



Comechingonia virtual
Revista Electrónica de Arqueología
Año 2010. Vol. IV. Número 1: 60-73
www.comechingonia.com

EXPLORANDO LA VARIABILIDAD MÉTRICA Y MORFOLÓGICA DE ASTAS BOVINAS A PARTIR DE LA TÉCNICA DEL ANÁLISIS DE CONTORNOS

Recibido el 8 de marzo de 2010. Aceptado el 2 de julio de 2010

Pere-Miquel Parés Casanova

Dep. de Producció Animal, Universitat de Lleida. Avda. Rovira Roure 191.

25198-Lleida (Catalunya, España)

peremiquelp@prodan.udl.cat

ABSTRACT

The present work explores the potentiality of EFA ("Elliptic Fourier Analysis"), an analytic and descriptive tool for the study of shape, independently of the size of the artifacts, to the study of horns. Morphospace of a little sample of twenty-two bovine horns are thus examined using EFA method combined with image analysis techniques. The different shape dimensions obtained as a result of the application of this procedure can be simplified by means of principal component analysis, in order to obtain new variables that capture the greater possible variation in the analyzed sample. The shape variables obtained in this manner, can be utilized as independent variables in different statistical analysis. This high-performance method seems to be an appropriate morphometric technique for distinguishing the complex horn shapes both in extinguished as extant bovines .

Key words: Biometry; Fourier analysis; Geometric morphometrics; Morphological variability

INTRODUCCIÓN

Los análisis de contornos han sido aplicados por numerosos investigadores, teniendo especial desarrollo en biología (Hurth *et al* 2003) e incluso en medicina forense (Schmittbuhl *et al* 2001). Su utilización tiene como propósito obtener una menor representación del tamaño con el fin de analizar aspectos de su evolución o de su variación en relación a aspectos ecológicos o de la ontogenia (Cardillo 2005).

En el caso de la zooarqueología, distintos tipos de análisis basados en estudio de contornos podrían ser aplicados, como es en el estudio de la forma de las astas en los bovinos¹, elemento de inportancia en el análisis arqueológico (Armitage 1972; Gilbert 1988). En este contexto, las variaciones podrían tener implicaciones para objetivar las descripciones de la cornamenta, elemento que reviste una gran importancia para una descripción racial.

Aunque la incorporación de los análisis de ADN mitocondrial, tanto en muestras actuales como en arqueológicas, ha supuesto un gran avance en el estudio de las poblaciones bovinas del pasado y su evolución (Bela *et al*, 2006; Cymbron *et al*, 2005; Edwards *et al*, 2007; Pellecchia *et al*, 2007), recientes estudios sobre ADN nuclear en otras especies han demostrado importantes contradicciones entre ambos resultados (Green *et al*, 2010). Por ello, la caracterización morfológica a través de los restos óseos sigue siendo fundamental en los trabajos arqueozoológicos. En el caso de los bovinos, y de la mayoría de las otras especies de mamíferos domésticos, los criterios diagnósticos para establecer formas raciales a lo largo del tiempo o del espacio, se han basado fundamentalmente en

¹ Debe considerarse como “cuerno” el conjunto formado por el asta y la apófisis córnea de los huesos frontales (Sisson & Grossman 1982)

carácteres métricos orientados a calcular los tamaños globales de los individuos o sus proporciones corporales. Pero los protocolos ampliamente aceptados por la comunidad científica arqueológica, como los de von Driesch (1976), pueden adolecer en algunas ocasiones de ser poco discriminantes. Algunas clasificaciones de forma propuestas, por otro lado, son marcadamente simples y/o están basadas en apreciaciones de la forma por el método visual directo (Armitage & Clutton-Brock 1976; Sykes & Symmons 2007), con lo que resultaría interesante encontrar un sistema de objetivización de esta variable. Como principio fundamental de este estudio, creemos que se debe intentar unificar todos los criterios que nos permitan comparar morfologías cornuales, empleando no sólo una técnica analítica uniformada, sino también una tipología, que haga posible estudiar todos los restos hallados, independientemente de su contexto cronológico.

