

## **EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN MINERAL, PROPIEDADES MECÁNICAS Y ESTRUCTURALES EN HUESOS DE CIERVAS IBÉRICAS (*CERVUS ELAPHUS HISPANICUS*)**

OLGUÍN, C. A.<sup>1,3</sup>; LANDETE-CASTILLEJOS, T.<sup>1,2,3</sup>; CEACERO, F.<sup>2,3</sup>; ESTÉVEZ, J. A.<sup>3,4</sup>; GASPAR-LÓPEZ, E.<sup>1,2,3</sup>; LÓPEZ-PARRA, J. E.<sup>1,2</sup>; GARCÍA, A.<sup>1,2,3</sup> y GALLEGO, L.<sup>1</sup>

1. Animal Science Techniques Applied to Wildlife Management Research Group, IREC Sec. Albacete, Campus UCLM. 02071 Albacete.
2. Departamento de Ciencia y Tecnología Agroforestal y Genética, ETSIA-UCLM. 02071 Albacete.
3. Sección de Recursos Cínegéticos. IDR-UCLM. 02071 Albacete.
4. Venadogen S. L. Avenida de la Innovación 1, 02006 Albacete.

### **RESUMEN**

La suplementación cinegética es una práctica muy común, teniendo una gran cantidad de efectos sobre la ecología del animal. El presente estudio evaluó los efectos de la suplementación durante 3 años en fémures de ciervas ibéricas, evaluando la composición mineral, estructura y propiedades mecánicas (Módulo de elasticidad de Young, resistencia a flexión y trabajo de fractura) del material óseo. Los resultados muestran que la suplementación produjo diferencias corporales en peso vivo y engrasamiento renal pero no en medidas como el tamaño corporal o del fémur. En cuanto a la composición mineral del fémur se encontró mayor contenido de Cu y Mn en ciervas suplementadas, y menor contenido de Ca, Mg, Na, P, S, B, Fe, K, Se, Sr y Zn. La suplementación solo afectó a la fuerza de fractura, pero no a la rigidez o trabajo de fractura. Se lograron encontrar diferencias regionales entre centro y parte superior del fémur en cuanto a composición en Na, Cu, Fe, K, Mn y Si, pero no se vieron afectadas las propiedades mecánicas. Por tanto la suplementación a largo plazo puede producir cambios en la composición y rendimiento mecánico incluso cuando sus efectos sobre el aspecto externo del animal no son muy visibles.

**Palabras clave:** Ciervo, contenido mineral, propiedades mecánicas, fuerza máxima a rotura.

## INTRODUCCIÓN

El tejido óseo constituye la mayor parte del esqueleto y dentro de sus principales funciones se encuentran: la protección de órganos, locomoción, actividad muscular, soportar impactos (en particular en huesos como la cuerna) y como reserva de minerales (Loveridge 1999, Burr 2002, Nazarian *et al.*, 2009).

En el caso de las propiedades mecánicas de los huesos, las más estudiadas han sido las propiedades mecánicas intrínsecas como: el módulo de elasticidad de Young (rigidez); resistencia a la flexión (fuerza máxima requerida para romper una muestra de hueso); y trabajo de fractura (fuerza requerida por unidad de área la cual produce una fractura) (Currey 2002, 2004, Davison *et al.*, 2006, Cerrud *et al.*, 2005).

Estas propiedades mecánicas dependerán de factores tales como el grosor cortical, diámetro y la calidad del material con que esté constituido el hueso (Davison *et al.*, 2006, Turner y Burr 1993, Currey 1984, 2004, Burr y Turner 2003, Sharif *et al.*, 2008). Es especialmente importante la nutrición ya que ésta favorece la mineralización del hueso, afecta a su composición y dimensiones, e influye por tanto directamente a la resistencia mecánica del hueso (McDowell 2003, Palacios 2006, Wang *et al.*, 2002). El efecto de la nutrición sobre los huesos debería ser especialmente evidente en especies cinegéticas, ya que es muy común la suplementación en muchos cotos privados, pero raramente en los públicos o reservas naturales.

