

Contribución de la Morfometría Geométrica a la Estimación del Dimorfismo Sexual en Población Chilena Actual.

Rodrigo Retamal Yermani y Germán Manríquez Soto.

Cita:

Rodrigo Retamal Yermani y Germán Manríquez Soto (2004).
Contribución de la Morfometría Geométrica a la Estimación del Dimorfismo Sexual en Población Chilena Actual. V Congreso Chileno de Antropología. Colegio de Antropólogos de Chile A. G, San Felipe.

Dirección estable: <https://www.aacademica.org/v.congreso.chileno.de.antropologia/126>

ARK: <https://n2t.net/ark:/13683/evNx/pkw>

Notas

¹ Datum provisorio sudamericano 1956.

Bibliografía

BEHRENSMEYER, A. K. 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology* 4:150-162.
BINFORD, L. 1981. *Bones: Ancient man and modern myths*. Academic Press, New York.

MORSE, D., J. DUNCAN y J. STOUTAMIRE 1983. *Handbook of Forensic Archaeology and Anthropology*. Rose Printing Co., Tallahassee, Florida
HAYNES, G. 1983. A guide for differentiating mammalian carnivore taxa responsible for gnaw damage to herbivore limb bones. *Paleobiology* 9: 164-172.
LYMAN, R. 1994. *Vertebrate Taphonomy*. Cambridge University Press. Oxford, England
MARTIN, F. 2002. La Marca del Zorro. Cerro Johnny, un Caso Arqueológico de Carroñeo Sobre un Esqueleto Humano. *Anales Instituto Patagonia, Serie Cs. Hs.* (Chile) 30:133-146. Punta Arenas

Contribución de la Morfometría Geométrica a la Estimación del Dimorfismo Sexual en Población Chilena Actual¹

Rodrigo Retamal Yermani*, Germán Manríquez Soto**

Resumen

Se estudió el efecto del Dimorfismo Sexual sobre la morfología craneal humana utilizando las nuevas técnicas de la morfometría geométrica de dos dimensiones (análisis de Procrustes) en una población esquelética chilena subactual de sexo conocido (n=131), en vistas frontal y lateral izquierda.

Los resultados mostraron diferencias significativas entre ambos sexos en vista frontal (λ Wilks: 0.157; p: 0.011), recogidos por el primer componente principal de la forma (RW1: 26,33% de la varianza total). La función de placa delgada (*thin-plate spline*) muestra que las principales variaciones morfológicas entre ambos sexos se expresan en contracciones en sentido vertical y expansión en sentido horizontal de la escama frontal y de expansión en sentido vertical y horizontal de la región facial para el sexo masculino, en tanto que las mujeres presentan escamas frontales expandidas verticalmente y contraídas horizontalmente y caras contraídas tanto vertical como horizontalmente. La variable tamaño mostró valores significativos para vista lateral.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la contribución de la técnica de la morfometría geométrica al estudio morfológico de la población chilena subactual está

relacionada con la visualización directa del patrón de variación de la forma del cráneo y con la partición de los componentes lineales y geométricos.

Introducción

La investigación dentro de las ciencias forenses incorpora actualmente distintas ramas del quehacer científico que enriquecen el trabajo con técnicas avanzadas para la resolución de los más variados casos. Dentro de esta disciplina, el área de la identificación de restos humanos, en su mayoría correspondientes a restos total o parcialmente eskeletonizados, basa gran parte de su investigación de los avances científicos de la Antropología Física, rama dedicada al estudio de la variabilidad biológica humana. Por más de una centuria², esta ciencia ha utilizado métodos que analizan la variabilidad morfológica de la especie humana, a partir de la medición lineal de las distancias o ángulos entre hitos anatómicos u otros puntos que supuestamente son relevantes para la definición de la forma de los objetos biológicos.

* Antropólogo Físico. rodrigoretamal@yahoo.com

** Programa Genética Humana, Instituto de Ciencias Biomédicas, Facultad de Medicina. gmanriq@med.uchile.cl

Esta técnica ha sido ampliamente utilizada durante todo el siglo XX y aun continua en vigencia para muchos investigadores que indagan sobre la variación de la forma de los objetos biológicos, a pesar del profundo debate en torno a su precisión³.

