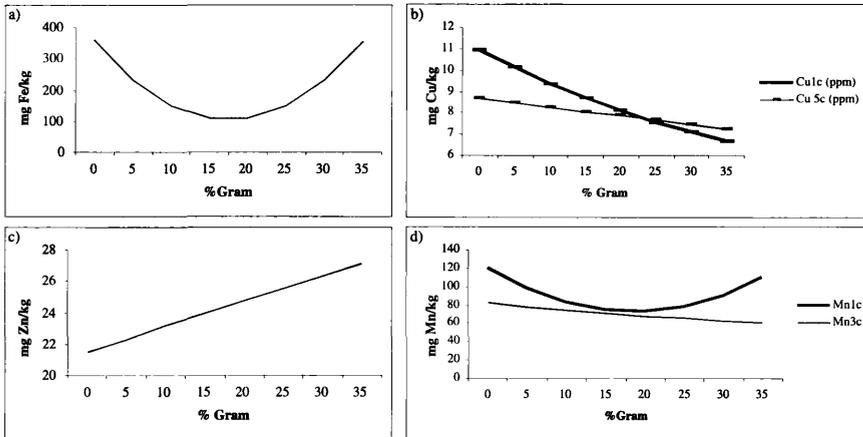
En cuanto a las relaciones de los microelementos con el porcentaje de raigrás inglés (gramínea sembrada) presente en el pasto fueron significativas para el cobre ($r^2=0,52$), manganeso ($r^2=0,70$), hierro ($r^2=0,78$) y zinc ($r^2=0,70$). Encontramos que esta relación fue positiva con el contenido en zinc en el primer corte y negativa con el cobre en el

primer y quinto corte. Sin embargo, los niveles de hierro y manganeso en el primer corte se redujeron hasta que el porcentaje de gramínea sembrada en el pasto fue del 20% y a partir de ahí se elevaron.

FIGURA 4

Relación entre los porcentajes de raigrás (GRAM) y los contenidos de Fe (a) en el primer corte, de Cu (b) en el primer y quinto corte de Zn (c) en el primer corte y de Mn (d) en el primer y tercer corte.

Relationship between the percentages of ryegrass (GRAM) and the Fe content (a) in the first harvest, the Cu (b) in the first and fifth harvest, the Zn (c) in the first harvest and the manganese (d) in the first and third harvest.



DISCUSIÓN

La distribución estacional del contenido en cobre del pasto encontrada en el presente trabajo no concuerda con los resultados obtenidos por Hopkins *et al.* (1994), quienes no detectaron variaciones a lo largo del tiempo para la concentración de este microelemento. Sin embargo, sí coincide con los observados por García *et al.* (1986), quienes encontraron que los últimos cortes presentan una mayor concentración en cobre que los primeros en tres de las cuatro localidades estudiadas en Galicia.

El cobre fue el microelemento presente en menor cantidad en el pasto en comparación con el hierro, zinc y manganeso, ya que es el más fuertemente adsorbido por el suelo (Loué, 1988). En nuestro estudio presentó un rango que osciló entre 5 y 13 mg kg⁻¹, lo que indica un nivel suficiente o normal para el crecimiento de las especies pratenses (Kabata-Pendías y Pendías, 1984). Estos valores son superiores a los

detectados por García *et al.* (1986) en praderas establecidas en terrenos "a monte" en Galicia.

En general, se detectó un efecto negativo de la fertilización potásica y la dosis alta de nitrógeno en el segundo y cuarto corte sobre el contenido en cobre del pasto. Según Whitehead (1995), los efectos de la fertilización nitrogenada sobre el contenido en cobre no están claros, ya que algunos investigadores han encontrado efectos positivos y otros el efecto contrario, justificándose estas diferencias más bien por el diferente manejo en pastoreo y siega del pasto. Otra causa a la que se podría atribuir las diferencias en el contenido de cobre es la diferencia en la composición botánica de la pradera, ya que la concentración de Cu es mayor en el trébol (8 a 10 mg kg⁻¹) y las malas hierbas (Hopkins *et al.*, 1994; Monterroso, 1994; Whitehead, 1995; Babnik *et al.*, 1996) que en las gramíneas pratenses (5 - 7 mg kg⁻¹) (Kabata-Pendías y Pendías, 1984). Esto avala lo encontrado en nuestro estudio, ya que existió una relación negativa y significativa entre el porcentaje de raigrás y el contenido de cobre en el pasto, en el primer y quinto corte (cuando los niveles de trébol fueron menores) (Mosquera y González, 1997).

