

# MARCADAS ASIMETRÍAS CRANEALES EN EL CABALLO ARAUCANO DE COLOMBIA

## HIGH SKULL ASIMMETRIES IN ARAUCAN HORSE FROM COLOMBIA

Parés-Casanova P.M.<sup>1\*</sup>, Muñoz F.A.<sup>2</sup>, Blanco C.<sup>2</sup>, Cala D.<sup>2</sup>,  
Alejandro-Crosby R.<sup>2</sup>, Salamanca-Carreño A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departament de Ciència Animal. Universitat de Lleida. Av. Alcalde Rovira Roure, 191. E-25198 Lleida (Cataluña, España).

\*peremiquelp@ca.udl.cat.

<sup>2</sup>Grupo de Investigaciones los Araucos. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Cooperativa de Colombia. Arauca, Colombia.

---

**Keywords:** Directional asymmetry; Fluctuating asymmetry; Cranium; Development instability; Geometric morphometrics.

**Palabras clave:** Asimetría direccional; Asimetría fluctuante; Cráneo; Inestabilidad del desarrollo; Morfometría geométrica.

---

### ABSTRACT

Fluctuating asymmetry (FA) is defined as the deviation of an individual from their perfect bilateral symmetry, and is considered a negative indicator in the ability to resist small anomalies in the development. These abnormalities are usually the result of genetic or environmental stress. In the present study, we studied by means of 2-D geometric morphometric techniques a sample of 20 skulls of adult horses belonging to Araucan breed (Colombia), a saddle horse which thrives under natural environment and managed under extensive conditions. It was obtained a digital photograph of dorsal aspect of each specimen, on which 7 paired and homologous landmarks were subsequently located. There appeared a significant presence of FA, which could be explained as a response to stress, probably due to extreme environmental pressures and/or management.

---

### RESUMEN

La asimetría fluctuante (AF) se define como la desviación en un individuo de su simetría bilateral perfecta, y se considera un indicador negativo en la capacidad de resistir pequeñas anomalías en el desarrollo, anomalías que son generalmente el resultado de estrés genético o ambiental. En el presente estudio, se analizó por métodos de morfometría geométrica 2-D una muestra de 20 cráneos de caballos adultos pertenecientes a la raza Araucana (Colombia), una raza de silla de vida temperal y manejo extensivo. Se obtuvo una fotografía digital en proyección dorsal de cada espécimen, sobre el cual posteriormente se ubicaron 7 pares especulares de puntos de referencia, homólogos entre ellos. Se detectó la presencia significativa de AF, que podría explicarse como una respuesta al estrés, probablemente derivada de estar esta raza sometida a presiones ambientales y/o de manejo extremos.

---

### INTRODUCCIÓN

La mayoría de los animales presentan un plan corporal que es simétrico, por lo menos externamente (Briones & Guíñez, 2008). Pero los organismos pueden desviarse de la configuración simétrica esperada y desarrollar algún tipo de asimetrías, entre las que destacan la asimetría fluctuante (AF), la asimetría direccional y la antisimetría (Graham *et al.*, 1993). La AF se define como la desviación de la simetría de un individuo de la perfecta simetría bilateral, y se considera un indicador negativo de la capacidad de resistir pequeñas anomalías en su desarrollo, anomalías que

son generalmente el resultado de estrés genético o ambiental (Graham *et al.*, 2010). Así, una expresión elevada en la AF pueda interpretarse como el efecto de perturbaciones ambientales, perturbaciones que debilitan la estabilidad del desarrollo (Tuyttens *et al.*, 2005). Asimismo se puede presumir que poblaciones con baja heterocigosidades o menor riqueza alélica van a presentar una mayor AF en comparación con las poblaciones genéticamente más heterogéneas (Carter *et al.*, 2009). El objetivo del presente estudio fue analizar la AF a nivel craneal del caballo Araucano, con el fin de detectar posibles inestabilidades en su desarrollo (Alados *et al.*, 2001). Este caballo, que se usa como montura para el faenado del ganado, se cría en los llanos de la sabana inundable de Arauca (N Colombia), en un régimen totalmente temperal, recibiendo muy pocos cuidados en el plano profiláctico.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

En el presente estudio, se analizaron 20 cráneos de caballo Araucano de Colombia, procedentes de la Universidad Cooperativa de Colombia en Arauca (Colombia).

