

Cómo citar este artículo:

Paulino Fandos y otros. "Las cuernas del corzo como elemento bioindicador de la contaminación en el Campo de Gibraltar". *Almoraima. Revista de Estudios Campogibraltares*, 47, septiembre 2017. Algeciras. Instituto de Estudios Campogibraltares, pp. 173-180.

Recibido: enero de 2014

Aceptado: febrero de 2014

LAS CUERNAS DEL CORZO COMO ELEMENTO BIOINDICADOR DE LA CONTAMINACIÓN EN EL CAMPO DE GIBRALTAR

Paulino Fandos / Daniel Burón / Ramón C. Soriguer / José Enrique Granados / Guillermo Fandos / Eduardo Briones Villa

RESUMEN

Las cuernas son elementos característicos de los cérvidos que en el corzo presentan una forma muy representativa de la especie, generalmente con tres puntas en el mismo plano, con variaciones en la longitud, volumen y peso. Generalmente se desprenden una vez al año, a finales de otoño, e inmediatamente vuelven a crecer a gran velocidad, hasta dos o tres milímetros diarios.

Al ser elementos que crecen y se desarrollan anualmente, hay estudios que utilizan la cuerna del corzo como bioindicador de la contaminación de la zona, por tener la capacidad de acumular gran cantidad de metales pesados que se encuentran en el ambiente.

Siempre se ha supuesto que la industrialización de la bahía de Algeciras era un foco de contaminación industrial y que esta podía afectar a elementos vivos. En este caso, para testar dicha hipótesis hemos comparado la composición de minerales pesados de la cuerna de los corzos cazados en 2013 en la zona de influencia del Campo de Gibraltar con ejemplares cazados en el resto de la provincia de Cádiz y resto de la Península. Se han utilizado 30 trofeos de corzo de seis cotos que se encuentran en el área de estudio, 14 trofeos de corzos de la provincia de Cádiz y 20 trofeos del resto de España.

En el estudio se han analizado elementos fundamentales que entran en la composición de la cuerna con una magnitud alrededor de 1 gramo por kilogramo, como el fósforo (P), y el azufre (S), el calcio (Ca), el potasio (K), el sodio (Na), el magnesio (Mg); también se han analizado otros elementos considerados “metales pesados esenciales” como el zinc (Zn), el cobre (Cu), el cromo (Cr), el selenio (Se) y el níquel (Ni), y otros metales pesados no esenciales que se pueden considerar contaminantes como el cadmio (Cd), el plomo (Pb) o el mercurio (Hg), si bien este último no se ha podido analizar.

Los elementos mas abundantes que se encontraron en las cuernas de los corzos son el Ca (29,4 g/100g) y el P (11,6 g/100g). Entre los más pesados, el cadmio y el selenio solo aparecen como elementos traza (valores inferiores a 0,01 mg/kg). Respecto a los análisis de las medias de los metales pesados, aunque se puede observar un patrón, no existen diferencias significativas entre las zonas, debido principalmente a la alta variabilidad encontrada entre las mismas. Por ejemplo, con el plomo (Pb), los valores han sido, en la zona del Campo de Gibraltar $x = 1,20$ mg/kg ($sd = 3,01$); en el resto de Cádiz $x = 0,95$ mg/kg ($sd = 0,96$) y en el resto de España $x = 1,55$ mg/kg ($sd = 2,21$). Cuando se compara la composición del conjunto de minerales entre las zonas diferenciadas, sí aparecen diferencias significativas.

Los resultados, aunque se refieren solo al año 2013, pueden sentar las bases de un nuevo modelo de gestión ya que se tiene intención de seguir analizando más ejemplares y durante más tiempo para poder comprobar si tiene validez la cuerna del corzo como indicador biológico de la contaminación. También se deberían estudiar otros aspectos más particulares que pueden influir en la asimilación de dichos minerales, como puede ser la sedimentación diferenciada por el régimen de vientos que se da en la zona, u otras causas climatológicas que podrían determinar un gradiente no concéntrico de distribución de elementos contaminantes, o incluso elementos de la propia gestión de los acotados como la utilización de alimentación suplementaria.