Nuestro estudio puede permitir establecer diferencias entre los restos arqueológicos incompletos de clavijas de bovinos, ampliando así los criterios de ración. Y para ello nos centraremos en analizar diversas formas de astas bovinas a partir de una aproximación no tipológica, en donde las morfologías sean definidas de manera teórica; o sea, vamos a considerar la variación observada dentro de un *continuum*, es decir, a partir de la concurrencia de distintos rasgos. Las configuraciones obtenidas por éste u otros métodos de análisis morfométrico deben ser luego puestos a juego en relación a otras variables independientes, para de esta manera establecer hipótesis de causalidad entre la variabilidad observada y el fenómeno que se quiera analizar (Cardillo 2005).

El método de análisis de contornos denominado Análisis de Fourier Elíptico o EFA ("Elliptic Fourier Analysis") es el más adecuado para el estudio de contornos cerrados de distinta complejidad tal como lo demuestra Rohlf (1990) en estudios comparativos, especialmente en casos donde no existen puntos homólogos entre los ejemplares

analizados. El EFA al igual que otros métodos de Fourier, permite la descomposición de la forma utilizando un conjunto de funciones de amplitud equivalente denominadas armónicas. La cantidad de las armónicas determina la precisión en la descripción del contorno, por lo que éstas pueden ser manipuladas hasta lograr el grado de detalle deseado.

La diferencia del EFA se basa en la utilización de coordenadas cartesianas en donde el incremento de la coordenada x a lo largo del contorno define la función periódica, mientras que el incremento de y es sujeto a una descomposición independiente (Hammer & Harper 2006). Dado que este proceso genera cuatro coeficientes por cada armónica utilizada, la cantidad de parámetros obtenidos para cada espécimen analizado es muy grande. Un procedimiento común es por lo tanto buscar los principales ejes de variación a partir de técnicas multivariadas como los componentes principales (CP) (Hammer & Harper 2006). Previa a la obtención de los coeficientes, los contornos son estandarizados, de manera automática tal que son invariantes en cuanto a orientación, tamaño y origen.

Dentro de las posibilidades que ofrece el EFA, nos interesa especialmente el análisis de patrones morfológicos y su relación con la variación tanto métrica como cualitativa y como generador de hipótesis. Nos planteamos, por ejemplo, que los diseños de astas más largas tenderían a mostrar patrones de curvatura más complejos; asimismo, diseños más complejos canalizarían una mayor variación. A nivel general etnológico, esto podría manifestarse como patrones de poca variabilidad en algunos tipos de diseño de asta y una variación fluctuante en otros. Además, clasificar un asta bovina es a veces bastante objetivo; esta vaguedad morfológica dificulta muchas veces su descripción, análisis y comparación.

Desde el punto de vista morfológico, las astas del ganado vacuno son vainas de tejido córneo que cubren un hueso central. Son formaciones cutáneas, faneros, en las cuales la epidermis está íntimamente unida a la dermis. Están situados en la región frontal, con

nacimiento al mismo nivel o muy ligeramente por delante de la línea de prolongación de la nuca. El estuche córneo, parte externa, la porción visible del asta, es hueco en su mayor parte. Las paredes son delgadas y cortadas en bisel en su base, pero aumentan de grosor hasta terminar en un cono macizo, de longitud y anchura variable.

Este trabajo pretende caracterizar la variabilidad de la forma de la manera más objetiva posible, y para ello se recurre a la utilización de métodos morfométricos. Como resultado final se obtiene una descripción cuantitativa de la forma.