Uno de los problemas fundamentales de las técnicas morfométricas tradicionales es la dependencia con el tamaño del objeto estudiado⁴. Para ello se emplearon factores de corrección del tamaño, con el fin de disminuir el efecto que éste provocaba en los análisis de variación de la forma. Sin embargo, el empleo de estos factores de corrección puede dar resultados muy diferentes para un mismo análisis⁵.

Otro problema presente en esta técnica es que la homología de las distancias lineales es muy difícil de precisar, ya que no se emplean puntos homólogos, sino distancias entre hitos (p.e. anchos mínimos y máximos), que reduce la información morfológica contenida en los objetos biológicos. Es decir, las técnicas de análisis lineales no dan cuenta de la forma de los objetos analizados, al contemplar distancias entre hitos y no la geometría que existe entre ellos. Esto se puede ejemplificar al medir el largo y ancho máximo de una gota de agua y de un óvalo, en tanto que los dos objetos posean medidas idénticas y sin embargo, ser absolutamente diferentes morfológicamente⁶.

Por último, el uso de las técnicas de morfometría lineal no permite generar representaciones gráficas de la forma, debido a que no se conservan las relaciones geométricas de los objetos analizados.

En la actualidad, el surgimiento de una nueva técnica, conocida como morfometría geométrica (MG), al parecer supera las dificultades de la morfometría lineal y ha generado una verdadera revolución⁷ dentro del estudio de la variación de la forma.

A diferencia de la morfometría lineal o clásica, la morfometría geométrica (MG) captura la forma geométrica de los objetos biológicos, junto con incorporar análisis estadísticos multivariados y funciones de visualización de la variación de los componentes de la forma, que refuerzan la capacidad predictiva de las investigaciones que utilizan estos métodos.

Es posible que el uso de esta herramienta pueda dar nuevas luces para temas dentro de la Antropología Física y que su uso se integre dentro del quehacer forense, con el fin de servir de complemento a los análisis realizados durante las pericias forenses, junto con abrir el paso a nuevas interrogantes que enriquezcan la investigación.

En el presente trabajo se analiza mediante esta técnica, la expresión del dimorfismo sexual (diferencias morfológicas entre hombres y mujeres⁸), en vistas frontales de cráneos de una población chilena subactual de edad y sexo conocido, como ejemplo de las potencialidades que puede tener dentro de la determinación del sexo en contextos médico-legales. Análisis relativos al dimorfismo sexual en cráneos humanos han sido ampliamente desarrollados mediante técnicas morfométricas lineales y geométricas, los cuales indistintamente arrojan diferencias estadísticamente significativas entre cráneos masculinos y femeninos⁹.

Material y métodos

Se utilizó una muestra esquelética de la colección Cementerio General (n=131), depositados en la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile, correspondiente a individuos de sexo y edad conocidos, pertenecientes a contextos subactuales, considerada representativa de población chilena mestiza. De esta colección se seleccionó un número equitativo de esqueletos femeninos y masculinos (22 femeninos y 23 masculinos), que tuvieran ambos apellidos españoles, con el fin de poseer mayor homogeneidad fenotípica y que no presentaran patologías craneanas.

En la presente investigación se aplicaron análisis derivados de la morfometría geométrica (MG), moderna área dentro de la biometría, que analiza estadísticamente la covarianza entre la forma y los factores causales que la modifican¹⁰. Esta nueva técnica ha logrado resolver varios de los problemas pertenecientes a la morfología lineal o clásica, que se basaba en la aplicación de análisis estadísticos multivariados a un conjunto de variables métricas (distancia entre hitos anatómicos, ángulos y radios).

Uno de sus principales objetivos es la descripción de la diversidad de los objetos biológicos y la búsqueda de explicaciones causales a su variación en tamaño y forma¹¹. En sentido extenso, esta nueva disciplina biométrica se ocupa de los métodos que permiten la descripción, partición y análisis de la variación de la forma en poblaciones de organismos, independientemente de las variaciones de tamaño y en relación a factores tales como el crecimiento, el tratamiento experimental y/o la evolución de un grupo finito de organismos¹².