Palabras claves: bioindicador, corzo, cuernas, contaminación, metales pesados.

ABSTRACT

The antlers are characteristic elements of roe deer that have a representative form of the species, usually with three points on the same plane, with variations in the length, volume and weight. Generally fall once a year, in late autumn, and immediately re-grow at an amazing speed of up to two or three millimeters a day. Being elements grow and develop annually, studies of deer antler used as a bioindicator of pollution in the area, by having the ability to accumulate large amounts of heavy metals found in the environment.

It has always been assumed that the industrialization of the Bay of Algeciras was a focus of industrial pollution and that this could affect living things. In this case, to test this hypothesis we compared the composition of heavy minerals of the antler of deer killed in 2013 in the area of influence of the Campo de Gibraltar with others in the rest of the province of Cádiz and outside trophies in the province of Cadiz and outside Andalusia. We used 31 deer trophies of six game preserves that are in the area of study, 12 deer trophies in the province of Cadiz and 21 trophies from the rest of Spain.

The study analyzed key elements that go into the making of the antler with a magnitude of about 1 g per kilogram, such as phosphorus (P) and sulphur (S), calcium (Ca), potassium (K), sodium (Na), magnesium (Mg); also used other elements considered “essential heavy metals” such as zinc (Zn), copper (Cu), chromium (Cr), selenium (Se) and nickel (Ni), and other heavy metals can be considered pollutants such as cadmium (Cd), lead (Pb) and mercury (Hg), although the latter could not be analyzed.

Among the heavy metals cadmium and selenium appear only as trace elements (values belw 0.01 mg/Kg). Regarding the analysis of the means of the heavy metals, although you can see a pattern, there are no significant differences between sites (ANOVA; $F = 0.246$, $p = 0.783$), mainly due to the high variability found between them. For example, lead (Pb), the values were in the Campo de Gibraltar $x = 1.20$ mg/kg ($sd = 2.21$).

The results of heavy metals, although generally present no significant differences between areas, refer only to 2013, although it intends to continue analyzing more samples and longer to check for validity the antlers of deer as a biological indicator pollution. Should also consider other more particular aspects that may influence the absorption of these minerals, such as wind conditions occurring in the area, which could determine a non-concentric gradient abundance of pollutants, or even elements the actual management of bounded as supplementary feeding.

Key words: bioindicator, Roe deer, antlers, pollution, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

Una de las características más importantes de los machos de los ciervos es la caída anual de las cuernas y su posterior desarrollo. El ciclo fenológico del corzo muestra cómo después de su caída, alrededor del mes de noviembre, comienza un rápido crecimiento, con una velocidad que puede superar entre 1 y 3 mm por día, hasta completar su desarrollo, que ocurre en menos de tres meses. Esto sucede durante el invierno, el periodo del año más desfavorable y cuando menos disponibilidad de alimento hay en el medio natural.

Las cuernas pueden ser consideradas como resultado de la interacción de diferentes factores como puede ser un componente genético, la edad del ejemplar o el alimento disponible en el medio o auto almacenado.

Muchos elementos que son necesarios en la formación de los cuernos no están disponibles en el medio en la cantidad necesaria, por lo que tienen que conseguirlos movilizándolo minerales del propio esqueleto óseo, ya que los huesos son tejidos donde se acumula gran cantidad de minerales durante el periodo favorable que corresponde con primavera y verano, de tal forma que en invierno se pueden transferir en el desarrollo de las cuernas.

La presencia de cuernas con un crecimiento tan rápido implica un gasto metabólico y energético muy importante en el desarrollo de la estrategia vital del corzo, además que en el momento de completar su desarrollo forma un depósito de la acumulación de minerales irreversible, que pierde todos los años. Este fenómeno implica movilizaciones importantes de diferentes minerales que tienen que ser ingeridos a través del alimento o del agua y un coste extraordinario que en el desarrollo evolutivo ha tenido que compensar su formación.