### *Obtención de variables morfométricas*

La morfología del cráneo fue estudiada mediante el registro de coordenadas cartesianas de 14 puntos de referencia bilaterales, en fotografías digitales en el plano dorsal. Se seleccionaron únicamente puntos de referencia de tipo 1 con el fin de minimizar el error de observación, ya que estos pueden ser ubicados de manera más consistente que los de tipo 2 o 3 (este aspecto es de fundamental importancia en el estudio de la AF). El registro de coordenadas sobre cada imagen fue realizado con doble réplica a ciegas por el primer autor utilizando el paquete TpsDig v. 2.26 (Rohlf, 2016). El tratamiento de los datos cartesianos se efectuó mediante técnicas de la morfometría geométrica 2-D. La variación de la forma de los especímenes con el espacio tangente se analizó con el programa TpsSmall v. 1.33 (Rohlf, 2015). Se utilizó el método de Superposición Procrustes Generalizado para alinear las configuraciones de puntos de referencia y de este modo eliminar la información sobre tamaño, posición y orientación original de las coordenadas cartesianas (Adams *et al.*, 2013). La forma pura en este contexto quedó definida pues como la información que quedaba en el conjunto de coordenadas después que estos parámetros hubiesen sido retirados (Rohlf, 2005).

### *Análisis preliminares*

La cuantificación de la AF es altamente sensible al error de medición (EM) debido a que las desviaciones de la simetría son en general pequeñas y típicamente de similar magnitud que el EM (Graham *et al.*, 2010). Así, la AF fue evaluada mediante el contraste individuo\*lateralidad contra la variación residual, la cual se consideró como una estimación del EM. Los análisis siguientes se realizaron con el promedio de los valores Procrustes para cada espécimen. Se efectuó un análisis de componentes principales para detectar las variables más discriminantes y finalmente se procedió al estudio de la regresión entre el tamaño de centroide, logarítmicamente transformado, como variable independiente, como expresión del tamaño del espécimen (Zelditch *et al.*, 2004) y las coordenadas Procrustes  $x$  e  $y$  de cada punto de referencia como variables dependientes (Webster & Sheets, 2010). Todos estos análisis se realizaron mediante el paquete MorphoJ v. 1.06d (Klingenberg, 2011).

### *Consideraciones éticas*

No fue considerada ninguna solicitud de aprobación ética puesto que se trabajó con cráneos ya recolectados con otros fines de investigación y exposición, o bien localizados en el campo. No se tuvo en cuenta el sexo de los animales, pero sí que las piezas estuviesen en suficiente buen estado para su estudio.

## RESULTADOS

### Análisis preliminares

El análisis de los datos usando el paquete TpsSmall indicó una correlación excelente entre la tangente y el espacio de la forma, siendo la correlación no centrada entre la regresión del espacio tangente,  $Y$ , y la distancia Procrustes (distancias geodésicas en radianes,  $X=0,37387$ ) un valor de 0,9999. Ello confirmó que las muestras podían ser analizadas por morfometría geométrica. Los resultados del ANOVA Procrustes se resumen en la tabla I La AF (interacción individuo\*lado) resultó significativa, siendo además la variación debida a AF mayor que la debida al error de medición.

**Tabla I.** ANOVA Procrustes. La AF (interacción individuo\*lado) resultó significativa, siendo la variación debida a AF mayor que la debida al error de medición (*ANOVA Procrustes. Fluctuating asymmetry (interaction individual\*side) appeared significant and its variation was bigger than measurement error*).

| Efecto                     | SC       | CM          | g.l. | F    | P      |
|----------------------------|----------|-------------|------|------|--------|
| Individuo                  | 0,049117 | 0,000204652 | 240  | 5,77 | <.0001 |
| Interacción individuo*lado | 0,008511 | 3,54605E-05 | 240  | 3,12 | <.0001 |
| Error de medición          | 0,005462 | 1,13782E-05 | 480  |      |        |