Forma y tamaño

La separación de forma y tamaño es un problema crítico en estudios morfométricos ya que ambas variables se encuentran comúnmente relacionadas y la medición de una de ellas se dificulta por su covariación con la otra. Por otro lado, cuando se intenta describir variación morfológica de un objeto (en nuestro caso, la asta) la variación métrica entre las distintas unidades de tamaño (como largo, ancho y espesor) precisa ser estandarizada para reducir los efectos de la varianza en los análisis. Una solución ha sido emplear para ello proporciones. Aún así, las variables estandarizadas conservan generalmente información sobre el tamaño del objeto, y como cada medida debe ser analizada independientemente de otras poseen menor poder explicativo que otras técnicas morfométricas. Otro aspecto importante es la existencia de variación producida por el error de medición, ya que es común que no existan puntos claros sobre los cuales tomar las medidas de un objeto, o que estos puntos estén limitados a algunos pocos (como es el caso de las astas).

El método de Fourier para análisis de contornos fue el primero utilizado para capturar geoméricamente la variación de forma en los organismos. La manera de describir el contorno utilizada por este método, es ajustar una función (más específicamente, un

polinomio) a un conjunto de n puntos distribuidos a lo largo de un contorno. Posteriormente, utilizando un criterio de cuadrados mínimos, se ajusta una línea a este conjunto de puntos. Para ello se parte de imágenes previamente digitalizadas (figura 1). Cuanto mayor es el número de parámetros utilizados con mayor exactitud es capturado el contorno. Las funciones ajustadas a los contornos son denominadas armónicas, curvas que van siendo sumadas en orden creciente para describir el contorno, por lo que las primeras armónicas describen de forma general el contorno, mientras que las últimas representan básicamente a la variación de pequeña escala. Los coeficientes polinomiales, que son los valores de forma obtenidos, pueden ser luego utilizados en distintos análisis univariados o multivariados para compararlos con distintas variables externas. La dimensionalidad del conjunto de datos obtenidos depende del número de parámetros utilizados para describir el contorno. Por ello para interpretar los resultados o utilizar los coeficientes para otros análisis, es conveniente reducir estas dimensiones eliminando información redundante. Esto puede ser realizado mediante un análisis de componentes principales (ACP), para obtener un conjunto reducido de nuevas variables de forma. En éste, el contorno es descrito por un conjunto de coordenadas cartesianas (x e y) y expresado como funciones paramétricas en distancia acumulativa en cuerda entre puntos igualmente espaciados a lo largo del contorno. Las distancias entre puntos son luego estandarizadas de tal manera que oscilan entre 0 y 2π radianes en base a los parámetros obtenidos para la primera de las armónicas. Para eliminar la información redundante y reducir el número de dimensiones, los resultados son sometidos a ACP. Si el primer y segundo componentes son explicativos de la mayor parte de la variación observada estos puntos pueden utilizarse luego como variables para explicar la variación morfológica. Tal como lo mencionamos, las primeras armónicas captan la variación general y asimismo son más sensibles a los errores de medición o escala, por lo que los datos son estandarizados para minimizar este efecto. Esta estandarización se aplica colocando una

escala de referencia junto a cada espécimen antes de la digitalización de las imágenes. Debido a que el criterio de superposición de formas debe partir de un mismo punto para lograr una correspondencia entre ejemplares medidos, se utiliza un punto de inicio de la digitalización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 22 astas procedentes de diversas razas bovinas europeas (Aubrac, Bruna dels Pirineus, Charolesa, Frisona, Salers...), tanto de machos como de hembras. No se tuvo en cuenta la lateralidad de los especímenes medidos, correspondiendo pues dos especímenes por individuo analizado (aunque en algunos casos ambas astas presentando una marcada asimetría de forma, dirección y/o longitud). Todos los animales eran adultos (>48 meses). Con el fin de analizar la variación como un continuo, el conjunto fue tratado como perteneciente a una misma clase, no considerándose ni la variable raza ni sexo.

Las variables métricas tomadas para el análisis fueron el largo (curva interna y externa), espesores (diámetros oro-aboral y dorso-ventral de la base o “cepa”) y grosor (perímetro de la base), de las astas, medidos en mm, con pié de rey. Con estas medidas se calcularon además los siguientes índices:

- índice de robustez: este índice toma en cuenta tres variables. El cálculo de este índice se realiza multiplicando los dos espesores (diámetros oro-aboral y dorso-ventral de la base), para luego dividirlo por el máximo largo (curva externa), de manera que los mayores valores indicarán formas proporcionalmente más robustas.