La composición mineral diferenciada de las cuernas de los cérvidos puede reflejar carencias nutricionales (Estevez *et al.*, 2009), y sus consecuencias pueden afectar a características biológicas de los animales, o a características mecánicas de las propias cuernas como la fragilidad o la porosidad. Por lo que la estructura y la composición de estas cuernas son el resultado de unos modelos de gestión de las poblaciones y actualmente se reflejan en la valoración de los propios trofeos cinegéticos.

Sin embargo, las propias cuernas podrían considerarse como un elemento bioindicador de la calidad de los individuos relacionados con características intrínsecas como el color, la dureza, la densidad o la fragilidad (Landete-Castillejos *et al.*, 2007). Además, en trabajos recientes que se llevan realizando en los últimos años, la cuerna de los corzos es utilizada como un elemento bioindicador de la polución de una zona determinada, ya que se pueden considerar un almacén donde se concentra gran cantidad de minerales, por lo que reflejan la disponibilidad de los mismos en el medio natural durante un periodo determinado (Kierdorf & Kierdorf 2004; Wisser *et al.*, 2001).

METODOLOGÍA

Se utiliza material extraído de cuernas de 64 corzos adultos (30 procedentes de Campo de Gibraltar, 14 entre resto de Cádiz y Alcornocales pero fuera del Campo de Gibraltar y 20 del resto de la península ibérica). Se extraen 5 g por medio de una broca de 2 mm, a dos centímetros por encima de la roseta de la cuerna, para evitar variaciones en la composición de las diferentes partes de la cuerna (Landete-Castillejos *et al.*, 2012a). Todos los ejemplares estaban identificados y datados.

Las muestras de cuerna fueron disueltas en una solución ácida (12% HCl, 32% HNO₃ and 56% H₂O). Posteriormente, una segunda digestión fue llevada a cabo en un microondas (Perkin-Elmer Multiwave 3000, Boston, USA) bajo 345 kPa y durante 30 minutos.

Posteriormente fueron examinadas con un espectrofotómetro de absorción atómica (Optima 5300 DV, Perkin-Elmer ICP-OES, Boston, USA). Para evaluar el perfil mineral de la cuerna se han analizado los minerales más importantes, entre ellos los macrominerales expresados en porcentaje y determinados elementos minerales contaminantes expresados en partes por millón (mg/kg).

Análisis estadístico. Se calculan los estadísticos básicos de cada mineral analizado utilizando STATISTICA 6.0. La significación de la diferencia entre zonas se ha analizado mediante el test t-Student con muestras agrupadas donde la zona 1 corresponde al Campo de Gibraltar, la zona 2 a muestras del resto de la provincia de Cádiz, y la zona 3 del resto de la Península Ibérica.

Tabla 1.-

		N	Media	Min.	Max.	Std.Dev.
Fundamentales	Ca (g/100g)	64	29,39	18,65	40,38	4,25
	K (g/100g)	64	0,07	0,01	0,18	0,04
	Mg (g/100g)	64	0,73	0,40	1,02	0,12
	Na (g/100g)	64	0,98	0,75	1,77	0,13
	P (g/100g)	64	11,59	7,87	15,73	1,62
	S (g/100g)	64	0,34	0,27	2,80	0,31
Contaminantes	Cd (mg/Kg)	64	0,03	0,01	0,93	0,12
	Cr (mg/Kg)	64	7,87	3,17	67,65	8,54
	Cu (mg/Kg)	64	4,27	0,57	39,13	6,83
	Ni (mg/Kg)	64	0,36	0,01	5,57	1,07
	Pb (mg/Kg)	62	1,27	0,04	16,47	2,46
	Se (mg/Kg)	64	0,01	0,01	0,08	0,01
	Zn (mg/Kg)	64	103,34	67,33	278,20	37,29

Tabla 1. Descripción de los estadísticos básicos de los minerales fundamentales expresados en % (g/100g) y los minerales que pueden ser considerados contaminantes expresados en parte por millón (mg/Kg).