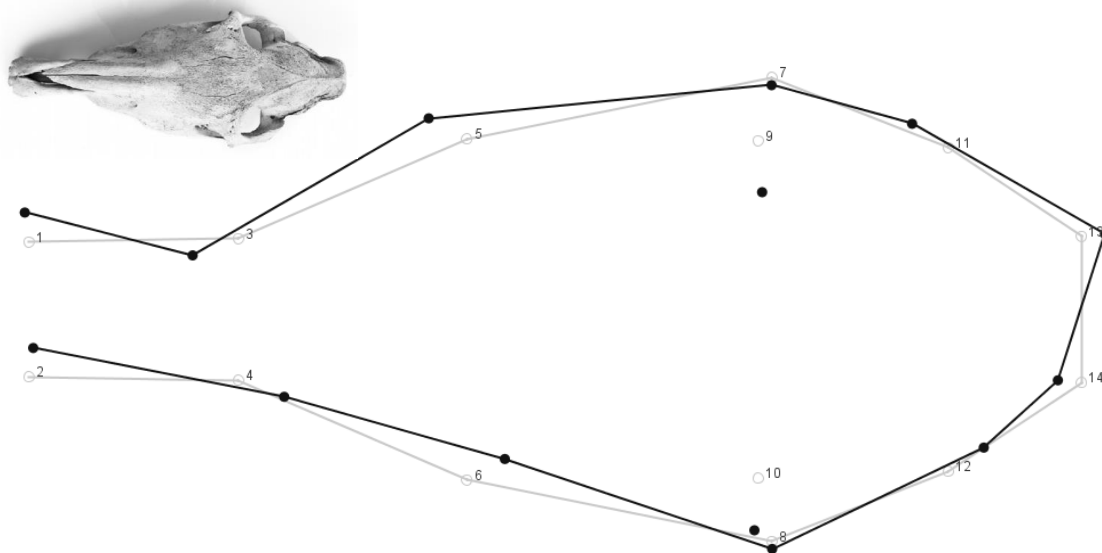
SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; g.l.: grados de libertad; F: valor del estadístico  $F$ .

### Comparación de la configuración espacial de la AF

El primer componente principal, que explicó el 49,5% de la varianza total observada, se centró en el viscerocráneo (figura 1).

### Análisis de regresión

La forma apareció como independiente del tamaño ( $p=0,488$ ), que explicaba únicamente un 4,39% del cambio detectado; o sea, que la AF no aumenta durante la ontogenia.



**Figura 1.** Gráfico de deformación, en el plano dorsal, de los ejemplares estudiados obtenido a partir del componente asimétrico. En claro se representa la forma pura consenso y en oscuro, la variación en forma pura correspondiente al extremo positivo del primer componente principal (49,5% de la varianza total observada). Los cambios se manifestaron sobretudo en el viscerocráneo (puntos de referencia 1 a 6) (*Deformation grid of studied specimens, on their dorsal aspect, for*

*asymmetric component. Clear lines represent the consensus form, while dark ones represent the shape variation corresponding to positive extreme on first principal component (49.5% of total observed variance). There appeared change mainly on splanchnocranium (landmarks 1 to 6).*