Las propiedades de la MG que hacen de ella una herramienta útil para el estudio de la variación de la forma son, en primer lugar, el empleo de matrices de hitos de coordenadas como dato primario. Las matrices de

morfocoordenadas recuperan la información espacial de dos o tres dimensiones propia de los objetos biológicos: hitos homólogos (*landmarks*) contenidos en matrices de morfocoordenadas bi- o tridimensionales, o bien contornos (*outlines*) definidos por secuencias continuas de códigos o de coordenadas. En segundo lugar, el análisis de las configuraciones de estos hitos extrae las diferencias debidas a escala, rotación y traslación, recuperando la información espacial contenida en las estructuras a comparar, junto con permitir la representación visual de los cambios de la forma en su sentido geométrico original, así como el análisis numérico y estadístico de dichos cambios, aumentando significativamente el valor predictivo de los resultados y las conclusiones a los que llega el investigador.

Para llevar a cabo la ejecución del Programa de Investigación sugerido por la MG, se realizaron los siguientes pasos: Los cráneos fueron relevados fotográficamente en norma anatómica frontal en condiciones de luminosidad y distancia homogénea, siguiendo el plano de Frankfurt, con una cámara digital *Fuji FinePix 6900*, a 1.3 Mb de resolución. Las fotografías fueron relevadas en escala de grises y posteriormente a su obtención se rotularon y editaron computacionalmente.

En la etapa de obtención del dato primario se definieron, a partir del relevamiento fotográfico, 16 hitos anatómicos homólogos para la vista frontal (Figura 1).

Para poner a prueba el error de digitalización del investigador, se realizaron pruebas de confianza. La figura 2 muestra como ejemplo, la prueba de confianza realizada en esta investigación para mujeres de Cementerio General. La nube de puntos (dentro del cuadrado) a la dere-

cha del gráfico de dispersión muestra la convergencia de las digitalizaciones sobre un mismo espécimen, indicador de la menor varianza intrapoblacional (*repeats*), al compararla con la varianza interpoblacional.

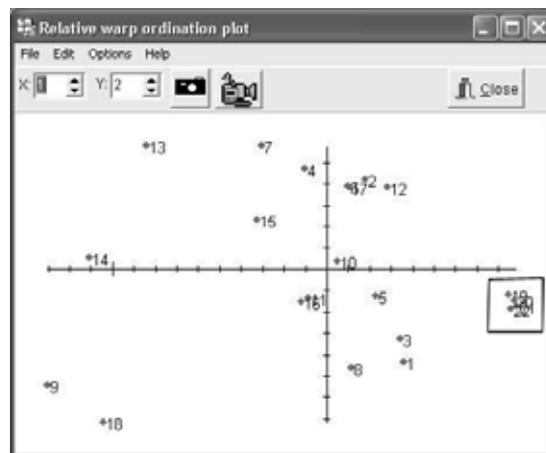


Figura 2: Prueba de confianza. El cuadrado indica la digitalización repetida de la misma imagen, que se separa del resto de la nube de puntos.

La puesta a prueba de las hipótesis nulas de ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre grupos se realizó mediante análisis multivariado para datos 2D (ANOVA de una y dos vías, MANOVA, regresión múltiple multivariada y análisis discriminante). Los estadígrafos empleados son λ de Wilks y F de Goodall, aceptando su significancia bajo el 5% (0.05) de probabilidad de efecto del azar. Las variables independientes sometidas a prueba en esta investigación son sexo y tamaño del centroide.

Se consideró dentro de las variables dependientes de la forma, la variación total de la forma y el componente no uniforme (variación local de la forma), cada uno analizado independientemente. También se realizaron análisis discriminantes con los componentes de la forma para comprobar la robustez de los análisis confirmatorios. Los programas empleados en este estudio pertenecen a la serie tps¹³. Los análisis discriminante fueron realizados mediante el programa STATISTICA¹⁴.