Figura 1.-

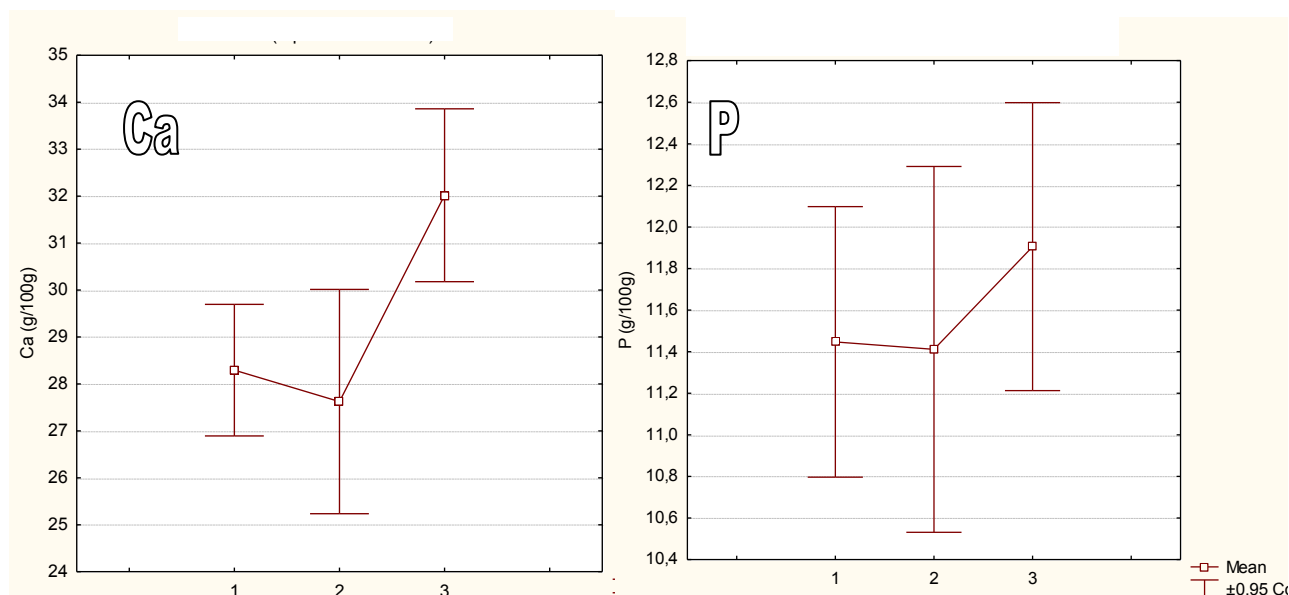


Figura 1.- Representación de las concentraciones de calcio Ca (a) y fósforo P (b) por la media (Cuadrado) y el error estándar al 95 % (barra vertical) en cada una de las zonas diferenciadas, (1) Campo de Gibraltar; (2) Resto Cádiz; y (3) Resto Península.

La diferencia del conjunto de minerales en los dos casos se ha analizado utilizando Modelos Lineales Generalizados GLZ por medio de test multivariable de significación.

RESULTADOS

Los estadísticos descriptivos de cada variable están descritos en la Tabla 1. Los resultados muestran que los elementos más importantes que intervienen en la composición de la cuerna son el calcio (Ca = 29,39%) y el fósforo (P = 11,59%); entre los dos suponen más del 40 % de la composición de la cuerna. Los estadísticos del resto de los minerales esenciales expresados en porcentaje (g/100g) y de los metales que se pueden considerar contaminantes se presentan en la tabla 1, mostrando que el Cadmio (Cd) y el Selenio (Se) aparecen solo como elementos traza con menos de 0,01 mg/kg en ambos casos (Tabla 1).