## DISCUSIÓN

Son muchos los autores que sugieren que la combinación de múltiples rasgos de simetría bilateral en una muestra aumenta la posibilidad de detectar asimetría en un individuo y la potencia estadística de las comparaciones entre muestras (Klingenberg et al., 2002; de Coster et al., 2013; Klingenberg, 2015). En este sentido, el empleo de técnicas de morfometría geométrica ha permitido registrar y analizar conjuntos de rasgos de manera simultánea manteniendo la configuración espacial del cráneo en el caballo Araucano. Los resultados obtenidos en los análisis preliminares indicaron que el error de medición es bajo en relación a la magnitud de la AF. En consecuencia, para este estudio, en el que el tamaño de la muestra estaba limitado por el tema de localizar en el campo cráneos, la relación entre número de individuos y doble repetición resultó adecuada para obtener estimaciones confiables de la AF (Klingenberg, 2015). Entonces, considerando la AF obtenida como un biomonitor adecuado para identificar poblaciones sometidas a presiones ambientales o de otro tipo (Cocilovo et al., 2006; Angelopoulou et al., 2009; Alados et al., 2001), puede decirse que el caballo Araucano ha sido sometido a factores de estrés ambiental, tales como: temperatura, nutrición y manejo, y quizás también contaminación ambiental y estructura del hábitat (Alados et al., 2001; Angelopoulou et al., 2009; de Coster et al., 2013). En futuros estudios de razas domésticas, en general, sería relevante incorporar la búsqueda de fenómenos de asimetría fluctuante (y por ende de inestabilidad del desarrollo), dilucidando a la vez si la expresión genética varía por las condiciones ambientales.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen los ganaderos locales por habernos facilitado la localización y acceso a los esqueletos de sus fincas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adams, D. C., Rohlf, F. J., & Slice, D. E. (2013). A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix*, 24(1), 7–14. <http://doi.org/10.4404/hystrix-24.1-6283>
- Alados, C. L., Navarro, T., Escós, J., Cabezedo, B., & Emlen, J. M. (2001). Stress-Adapted and Nonadapted Plants. *International Journal of Plant Science*, 162(3), 607–616.
- Angelopoulou, M. V., Vlachou, V., & Halazonetis, D. J. (2009). Fluctuating molar asymmetry in relation to environmental radioactivity. *Archives of Oral Biology*, 54(7), 666–670. <http://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2009.04.008>
- Briones, C., & Guíñez, R. (2008). Una revisión de la asimetría bilateral en bivalvos. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43(1), 1–6. Retrieved from [internal-pdf://8.13.245.216/Briones & Guíñez 2008.pdf%5Cn%3CGo to ISI%3E://WOS:000258785600001](http://internal-pdf://8.13.245.216/Briones%20&%20Guíñez%202008.pdf%5Cn%3CGo%20to%20ISI%3E://WOS:000258785600001)
- Carter, A. J. R., Osborne, E., & Houle, D. (2009). Heritability of Directional Asymmetry in *Drosophila melanogaster*. *International Journal of Evolutionary Biology*, 1–7. <http://doi.org/10.4061/2009/759159>
- Cocilovo, J. A., Varela, H. H., & Quevedo, S. (2006). La asimetría bilateral y la inestabilidad del desarrollo. *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 8(1), 121–144.
- de Coster, G., van Dongen, S., Malaki, P., Muchane, M., Alcántara-Exposito, A., Matheve, H., & Lens, L. (2013). Fluctuating Asymmetry and Environmental Stress: Understanding the Role of Trait History. *PLoS ONE*, 8(3), 1–9. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0057966>
- Graham, J. H., Freeman, D. C., & Emlen, J. M. (1993). Antisymmetry, directional asymmetry, and dynamic morphogenesis. *Genetica*, 89(1–3), 121–137. <http://doi.org/10.1007/BF02424509>
- Graham, J. H., Raz, S., Hel-Or, H., & Nevo, E. (2010). Fluctuating asymmetry: Methods, theory, and applications. *Symmetry*, 2(2), 466–540. <http://doi.org/10.3390/sym2020466>

- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 353–357. <http://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>
- Klingenberg, C. P. (2015). Analyzing Fluctuating Asymmetry with Geometric Morphometrics: Concepts, Methods, and Applications. *Symmetry*, 7, 843–934. <http://doi.org/10.3390/sym7020843>
- Klingenberg, C. P., Barluenga, M., & Meyer, A. (2002). Shape analysis of symmetric structures: Quantifying variation among individuals and asymmetry. *Evolution*, 56(10), 1909–1920. <http://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2002.tb00117.x>
- Rohlf, F. J. (2005). Geometric morphometrics simplified. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(1), 13–14. <http://doi.org/10.1016/j.tree.2004.08.005>
- Rohlf, F. J. (2015). TpsSmall v. 1.33. <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>. Retrieved from <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>.
- Rohlf, F. J. (2016). tpsDig v. 2.26. <http://life.bio.sunysb.edu/morph/index.html>. Retrieved from <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>
- Tuytens, F. A. M., Maertens, L., Van Poucke, E., Van Nuffel, A., Debeuckelaere, S., Creve, J., & Lens, L. (2005). Measuring fluctuating asymmetry in fattening rabbits: a valid indicator of performance and housing quality? *Journal of Animal Science*, 83(11), 2645–2652.
- Webster, M., & Sheets, H. D. (2010). A practical introduction to landmark-based geometric morphometrics. *The Palaeontological Society Papers*, 16, 163–188.
- Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., & Sheets, H. D. (2004). *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. Boston, MA : Elsevier Academic Press. Retrieved from [http://catalog.udl.cat/record=b1279303~S11\\*cat](http://catalog.udl.cat/record=b1279303~S11*cat).