Nº	Hito anatómico (<i>landmark</i>)	Tipo
1	Punto de máxima curvatura de la bóveda	III
2	Eminencia parietal	III
3	Sutura lateral de la apófisis fronto-malar	I
4	Cigion	I
5	Sutura lateral malar-maxilar	I
6	Sutura medial malar-maxilar	I
7	Punto más superior del agujero infraorbitario	II
8	Punto más distal del septo alveolar entre el 2º incisivo y el canino	II
9	Prostion	I
10	Nasoespinal	I
11	Punto más lateral de la fosa nasal	III
12	Nasion	I
13	Glabela	III
14	Punto más superior del agujero supraorbital	II
15	Sutura medial de la apófisis fronto-malar	I
16	Punto de mayor curvatura lateral de la órbita	III

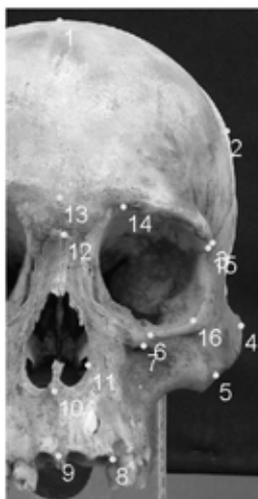


Figura 1. Mapa de homología de hitos anatómicos diseñado para vista frontal.

Los gráficos de dispersión arrojados en los análisis exploratorios fueron mejorados en su presentación utilizando el programa Excel.

Resultados

La siguiente figura muestra la distribución de los cráneos en vista frontal para los dos primeros componentes principales de la variación de la forma ($x = RW1$; $y = RW2$).

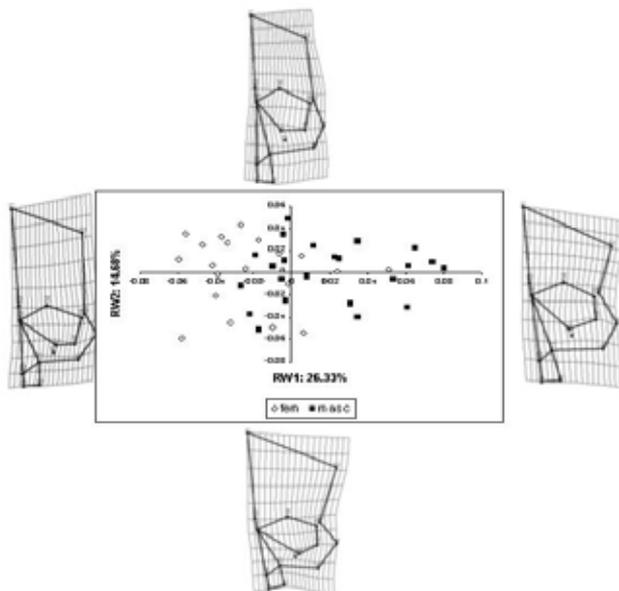


Figura 3. Distribución de los especímenes de Cementerio General en vista frontal. Se incluyen las grillas de torsión con respecto al consenso para cada componente principal ($x10$).

En este gráfico se aprecia claramente la separación por sexo de los especímenes a lo largo del primer componente principal ($RW1$). Las variaciones entre el componente uniforme y no uniforme no fueron significativas. El dimorfismo sexual en esta población se expresa en la escama frontal en el eje cráneo-caudal. Los hombres presentan menor expansión respecto de las mujeres; en la eminencia parietal respecto al plano sagital en el plano transversal. Cráneos masculinos presentan mayor expansión respecto de cráneos femeninos; en cigion respecto al plano sagital en el plano transversal. Cráneos

masculinos presentan mayor expansión respecto de cráneos femeninos, en los hitos en la región facial en el eje cráneo-caudal. Los hombres presentan mayor expansión facial respecto de las mujeres.

La correspondencia entre estas variaciones es la siguiente: La expansión de la escama frontal se asocia con la contracción de la eminencia parietal, la contracción de cigion respecto al plano sagital y la contracción facial en el eje apical-caudal. Este tipo es característico de cráneos femeninos.

Al contrario, la contracción de la escama frontal se asocia con la expansión de la eminencia parietal respecto del plano sagital, la expansión de cigion respecto al plano sagital y la expansión facial en el eje cráneo-caudal. Este tipo es característico de cráneos masculinos.

En cuanto al segundo componente principal ($RW2$), éste no refleja la separación por sexo en la muestra, debido a que explica un bajo porcentaje de la varianza total (14,68%).

Las variaciones reflejadas por el segundo componente principal de la variación de la forma, ocurren en la eminencia parietal, cigion, respecto al plano sagital, órbita respecto al plano sagital, región facial en el eje cráneo-caudal.