Cuando comparamos la composición mineral, los resultados muestran que el calcio (Ca) (Figura 1) y el potasio (K) de las cuernas del Campo de Gibraltar o las de Cádiz tienen menores concentraciones que las del resto de la península, siendo las diferencias significativas. Mientras que el magnesio solo presenta diferencias significativas entre el Campo de Gibraltar y el resto de la Península ($t\text{-Student} = 2,89; p < 0,01$).

Cuando se analizan los elementos que se pueden considerar contaminantes, ninguno presenta diferencias significativas entre el Campo de Gibraltar y el resto de zonas de forma individualizada.

Sin embargo, cuando se comparan de forma agrupada, tanto los elementos fundamentales como los metales que se pueden considerar contaminantes, en ambos casos las diferencias son significativas entre todas las zonas. En el caso de los metales fundamentales entre zonas ($F = 1,85; p < 0,02$), y en el caso de metales que se pueden considerar contaminantes ($F = 2,15; p < 0,03$).

Tabla 2.-

	Mean	Std.Dev.	Mean	Std.Dev.	Mean	Std.Dev.	t-value	t-value	t-value
POBLACIÓN	CAMPO GIBRAL.(1)		RESTO CÁDIZ (2)		RESTO PENÍNSULA (3)		1 y 2	1 y 3	2 y 3
Cd (mg/Kg)	0,0395	0,16451	0,01	0	0,0202	0,04686	0,617572	0,522555	-0,750757
Cr (mg/Kg)	9,7689	11,62174	6,95295	3,856	5,5756	2,75497	0,81683	1,61813	1,193358
Cu (mg/Kg)	4,191	7,64616	3,85686	3,84603	4,6089	7,12379	0,143744	-0,198679	-0,337155
Ni (mg/Kg)	0,5264	1,35766	0,07511	0,12586	0,2774	0,8691	1,141111	0,742301	-0,796323
Pb (mg/Kg)	1,201	3,00965	0,95037	0,95685	1,56	2,21279	0,281044	-0,45677	-0,900565
Se (mg/Kg)	0,0121	0,01173	0,01	0	0,01	0	0,617572	0,820413	
Zn (mg/Kg)	104,8035	35,23559	95,69946	24,20387	105,5447	46,39397	0,820295	-0,06544	-0,680896
Ca (g/100g)	28,29379	3,819989	27,62411	3,760657	32,01962	4,043729	0,51779	-3,37071	-3,0785
K (g/100g)	0,06302	0,020831	0,05851	0,026907	0,09157	0,048653	0,58537	-2,90802	-2,16282
Mg (g/100g)	0,7675	0,131845	0,72914	0,113641	0,6702	0,096084	0,88699	2,89717	1,58664
Na (g/100g)	1,01254	0,160436	0,97292	0,098146	0,94394	0,095879	0,79629	1,75545	0,82836
P (g/100g)	11,44694	1,773869	11,41116	1,384843	11,90527	1,521563	0,06271	-0,96671	-0,92603
S (g/100g)	0,30256	0,024305	0,51044	0,722607	0,30897	0,01751	-1,63106	-1,03846	1,2927

Tabla 2. Estadísticos y significación de las diferencias entre cada uno de los metales analizados por medio de la t-Student, tanto de los minerales fundamentales como los que se pueden considerar contaminantes.

DISCUSIÓN

Todos los minerales juegan un papel importante en la composición de la cuerna, ya sea porque forman parte de su propia estructura o por su función como catalizadores regulando la asimilación de otros elementos estructurales como, por ejemplo, la relación indirecta del magnesio o manganeso en la asimilación del calcio. Por lo que hay elementos que, a pesar de su baja concentración son buscados ávidamente por los cérvidos como el potasio (relacionado con las propiedades mecánicas y a la propia estructura del hueso), el sodio, magnesio (que proporciona un hueso más resistente), o incluso minerales, a pesar de ser considerados como contaminantes, como el zinc, que unido a la fosfatasa alcalina es necesario como catalizador del calcio.