El objetivo del presente estudio fue examinar el efecto de la suplementación sobre la composición mineral, estructura y propiedades mecánicas del material óseo en ciervas suplementadas y no suplementadas mantenidas durante 3 años con el mismo régimen alimenticio. Dicha continuidad es especialmente importante en el estudio de huesos internos ya que la remodelación o constatación de resorción y creación del hueso (Heany *et al.*, 2000) hace que los cambios por factores externos sean mucho más lentos que en la condición corporal (reservas grasas), crecimiento y otras características corporales.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El grupo de estudio fueron 26 ciervas ibéricas (13 suplementadas y 13 como grupo control) que se mantuvieron en cautividad de 2004 a 2007 en un coto de caza privado en la provincia de Ciudad Real (Oeste de Sierra Morena; LM 38°55' N; 0°36'E & 38°25'N, 3°54' E). Las ciervas se mantuvieron en dos cercados de una extensión de 13,5 ha (c/u), de los cuales 10,2 ha, correspondían a un mosaico de pastos adherados con encinas y 3,3 ha a áreas de típico monte bajo mediterráneo. El primer grupo de ciervas fue suplementado durante todo el estudio con un pienso cuya composición es mostrada en la Tabla 1. El segundo grupo solamente tuvo acceso a la vegetación presente dentro del área en que se encontraba.

El análisis químico del contenido mineral de los fémures fue realizado en un espectrofotómetro de absorción atómica (Optima 5300 DV, Perkin-Elmer ICP-OES, Boston

**Tabla 1. Contenido mineral del pienso proporcionado a las ciervas durante el experimento**

Mineral	Contenido	Mineral	Contenido
B	11,76 mg/kg	Sr	29,09 mg/kg
Co	1,21 mg/kg	Zn	401,11 mg/kg
Cu	35,54 mg/kg	Ca	1,59 g/kg
Fe	475,45 mg/kg	K	1 g/kg
I	18,17 mg/kg	Mg	3,5 g/kg
Mn	467,09 mg/kg	Na	3,7 g/kg
Mo	4,15 mg/kg	P	5,9 g/kg
Ni	8,57 mg/kg	Si	4,1 g/kg
S	1295,62 mg/kg	Proteína	220 g/kg
Se	1,72 mg/kg		

MA). Para los análisis de la mecánica del hueso se realizaron barras rectangulares (45 mm x 2,5 mm x 4,5 mm) que fueron sumergidas en solución salina de Hank y puestas a una temperatura de 4°C hasta su evaluación. Los ensayos mecánicos fueron realizados en una máquina de prueba de materiales Zwick/Roell™ (0,5 kN).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a las medidas morfométricas de los animales las ANOVAS mostraron diferencias en peso vivo y peso en canal entre ambos grupos de ciervas ( $F=9,608$ ;  $g.l.= 25$ ;  $P<0,05$ ,  $F=3,112$ ;  $P< 0,05$ , respectivamente). También se encontró diferencias significativa en el peso en la grasa renal ( $F=37,746$ ;  $P<0,001$ ).

Para el caso del contenido mineral en ambos grupos de ciervas se observó un efecto significativo (ver Tabla 2) en minerales como el Ca ( $F=6,512$ ;  $P<0,05$ ), Cu ( $F=5,798$ ;  $P<0,05$ ), P ( $F=6,034$ ;  $P<0,05$ ), Mg ( $F=13,876$ ;  $P<0,01$ ), Mn ( $F=8,680$ ;  $P<0,001$ ), Na ( $F=17,609$ ;  $P<0,001$ ) y S ( $F=55,230$ ;  $P<0,001$ ). Y un efecto marginal en el contenido de K ( $F=3,694$ ;  $P<0,1$ ). En lo que respecta a las propiedades mecánicas se encontró solamente una diferencia marginalmente significativa en la fuerza máxima a rotura ( $F=4,129$ ;  $P=0,053$ ).

Los GLMM de medidas repetidas regionalmente sobre zona centro y parte superior del fémur (valores de fémur izquierdo y derecho agregados tras realizar una ANOVA) mostraron un efecto de la suplementación en Ca, P, Mg, Na, S, Cu, K y Mn, y un efecto de la región del fémur en sodio, Cu, Fe, K, Mn y Si (Tabla 2). Los resultados también muestran que la fuerza

máxima a rotura encontrada en fémures de ciervas con suplementación no está producida por un efecto de la suplementación en el contenido de calcio. No se encontraron diferencias significativas según el régimen alimenticio en módulo de elasticidad de Young y trabajo bajo la curva.