El hierro es el microelemento más abundante en el suelo. Los niveles encontrados oscilan entre 91 y 8730 mg kg⁻¹, siendo suficientes (50-250 mg kg⁻¹) para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Kabata-Pendías y Pendías, 1984). Los niveles de hierro encontrados en otoño suelen ser muy superiores a los citados generalmente en la bibliografía (Loué, 1988; Kabata-Pendías y Pendías, 1984; Whitehead, 1995) y en ésta también se indica que las plantas pueden absorber elevadas cantidades de hierro si éste elemento se encuentra en forma altamente soluble, como sucede en suelos derivados de serpentinas, citándose concentraciones para las gramíneas entre 2127 y 3580 mg kg⁻¹. Algo similar podría haber ocurrido en el presente estudio, ya que los suelos son derivados de anfibolitas y, por lo tanto, ricos en hierro. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la toxicidad del hierro no es un factor preocupante para el desarrollo del pasto, hecho que sólo se ha detectado en zonas pantanosas y arrozales (Loué, 1988).

La fuerte variación estacional de Fe encontrada en este estudio ya había sido detectada por Monterroso (1994) en terrenos de escombreras, si bien la concentración máxima alcanzada en otoño en la hierba fue de 500 mg kg⁻¹. Los altos niveles de hierro en planta detectados en el período de otoño en nuestro ensayo se podrían explicar por la existencia de una época lluviosa, que por término medio (en los cuatro años de estudio) fue de 675 mm en el período de crecimiento otoñal (Septiembre-Diciembre), lo que, a su vez, podría originar hidromorfías puntuales y aumentar la proporción de la forma más asimilable de hierro (Fe²⁺), dado que se trataba de un suelo arcilloso. Si sumamos las precipitaciones habidas durante el período de crecimiento primaveral (Marzo-Junio), éstas rondaron los 375 mm por término medio y ello supone una menor facilidad de

encharcamiento en este período que en el de otoño por dos razones: primera, la mayor tasa de transpiración de las plantas debido a las temperaturas más altas en primavera y, segunda, las menores precipitaciones en esta época que en otoño (Mosquera y González, 1997). Además, en primavera se realizaron cuatro cortes con lo que la planta no fue tan eficiente absorbiendo hierro como si no se cosechase, ya que cada vez que se realiza un corte la capacidad de las plantas para absorber nutrientes del suelo se ve limitada hasta que el crecimiento llega a su fase exponencial.

La fertilización nitrogenada y potásica no afectó de forma clara al contenido en hierro del pasto, a excepción del primer corte del segundo año en el que la dosis media de nitrógeno incrementó significativamente la concentración de este elemento y en el segundo corte del primer año en el que el efecto del abonado nitrogenado fue negativo, sobre todo cuando no se aplicó potasio. A este respecto, y de acuerdo con Whitehead (1995), parece ser que el nivel de hierro en el pasto se relaciona más con la forma de fertilizante nitrogenado y su efecto sobre la acidez del suelo que con la acción del nitrógeno en sí (Whitehead, 1995), de tal modo que si éste tiende a aumentar el pH (caso del nitrato amónico cálcico), la disponibilidad del hierro se reduce.

El contenido en zinc del pasto presentó un patrón estacional en el que los niveles más altos coincidieron con los dos últimos cortes (julio y diciembre). Hopkins *et al.* (1994) también encontraron una proporción más alta de zinc en los últimos cortes que en la primavera.

En nuestro caso, los niveles de zinc oscilaron entre 20 y 60 mg kg⁻¹, lo que supone unas cantidades suficientes y normales para el desarrollo de las plantas, ya que los valores estuvieron siempre por encima de 20 mg kg⁻¹, cifra esta última que sería indicativa de deficiencia en los vegetales (Kabata-Pendías y Pendías, 1984).

Whitehead (1995) señaló que las aplicaciones de nitrógeno en dosis menores a 300 unidades anuales por hectárea tienen poco efecto sobre la concentración de Zn en el pasto, tal y como encontramos nosotros. Por otra parte, el abonado potásico tampoco produjo efecto sobre el contenido de zinc en la hierba.

El contenido en manganeso del pasto se redujo significativamente durante los últimos cortes de primavera-verano, mostrando los niveles más altos en el corte de otoño. Hopkins *et al.* (1994) detectaron que el nivel de este elemento en el cuarto corte fue mayor que en el primero. En nuestro caso esta diferencia se podría relacionar con un mayor porcentaje de malas hierbas en el pasto, y que representan en otoño cerca del 85% del total de especies.

Los niveles de manganeso presentaron unos valores comprendidos entre 60 y 100 mg kg⁻¹, que están muy por encima de los considerados como límite de deficiencia en planta

(15 y 25 mg kg⁻¹) y muy por debajo de los niveles tóxicos para la misma (500 mg kg⁻¹) (Kabata-Pendías y Pendías, 1984). Estos valores son bajos en relación con los encontrados por Hopkins *et al.* (1994) en los pastos analizados, pero más altos que los detectados por García *et al.* (1986) en praderas sembradas sobre suelos naturales, con valores aproximadas de 30 mg kg⁻¹ y similares a los referidos por Babnik *et al.* (1996).