La importancia de describir la composición de minerales de la cuerna del corzo está en disponer de un patrón básico o indicador del desarrollo normal de un ejemplar (Olguin *et al.*, 2013), y servir para comparar con resultados de un lugar o un momento determinado y destacar la importancia de un elemento concreto para la correcta gestión de las poblaciones de corzo (Kardell & Kallman 1986).

La carencia de algún elemento, aparte de la influencia que puede tener en el desarrollo corporal, en el desarrollo de la cuerna en los machos o incluso extrapolando a las hembras durante la diapausa o la gestación, puede ser indicativo de la escasez de dicho elemento en el medio natural, pudiéndose corregir con una alimentación suplementaria adecuada. Los elementos minerales (micro y macro) necesarios para el desarrollo de los corzos son buscados activamente por estos, tanto en la alimentación como en el agua.

Tabla 3.-

MINERALES		Test	Valor	F	GL Efecto	GL Error	p
Fundamentales	Intercepción	Wilks	0,003922	918,22	13	47	0,00
	zona	Wilks	0,437456	1,85	26	94	0,02
Posibles contaminantes	Intercepción	Wilks	0,029447	362,55	5	55	0,00
	zona	Wilks	0,700024	2,15	10	110	0,03

Tabla 3. Comparación del efecto de todos los minerales agrupados por tipo (fundamentales y posibles contaminantes) entre las tres zonas por medio de test multivariable con restricción de parámetros.

La poca diferencia que existe en la acumulación de elementos que se pueden considerar contaminantes entre las tres poblaciones de corzo indica que los modelos de gestión y la disponibilidad de alimentación es similar, y además estas mínimas diferencias pueden ser causadas más por la presencia de fuentes de contaminación más generales que se encuentran distribuidas por todas las zonas, como puede ser la contaminación causada por la circulación de coches, o la distribución de abonos y fertilizantes, que el que sean achacadas a un foco de contaminación particular como puede ser el polo industrial del Campo de Gibraltar.

Las diferencias más notables las encontramos con el cromo, y aunque no llegan a ser significativas por sí solas, sí que pueden influir en la significación del análisis conjunto.

Los minerales que se encuentran en mayor concentración en la cuerna del corzo son, con diferencia, el calcio (Ca) y el fósforo (P), y entre los dos superan el 40 % de la composición de las cuernas. Los resultados indican que el corzo es el cérvido que presenta una concentración de calcio y fósforo más alta en relación a otras especies como el ciervo *Cervus elaphus* (Landete-Castillejos *et al.*, 2013) o diferentes cérvidos (Pathak *et al.*, 2001).

Otra característica que presenta el estudio de la composición mineral de la cuerna de los corzos es que se puede utilizar como bioindicador, ya que puede recoger la calidad del hábitat, o incluso la acumulación de metales pesados, que se depositan en la cuerna durante un periodo de crecimiento determinado (Lutz 1985; Kierdorf & Kierdorf 2004; Wisser *et al.*, 2001).

Esta característica aunque no siempre corresponda a una contaminación en sentido estricto, sino a la ingestión de determinadas plantas que pueden actuar como reservorios o catalizadores como pueden ser los hongos (Pokorny *et al.*, 2004).

Los modelos de gestión clásicos se pueden basar en las carencias de determinados elementos que pueden ser circunstanciales cuando se producen por una causa determinada o estructurales por la composición mineral de la zona, por lo que se puede solucionar y tomar medidas concretas como piensos enriquecidos hechos a la carta (Landete-Castillejos *et al.*, 2012b; Estévez *et al.*, 2009).