**Tabla 2. Modelos lineales generales mixtos que evaluaron el efecto de la suplementación y región del fémur (centro o superior, medidas repetidas) en composición y propiedades mecánicas de dos grupos de 13 ciervas ibéricas con y sin suplementación**

Parámetros	R <sup>2</sup>	Intersección	Región	Supp	Supp * Ca
Fuerza máxima a rotura	10,6%	282,2 ± 90,5	-	-297,3±114,1*	5,07±2,50*
Magnesio	32,5 %	0,499 ±0,010	-	0,054 ± 0,014***	-
Sodio	34,5 %	0,690 ± 0,011	- 0,120 ± 0,009†	0,049 ± 0,017***	-
Fósforo	16,4 %	13,342 ± 0,223	-	0,899 ± 0,374*	-
Azufre	59,4 %	0,068 ± 0,002	-	0,046 ± 0,006***	-
Cobre	19,2 %	0,620 ± 0,009	- 0,020 ± 0,005**	- 0,037 ± 0,011**	-
Hierro	12,3 %	2,008 ± 0,303	- 1,037 ± 0,358**	-	-
Potasio	17,8 %	1105,2 ± 40,2	- 173,6 ± 60,1*	129,7 ± 67,6†	-
Manganeso	23,8 %	0,391 ± 0,023	- 0,016 ± 0,007*	- 0,095 ± 0,033**	-
Silicio	7,9 %	2,716 ± 0,357	- 1,183 ± 0,399**	-	-
Calcio	19 %	22,122 ± 0,352	-	1,352 ± 0,633*	-

Valores positivos en suplementación indican un menor valor en ciervas suplementadas, mientras que para la región, valores negativos indican un menor valor en la parte central que en la superior.

Los resultados muestran que una diferencia en regímenes de nutrición que a largo plazo afecta ligeramente al peso y engrasamiento renal, pero no a diversas medidas de tamaño corporal, afecta a la composición mineral y propiedades mecánicas de huesos internos como el fémur, aun antes de afectar su espesor cortical o contenido de ceniza.

No obstante, la suplementación si aumentó la concentración de Mn y Cu, aunque disminuyó el Ca, Mg, Na, P, S, B, Fe, K, Se, Sr y Zn. La reducción en Ca y P podría explicarse por su relación inversa con la proteína del hueso, que podría ser mayor en las ciervas suplementadas debido al aporte extra de proteína. Este aporte extra de proteína suele ser uno de los objetivos de la suplementación.

Es particularmente interesante que este efecto se produzca independientemente del contenido de Ca, uno de los parámetros generalmente usados para explicar las propiedades