- Índice de cepa: se realiza dividiendo el diámetro oro-aboral por el dorso-ventral de la base. Nos ofrece una idea de lo próximo que está a una circunferencia la base del asta.
- Índice de avivamiento: se realiza dividiendo el largo (curva externa) por el perímetro de la base. Se fundamenta en que el perímetro (de la base) es poco sensible al crecimiento, por lo que esta función describe cómo las astas se vuelven proporcionalmente menos gruesas a medida que aumenta su largo.
- Índice de curvatura: se obtiene dividiendo la curva externa por la curva interna, y multiplicando luego por 100. Obviamente, astas más curvas presentarán un índice mayor.

Estos cuatro índices describen el grado de isometría entre variables métricas, y serán luego comparados con los resultados obtenidos a partir del análisis EFA. Este análisis no reemplaza otros de índole macroscópica, sino que contribuye a aportar una medida continua del cambio morfológico en relación con la variación métrica. De observarse una correlación estadística y significativa entre estos índices y el cambio morfológico (siendo ambos variables continuas), cabrá suponer la existencia de algún tipo de relación no aleatoria entre ambas variables.

Para el análisis morfométrico un primer paso fue la obtención de los contornos. La digitalización de imágenes se realizó mediante una cámara digital a 2.240 x 1.488 píxeles de resolución, a distancias focales variables, utilizando un fondo blanco y una escala medida en mm (27x 18 mm) colocada en la parte superior (“pitón” o “punta”) de cada ejemplar. Puesto que las astas no son objetos planos, se colocaron de manera que la parte más larga posible quedase reflejada en el campo fotográfico. Las imágenes fueron trabajadas en formato bitmap con el procesador *MeeSoft Image Analyzer* v. 1.27 para

convertirlas y así almacenarlas en escala de grises de 24 bits. Esto permite captar todo el contorno de la imagen de forma automática. Los resultados del análisis EFA muestran que la forma puede ser descrita en detalle con 20 armónicas (figura 2), por lo que se utilizaron 20 armónicas para realizar los análisis posteriores. Para el procesamiento de las imágenes y el cálculo de los coeficientes de Fourier se utilizó el paquete estadístico de distribución libre *Shape* (Iwata & Ukai 2002); para el ACP, se utilizó el paquete estadístico de distribución libre *PAST* (Hammer *et al.* 2001). Los coeficientes fueron calculados utilizando el programa *Chc2Nef* y el ACP con el *PrinComp*. Posteriormente, se redujeron las dimensiones a través de un ACP con el programa *PAST*, utilizando para ello la matriz de covarianza.

Con el fin de establecer relaciones entre la variabilidad métrica y morfológica se realizó una matriz de correlación (r de Pearson) entre las variables métricas y los valores obtenidos mediante la aplicación del análisis de los 3 componentes principales sobre los coeficientes de Fourier. El criterio seguido para considerar una correlación significativa se fijó en un nivel de $p=0.05$.

RESULTADOS

Componentes Principales

Los análisis de componentes principales sobre los coeficientes de Fourier, redujeron la variabilidad a dos componentes principales (CP), que captan conjuntamente un 77,1 % de la varianza observada en la forma (tabla 1). El tercer componente, que capta una fracción muy pequeña de la variación, será utilizado principalmente con fines ilustrativos. La variación en la forma es representada en unidades de desviación estándar a partir de una forma media, que es el promedio de los coeficientes de Fourier para todas

las formas analizadas. Como se puede observar en la figura 3, la mayor variación en la muestra corresponde a la curvatura de la forma, mientras que los dos componentes restantes muestran variación localizada en la compresión y alargamiento.