Los resultados se pueden referir a una zona y a un año concreto, en este estudio corresponden sólo al año 2013, se pueden considerar el inicio de unos nuevos modelos de gestión, para ello es necesario seguir tomando muestras y realizar análisis de forma rutinaria, con diferentes objetivos. Por un lado, comprobar la calidad individual de los ejemplares y resaltar la carencia de algún microelemento y, en segundo lugar, para poder comprobar si tiene validez la cuerna del corzo como indicador biológico de la contaminación.

También se deberían estudiar otros aspectos más particulares que pueden influir en la asimilación de dichos minerales, como puede ser la sedimentación diferenciada por el régimen de vientos que se da en la zona, u otras causas climatológicas que podría determinar un gradiente no concéntrico de distribución de elementos contaminantes, o incluso elementos en la propia gestión de los acotados como la utilización de alimentación suplementaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Estévez J. A., Landete-Castillejos T., Martínez A., García A.J., Ceacero A., Gaspar López E., Calatayud A., Gallego L. "Antler mineral composition of Iberian red deer *Cervus elaphus hispanicus* is related to mineral profile of diet". *Acta Theriologica* 54:235-242. 2009.
- Kardell L., & S. Kallman. "Heavy-metals in antlers of roe deer from 2 swedish forests, 1968-1983". *Ambio* 15:232-235. 1986.
- Kierdorf H. & U. Kierdorf. "The use of antlers to monitor temporal variation in environmental lead levels: a case study from an industrialized area in Germany". *European Journal of Wildlife Research* 50:62-66. 2004.
- Landete-Castillejos T., J.D. Currey, J.A. Estévez, E. Gaspar-Lopez, A. Garcia, L. Gallego. "Influence of physiological effort of growth and chemical composition on antler bone mechanical properties". *Bone* 41:794-803. 2007.
- Landete-Castillejos T., J.A. Estévez, F. Ceacero, A.J. García, L. Gallego. "A review of factors affecting antler composition and mechanics". *Frontiers in bioscience* 4:28-39. 2012 (b).
- Landete-Castillejos T., J.A. Estévez, F. Ceacero, A.J. García, L. Gallego. "Effects of public vs. private management on deer antler composition, mechanical and structural variables". *European Journal of Wildlife Research* 59:519-529. 2013.
- Landete-Castillejos T., J.D. Currey, F. Ceacero, A.J. García, L. Gallego, S. Gomez. "Does nutrition affect bone porosity and mineral tissue distribution in deer antlers? The relationship between histology, mechanical properties and mineral composition". *Bone* 50:245-254. 2012 (a).
- Lutz W. "Results of Studies on Roe Deer (*Capreolus-Capreolus* L) and Hare (*Lepus-Europaeus* Pallas) for Heavy-Metals and Chlorinated Hydrocarbons in Nordrhein-Westfalen". *Zeitschrift Fur Jagdwissenschaft* 31:153-175. 1985.
- Olguin C.A., T. Landete-Castillejos, F. Ceacero, A.J. García, L. Gallego. "Effects of Feed Supplementation on Mineral Composition, Mechanical Properties and Structure in Femurs of Iberian Red Deer Hinds (*Cervus elaphus hispanicus*)". *PloS One* 8. 2013.
- Pathak N.N., A.K. Pattanaik, R.C. Patra, B.M. Arora. "Mineral composition of antlers of three deer species reared in captivity". *Small Ruminant Research* 42:61-65. 2001.
- Pokorny B., S. Al Sayegh-Petkovsek, C. Ribaric-Lasnik, J. Vrtacnik, D.Z. Doganoc, M. Adamic. "Fungi ingestion as an important factor influencing heavy metal intake in roe deer: evidence from faeces". *Science of the Total Environment* 324:223-234. 2004.
- Wisser, V.J., ET AL.. "Characterisation of health status parameters in roe deer (*Capreolus capreolus*) from highly polluted areas (cadmium, lead, and PCBs) compared with areas of low pollution. II. Parasitisation and histopathological findings". *Zeitschrift Fur Jagdwissenschaft* 47:211-225. 2001.