No encontramos efecto alguno de la fertilización nitrogenada y potásica sobre el contenido de manganeso del pasto, aunque Hopkins *et al.* (1994) y Whitehead (1995) observaron una relación negativa. Este último autor explica esta relación negativa por el menor pH del suelo de las parcelas fertilizadas con nitrógeno que reduce la disponibilidad de este elemento. Cabe señalar que de todos los elementos estudiados, el manganeso es el más sensible a la variación del pH en suelos orgánicos (Foth y Ellis, 1988).

La relación entre los contenidos en proteína y potasio del pasto con los contenidos en cobre, hierro, zinc y manganeso resultó ser positiva en todo momento para el cobre y en primavera para los demás. Todos ellos son elementos ligados a la síntesis de proteínas y fijación nitrogenada, lo que podría explicar estas relaciones (Loué, 1988).

Al igual que se encontró con las relaciones entre macroelementos (Mosquera y González, 1997) la mayor dependencia de unos microelementos con respecto a otros se observó en el cuarto corte, momento en el que por lo general se empieza a notar el estrés provocado por la sequía de verano y se produce el desarrollo floral, lo que por sí mismo aumenta los niveles de cobre, hierro y zinc en este período y reduce los de manganeso (Hopkins *et al.*, 1994).

En cuanto a la relación entre el zinc y el fósforo suele ser negativa (Loué, 1988) cuando hay un exceso de fósforo, que no era nuestro caso (Mosquera y González, 2000) en el que la relación entre estos dos elementos por el contrario resultó ser positiva en el cuarto y quinto corte.

Las interacciones entre el hierro, por una parte, y el manganeso, cobre o zinc, por otra, citadas en la literatura se refieren fundamentalmente a cuando los niveles de hierro son bajos (Loué, 1988; Kabata-Pendías y Pendías, 1984). Sin embargo, pocas referencias se encuentran sobre relaciones entre los distintos elementos sobre suelos en los que el hierro está presente en grandes cantidades. Cabe señalar que, en nuestro caso, los niveles tan altos de hierro encontrados en planta no indujeron en ningún momento a deficiencias en cobre o zinc, aunque sí parecieron limitar en algún momento los niveles de manganeso.

Una de las causas de deficiencia de manganeso en las plantas es el alto contenido en hierro en el suelo, así se considera que la relación Fe/Mn debe encontrarse entre 1,5 y

2,5 para un adecuado desarrollo de las plantas (Kabata-Pendías y Pendías, 1984). Sin embargo, los resultados del presente estudio mostraron que los valores de este cociente estuvieron muy por encima de dichas cifras y, sin embargo, no se detectaron deficiencias en los niveles de manganeso en el pasto, aunque sí que su contenido estuvo limitado por niveles superiores a 500 mg kg^{-1} de hierro, pero sólo en el tercer corte. En este período la proporción de leguminosas fue elevada, lo que también pudo favorecer la reducción de los niveles de manganeso (Loué, 1988).

Finalmente, y por lo que se refiere a la relación entre la concentración encontrada para los distintos microelementos y las necesidades de los rumiantes, hemos de señalar que el contenido en cobre del pasto se situó siempre por debajo de las necesidades de este elemento de las vacas lecheras (12 mg kg^{-1}) y vacuno de engorde (12 mg kg^{-1}), excepto en el último corte en el que se superó esta cantidad. No obstante, siempre se sobrepasó los 6 mg kg^{-1} requeridas en el caso de los corderos. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que la posible deficiencia de este elemento depende más del contenido en molibdeno del pasto que de la propia cantidad de cobre presente.

En todos los cortes, el contenido en hierro del pasto estuvo muy por encima de los requerimientos nutricionales de los animales en pastoreo.

Las necesidades de Zn del vacuno de leche rondan los $25\text{-}31 \text{ mg kg}^{-1}$, de las vacas de carne de engorde los $22\text{-}35$ y de los corderos los $25\text{-}35$ (Hopkins *et al.*, 1994, Loué, 1988). En general, los niveles de zinc encontrados en el pasto cubrirían las necesidades de estos animales si bien a principios de año los niveles del pasto están en el rango inferior de los requerimientos.

No se detectan problemas de deficiencia de manganeso para los animales de leche, y de carne, y corderos los cuáles presentan unas necesidades de entre 20 y 40 mg kg^{-1} (Hopkins *et al.*, 1994) y 50 mg kg^{-1} (Loué, 1988), respectivamente.