La superposición sobre la forma media muestra el grado decreciente de variación en los componentes, así como la localización de las diferencias de forma entre los contornos. Los componentes 2 y 3 muestran principalmente variación localizada en la base y en la punta. La variación observada en la base y en la punta del contorno del segundo componente principal puede interpretarse como efecto del avivamiento, lo que se observa también (en menor medida) en el CP1. Esto sugeriría que algunas morfologías estarían más relacionadas que otras con el avivamiento. Los puntajes (tabla 2) permiten ubicar cada ejemplar analizado dentro del espacio multivariado y pueden luego ser extraídos para analizarlos junto a variables externas.

Análisis de correlación

Se realizaron análisis de correlación (r de Pearson) entre las variables antes mencionadas y los dos componentes principales (tabla 3). Las cinco variables métricas estudiadas presentaron una distribución normal ($p < 0,50$). La probabilidad asociada fue obtenida mediante el programa *PAST*. En ninguno de los componentes principales aparece ninguna correlación significativa. Esto indica que las astas, al ganar curvatura (o sea, a medida que poseen valores más altos en el CP1), tienden a perder sus medidas de longitud y grosor. Las formas más alargadas no muestran mayor curvatura.

En cuanto a los índices, tampoco se observa ninguna correlación significativa ($p > 0,05$) en ninguno de los CP, lo que indica que las proporciones no se mantienen al variar la forma de las astas.

En conjunto, la baja correlación entre las medidas métricas e índices, y las variables morfológicas obtenidas a través del análisis de Fourier, sugieren que el estudio matemático de la forma puede complementar la información arrojada por las variables puramente lineales. En el estudio por escalamiento multidimensional a partir de la matriz de datos biométricos (Figura 4), únicamente el diseño extremo “J” –cuerno “en gancho largo”- aparece diferenciado, mientras que al recurrir a la matriz conjunta de datos biométricos y las variables morfológicas del análisis de Fourier (Figura 5), aparecen mas diseños extremos, como el “B” –cuerno “en corona”-, “J” y “O” –cuerno “en rueda alta”-, claramente diferenciados.

DISCUSIÓN

La descripción de astas recuperadas de yacimientos puede ser complementada a través del EFA, para así, en posteriores evaluaciones estadísticas, llegar a conclusiones más definidas. No quedan incluidos en este tipo de estudio útiles elaborados en asta o sobre fragmentos cornuales.

Evidentemente, la metodología EFA planteada tiene en cuenta únicamente la forma, tamaño y curvatura de las astas, puesto que el objetivo de este trabajo era únicamente estudiar la variación en las distintas morfologías de asta a partir del análisis de contornos, y en piezas desprendidas del cráneo (cosa que es frecuente en hallazgos arqueológicos). Naturalmente, las posibilidades que ofrece el EFA son muy superiores a las obtenidas por pura biometría, con lo que ambos procedimientos deben considerarse complementarios en el estudio zooarqueológico de astas enteras.

Somos conscientes de que las piezas aquí documentadas son escasas, y no procedentes de excavaciones arqueológicas; por ello futuros trabajos experimentales podrán aportar criterios claros de tipología cornual.

AGRADECIMIENTOS

El autor debe expresar su más sincero agradecimiento al Dr. Jordi Nadal Lorenzo, Profesor Titular de Prehistoria, *Universitat* de Barcelona (España), por sus valiosos comentarios en la redacción de algunas partes de este artículo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Armitage, P.L.

1972. Post-medieval cattle horn cores from the Greyfriars site, Chichester, West Sussex, England. *Circaea* 7(2): 81-90

Armitage, P.L.; Clutton-Brock, J.

1976. A system for classification and description of the horn cores of cattle from archaeological sites. *Journal of Archaeological Science* 3(4): 329-348

Bela-Pereira, A.; D. Caramelli; C. Lalueza-Fox; C. Vernesi; N.Ferrand; A. Casoli; F. Goyache; L.J. Royo; S. Conti; M.Lari; A. Martini; L. Ouragh; A. Magid; A. Atash; A. Zsolnai; P.Boscato; C. Triantaphylidis; K. Ploumi; L. Sineo; F. Mallegni; P. Taberlet; G. Erhardt; L. Sanpietro; J. Bertranpetit; G. Barbujani; G. Luikart; G. Bertorelle.