mecánicas de los huesos (Currey, 1979). Los resultados también muestran diferencias regionales en minerales como Na, Cu, Fe, K, Mn y Si, pero no se reflejaron estas diferencias en las propiedades mecánicas. Esta variación regional en la composición es similar al efecto producido en las cuernas, aunque en este último caso sí existe una covariación entre composición mineral y propiedades mecánicas entre distintas regiones de la cuerna (Landete-Castillejos *et al.*, 2007). Estudios posteriores comparando covariación entre minerales y propiedades mecánicas de fémur y cuerna podrían revelar qué minerales son los más importantes en diversas situaciones para determinar dichas propiedades mecánicas. En conclusión los efectos nutricionales causados por la suplementación no son visibles a simple vista en la condición corporal o tamaño de los animales, pero sí pueden producir cambios en la composición mineral de los huesos y algunas de sus propiedades mecánicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURR, D. B. (2002). The contribution of the organic matrix to bone's material properties. *Bone* 31: 8-11.
- BURR, D. B. & TURNER, C. H. (2003). Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism (Biomechanics of bone, Chapter 8). American Society for Bone and Mineral Research. 58-64 pp.
- CERRUD, S. S. M.; NARVÁEZ, C. M. Y.; MUÑOZ, G. V. y SCHOUWENAARS, R. (2005). Modelado del comportamiento mecánico del hueso (Análisis de los efectos del grado de hidratación). *Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica* 1(6): 223-232.
- CURREY, J. D. (1979). Mechanical properties of bone tissues with greatly differing functions. *Journal of Biomechanics* 12: 313-319.
- CURREY, J. D. (1984). Comparative mechanical properties and histology of bone. *Amer Zool.* 24: 5-12.
- CURREY, J. D. (2002). *Bones: Structure and Mechanics*. Princeton University Press.
- CURREY, J. D. (2004). Tensile yield in compact bone is determined by strain, post yield behaviour by mineral content. *J. Biomechanics* 37: 549-556.
- DAVISON, S. K.; SIMINOSKI, K.; ADACHI, J. D.; HANLEY, D. A.; GOLTZMAN, D.; HODSMAN, A. B.; JOSSE, R.; KAISER, S.; OLSKYNSKI, P.; PAPAIOANNOU, A.; STE-MARIE, L. G.; KENDLER, D. L. y TENENHOUSE A. & BROWN, J. P. (2006). Bone strength: The whole is greater than the sum of its parts. *Semin. Arthritis Rheum.* 36: 22-31.
- HEANY, R. P.; ABRAMS, S.; DAWSON-HUGHES, B.; LOOKER, A.; MARCUS, R. y MATKOVIC, V. & C. WEAVER. (2000). Peak Bone Mass. *Osteoporos. Int.* 11: 985-1.009.
- LANDETE-CASTILLEJOS, T.; CURREY, J. D.; ESTÉVEZ, J. A.; GASPAR-LÓPEZ, E.; GARCÍA, A. y GALLEGO, L. (2007). Influence of physiological effort of growth and chemicals composition on antler bone mechanical properties. *Bone* 41: 794-803.
- LOVERIDGE, N. (1999). Bone: More than a stick. *J. Anim. Sci.* 77(2/J): 190-196.

- MCDOWELL, L. R. (2003). Minerals in animal and human nutrition. Elsevier Science (The Netherlands).
- NAZARIAN, A.; HERMANNSSON, B. J.; MULLER, J. y ZURAKOWSKI, D. & SNYDER, B. D. (2009). Effect of tissue preservation on murine bone mechanical properties. *Journal of Biomechanics* 42: 82-86.
- PALACIOS, C. (2006). The role of nutrients in bone health, from A to Z. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 46: 621-628.
- SHARIR, A. y BARAK, M. & SHAHAR, R. (2008). Whole bone mechanics and mechanical testing. *The Veterinary Journal* 177: 8-17.
- TURNER, C.H. & BURR, D. B. (1993). Basic biomechanical measurements of bone: A tutorial. *Bone* 14: 595-608.
- WANG, X.; SHEN, X.; LI, X. y AGRAWAL, C. M. (2002). Age-related changes in collagen network and toughness of bone. *Bone* 31: 1-7.

---

### **EFFECT OF SUPPLEMENTATION ON THE MINERAL COMPOSITION, MECHANICAL PROPERTIES AND STRUCTURAL IN BONES OF IBERIAN RED DEER (*CERVUS ELAPHUS HISPANICUS*)**

#### **SUMMARY**

The game supplementation is a common practice, which have big effects in the animal ecology. The aim of this study was to examine the effects of supplementation in red deer hinds that had been 3 years age in the nutrition scheme, evaluating the mineral profile, size and structure and mechanical properties (Young's modulus of elasticity, bending strength and work to maximum load) of bony material. The results show differences in live weight and kidney fat index, but not in measures like body size or femur. In reference to the mineral content in femur we found a higher content in Cu and Mn in supplemented hinds, and a lower content of Ca, Mg, Na, P, S, B, Fe, K, Se, Sr y Zn. The supplementation only affects the bending strength, elasticity or work of fracture. We found regional differences in Na, Cu, Fe, K, Mn y Si between center and upper part of femur, but were unaffected the mechanical properties. Therefore the long term supplementation can produce changes in composition and mechanical properties, even when its effects are not very visible on external shape of the animal.

**Key words:** red deer, mineral content, mechanical properties, bending strength.

---