CONCLUSIONES

Los niveles de cobre, hierro, zinc y manganeso variaron entre los distintos cortes o aprovechamientos que se realizaron de la pradera y la fertilización nitrogenada y potásica pareció afectar más a los niveles de estos elementos en los primeros cortes del año.

Los altos niveles de hierro en el pasto no indujeron a deficiencias de los otros microelementos analizados, sin embargo, se observó que las concentraciones de cobre no permitían cubrir las necesidades en estos microelementos de las vacas de leche, vacuno de engorde y corderos, y los de zinc se encontraban en el rango inferior de los requerimientos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Laboratorio Agrario la ayuda prestada en la realización de los análisis químicos y a los medios puestos para la realización de este estudio por el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo y al INIA por la concesión del proyecto titulado "Fertilización y Manejo de Praderas. Dinámica y fertilización de pastos" con número 8084.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BABNIK, D.; ZNIDARSIC-PONGRAC, V.; VERBIC, J.; VERBIC, J., 1996. The effect of fertilization on the concentration of mineral elements in grasses, forbs and legumes from the permanent karst grassland. *Grassland Science in Europe*, **1**, 373-376.
- FOTH, H.D.; ELLIS, B.G., 1988. Soil pH and its management. En: "Soil Fertility". pp 36-47. H.D. FOTH AND B.G. ELLIS. Editorial John Wiley and Sons New York (Estados Unidos).
- GARCÍA, P.; MOMPIELA, F.; MOSQUERA, A., 1986. Efectos del encalado sobre la composición química de praderas establecidas en terrenos a "monte". II. Magnesio, sodio, potasio, aluminio y cobre. *Investigación Agraria, Producción y Sanidad Animales*, **1(3)**, 147-158.
- HOPKINS, A.; ADAMSON, A.H.; BOWLING, P.J., 1994. Response of permanent and reseeded grassland to fertilizer nitrogen. 2. Effects on concentrations of Ca, Mg, K, Na, S, P, Mn, Zn, Cu, Co and Mo in herbage at a range of sites. *Grass and Forage Science*, **49**, 9-20.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H., 1984. *Trace elements in soil and plants*. Ediciones CRC Press Inc, 315pp. Boca Ratón, Florida. (Estados Unidos).
- LOUÉ, A., 1988. *Los microelementos en agricultura*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- MAPA, 1971. *Métodos oficiales de análisis*. Ediciones Dirección general de agricultura. Sección de publicaciones agrarias, 329 pp. Madrid (España).
- MONTEROSO, M.C., 1994. Caracterización de los procesos edafogeoquímicos en una escombrera de estériles de lignito en proceso de restauración ambiental. Ediciones Universidad de Santiago de Compostela Tesis Doctoral, 200 pp. Santiago de Compostela (España).
- MOSQUERA, M.R.; GONZÁLEZ, A., 1997. Uso de nitrógeno y potasio para incrementar la producción y persistencia de trébol blanco. *Pastos*, **27(2)**, 207-218.
- S.A.S., 1985. *User's guide: Statistics*. Ediciones SAS Insitute Inc., 648 pp. Cary NC (Estados Unidos).
- MOSQUERA, M.R.; GONZÁLEZ, A., 2000. Fertilización nitrogenada y potásica en pradera mixta: I. Efecto sobre la composición botánica, el contenido en proteína y el nivel de macroelementos. *Pastos*, **XXX (2)**, 241-260.
- WHITEHEAD, D.C., 1995. *Grassland Nitrogen*. Ediciones CAB International, 397 pp. Guildford (Gran Bretaña).

NITROGEN AND POTASSIUM FERTILISATION A GRAS-CLOVER SWARD I. EFFECT OVER MICROELEMENT LEVELS

SUMMARY

The objective of the experiment was to evaluate the effect of nitrogen and potassium fertilisation on copper, iron, zinc and manganese content of the pasture growing in soil enriched by iron derived from anfiboles. The design of the experiment was split-plot with four replicates. Three doses of nitrogen were applied in the main plots (0 30+30 kg N ha⁻¹, 60+60 kg N ha⁻¹) and three doses of potassium were applied in each sub-plot (0, 50+50 kg K₂O ha⁻¹, 100+100 kg K₂O ha⁻¹). Inorganic fertilisers were applied at the beginning of the year and after the second cut. There were high iron levels in the spring and very high levels in the autumn. The copper, iron, manganese and zinc content varied according with the time of the harvest. Iron and copper content were more affected by fertilisation than zinc and manganese but no clear tendency was found. Higher iron levels did not provoke other mineral deficiency, however the levels of zinc and copper were not enough for feeding lambs and dairy and beef cattle.

Keywords: Copper, iron, zinc, manganese, sward.