2006. The origin of European cattle: Evidence from modern and ancient DNA. *PNAS* 103: 8113-8117

Cardillo, M.

2005. Explorando la variación en las morfologías líticas a partir de la técnica de análisis de contornos. *Rev. Werken* 7: 77-88

Cymbron, T.; A.R. Freeman; M.I. Malheiro; J-D. Vigne; D.G. Bradley.

2005. Microsatellite diversity suggests different histories for Mediterranean and Northern European cattle populations. *Proceedings of The Royal Society of Biological Sciences* 272: 1837-1843

Driesch, A. von den.

1976. A Guide to the Measurement of Animal Bones from Archaeological Sites. *Peabody Museum Bull.* 1: 1-137

Edwards, C.J.; R. Bollongino; A. Scheu; A.Chamberlain; A. Tresset; J-D. Vigne; J.F. Baird; G. Larson; S.Y.W. Ho; T.H. Heupink; B. Shapiro; A.R. Freeman; M.G. Thomas; R-M. Arbogast; B. Arndt; L. Bartosiewicz; N. Benecke; M. Budja; L. Chaix; A.M. Choyke; E. Coqueugniot; H.J. Döhle; H. Göldner; S. Hartz; D. Helmer; B. Herzig; H. Hongo; M. Mashkour; M. Özdoğan; E. Pucher; G. Roth; S. Schade-Lindig; U. Schmölcke; R.J. Schulting; E. Stephan; H-P. Uerpmann; I. Vörös; B. Voytek; D.G. Bradley; J. Burger.

2007. Mitochondrial DNA analysis shows a Near Eastern Neolithic origin for domestic cattle and no indication of domestication of European aurochs. *Proceedings of The Royal Society of Biological Sciences* 274: 1377-1385

Gilbert, A.S.

1988. Zooarchaeological Observations on the Slaughterhouse of Meketre. *The Journal of Egyptian Archaeology*, 74: 69-89

Green, R.E. et al.

2010. A Draft Sequence of the Neandertal Genome. *Science* 328: 710-722

Hammer, Ø.; D.A.T. Harper; P. D. Ryan

2001. PAST. Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis v. 1.94b. *Palaeontologia Electronica* 4 (1)

Hammer, Ø.; D.A.T. Harper

2006. *Paleontological Data Analysis*. Blackwell. USA

- Hurth, E., S. Montuire; M. Schmittbuhl; J.-M. Le Minor; A. Schaaf; L. Viriot; J. Chaline
2003. Examination of the tooth morphospace of three *Mimomys* lineages (Arvicolinae, Rodentia) by elliptical Fourier methods. *Coloquios de Paleontología* Vol. Ext. 1: 325-334
- Iwata, H.; Y. Ukai
2002. SHAPE: A computer package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. *Journal of Heredity* 93: 384-385
- Pellecchia, M.; R. Negrini, R.; L. Colli ; M. Patrini; E. Milanesi; A. Achilli; G. Bertorelle; L.L. Cavalli-Sforza; A. Piazza; A. Torrini; P. Ajmone-Marsan.
2007. The mystery of Etruscan origins: novel clues from *Bos taurus* mitochondrial DNA. *Proceedings of The Royal Society of Biological Sciences* 274: 1175-1179
- Rohlf, F. J.
1990. Fitting Curves to outlines. *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*. Special Publication 2: 167-178
- Schmittbuhl, M.; J.M. Le Minor; F. Taroni; P. Mangin
2001. Sexual dimorphism of the human mandible: demonstration by elliptical Fourier analysis. *Int. J. Legal. Med.* 115: 100-101
- Sisson, S; Grossman, J.D.
1982. *Anatomía de los Animales Domésticos*. Vol. I. Salvat Editores. Barcelona
- Sykes, N.; Symmons, R.
2007. Sexing cattle horn-cores: problems and progress. *International Journal of Osteoarchaeology* 17 (5): 514 – 523