La correspondencia entre estas variables es la siguiente: La expansión de la eminencia parietal respecto del plano sagital se asocia con expansión de cigion respecto al plano sagital, expansión transversal de la órbita y contracción facial en el eje cráneo-caudal.

Al contrario, la contracción de la eminencia parietal se asocia con contracción de cigion, de la órbita y de la región facial en el eje cráneo-caudal.

Los análisis estadísticos arrojan valores significativos para variable sexo, en tanto que no lo hace para la variable tamaño (Tabla 1 y 2).

En resumen, los resultados obtenidos de la técnica muestran la robustez del enfoque para discriminar el dimorfismo sexual en el cráneo humano, confirmado ampliamente al utilizar los métodos clásicos.

Tabla 1: Resultados de los análisis de regresión y de funciones discriminantes para la variable sexo.

	λ Wilks	df1, df2	p	F Goodall	df1, df2	p
REGRESION	0.157	28, 16	0.011	4.635	28, 1204	p<0.05
	λ Wilks		p	F Goodall	D.F.	% correcto
AN. DISCR.	0.291		0	5.822	13, 31	91.11

Tabla 2: Resultados de los análisis de regresión para la variable tamaño del centroide.

CSIZE		λ Wilks	df1, df2	P	F Godall	df1, df2	P
CEM GRAL	F	0.436	28, 16	0.767	0.356	28, 1204	0.99

Discusión

Cementerio General presenta con bastante claridad en el gráfico de dispersión, la separación por dimorfismo sexual. De hecho, recuerda la distribución de la curva bimodal a lo largo del primer componente principal de la forma, distribución observada comúnmente cuando se analiza la expresión morfológica del dimorfismo sexual, a partir de variables métricas¹⁵. Esto sugiere fuertemente que el dimorfismo sexual es una de las características más conspicuas dentro de las causas de variación morfológica de la biología, lo que es concordante con lo establecido por otros autores¹⁶.

El tipo femenino presenta expansión vertical de la escama frontal, contracción transversal de las eminencias parietales y contracción vertical y transversal de la región facial, contrariamente al tipo masculino. Es importante hacer notar que las variaciones en sentido transversal del neurocráneo deben acompañarse con variaciones en este mismo sentido en la región facial, para poder establecer separación por sexo, ya que las variaciones ocurridas solamente en el neurocráneo no guardan relación con el dimorfismo sexual, como se observa en el segundo componente principal. Esta característica puede ser útil entonces, para estimar el dimorfismo sexual en cráneos que no hayan sufrido el efecto de la D.C.I. Sobre todo, cabe la posibilidad de analizar la covariación entre diferentes regiones, como por ejemplo, entre la región frontal y facial, en el eje cráneo-caudal, en donde se supone, en base a los resultados obtenidos, que frontales expandidos y caras contraídas son características del sexo femenino; al contrario, frontales contraídos y caras expandidas son características del sexo masculino.

El análisis discriminante es capaz de mostrar la correspondencia entre la variación de la forma y la clasificación por sexo para cada uno de los especímenes sometidos a prueba, o sea, el investigador puede conocer estadísticamente para cada espécimen, si su morfología corresponde a la clasificación antes impuesta. Así, por ejemplo, en el caso hipotético de que se ingrese un cráneo de sexo desconocido a la presente muestra, mediante el análisis exploratorio se ubicará en la nube de puntos, hacia el lado femenino o masculino.

Al realizar luego el análisis discriminante, se confirmará a qué sexo pertenece, debido a que este análisis revisa caso por caso la pertenencia (*matching*) de cada espécimen con el sexo estimado. Hay que recordar que el gráfico de dispersión que se observa, representa solamente los primeros dos componentes principales de la variación de la forma (41% de la varianza total) y que el análisis de regresión analiza todos los componentes principales y en el caso específico del análisis discriminante, los que representen el 90% de la varianza total de la forma, en caso de que un cráneo quede ubicado en una posición intermedia en el gráfico de dispersión para los dos primeros componentes principales.

Este tipo de análisis puede ser útil dentro de la identificación forense, que investiga restos óseos de individuos anónimos, en donde se necesita premura y solidez de los análisis para una pronta entrega a los familiares de las víctimas.

Se debe tener en cuenta, de todos modos, la homogeneidad de la población, con el fin de no ingresar en el análisis otras variables como la etnicidad. Lo anterior puede ser resuelto incorporando muestras de diversos segmentos poblacionales (regional, sociales, por ejemplo), que integren la diversidad de nuestro país y su correspondiente variabilidad y dinámica morfológica.

Mayores investigaciones al respecto pueden ser capaces de implementar análisis morfométricos geométricos que utilicen fragmentos craneales, mediante la utilización de *semilandmarks* (*landmarks* que definen un contorno) o *pseudolandmarks* (*landmarks* ubicados entre dos hitos anatómicos)¹⁷.

Conclusiones

Las vistas frontales de cráneos, ofrecen indicadores morfológicos conspicuos para el análisis del dimorfismo sexual. En conjunto con lo anterior, la utilización de técnicas morfométricas geométricas en conjunto con análisis estadísticos apropiados para estas vistas, con el fin de determinar el dimorfismo sexual de la población y en cada individuo en particular, puede convertirse en un valioso apoyo a la investigación dentro de estudios de identificación de osamentas humanas, dentro de contextos forenses. Probablemente mayores investigaciones logren los mismos resultados que la presente investigación, para fragmentos craneales.

Notas

¹ Investigación realizada con financiamiento parcial del proyecto FONDECYT 1020375.

² Cuvier, 1800.

³ Adams *et al.*, 2003.

⁴ Bookstein, 1991.

⁵ Adams *op. cit.*

⁶ Adams *op. cit.*

⁷ Rohlf y Marcus, 1993.

⁸ Pucciarelli *et al.* 1996.

⁹ Airtón y Segre, 2003; Howells, 1957, 1973, Hrdlicka, 1950, Keen, 1950; Lee y Pearson, 1901, Plavcan, 1994; Rosas y Bastir, 2002; Sáez y Manríquez, ms; Wood y Lynch, 1996, entre muchos otros.

¹⁰ Bookstein, *op. cit.*

¹¹ Pigiucci y Schlichting, 1998.

¹² Rohlf y Marcus, *op. cit.*

¹³ State University of New York, Stony Brook, NY, *on line* <http://life.bio.sunysb.edu/morph>

¹⁴ v. 4.5 Statsoft inc. 1993.

¹⁵ White, 1991.

¹⁶ Hanken y Hall, 1993; Plavcan, 1994; Word y Lynch, 1996.

¹⁷ Bookstein *et al.*, 1999; Sáez y Manríquez, ms.

Bibliografía

ADAMS, D. C., ROHLF, F. J., SLICE, D. E., 2003 Geometric Morphometrics: Ten Years of Progress Following the 'Revolution' *Italian Journal of Zoology*.
AIRTÓN, L. y SEGRE, M. 2003 Sexing the human skull through the mastoid process *Rev. Hosp. Clín. Fac. Med. S. Paulo* 58: 15-20
BOOKSTEIN, F. 1991 *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge University Press, Cambridge.

BOOKSTEIN, F., SCHÄFER, K., PROSSINGER, H., SEIDLER, H., FIEDER, M., STRINGER, C., WEBER, G., ARSUAGA, J., SLICE, D., ROHLF, J., RECHEIS, W., MARIAM, A. y MARCUS, L., 1999 Comparing Frontal Cranial Profiles in Archaic and Modern Homo by Morphometric Analysis *The Anatomical Record (New Anat.)* 375:217-224, 1999.

CUVIER, G. (1800) Instrucciones sobre las investigaciones a realizar en torno a las diferencias anatómicas entre las varias razas humanas. En *La ciencia del hombre en el siglo XVIII. Selección de textos*. Centro Editor de América Latina, Bs. As., pp.57-61, 1978.

HOWELLS, W. 1957. The cranial vault; factors of size and shape *A.J.P.A.* (N.S.) 15: 19-48.

HOWELLS, W. 1973. Cranial variation in man: A study by multivariate analysis of patterns of difference among recent human populations *Papers of Peabody Museum of Archaeology and Ethnology*, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, 67.

HRDLICKA, A. 1950. Relation of the size of the head and skull to capacity in the two sexes *A.J.P.A.* (S.N.) 8: 65-78.

KEEN, J. A., 1950 A study of the differences between male and female skulls *A.J.P.A.*, 8:65-79, USA.

LEE, A. y PEARSON, K. 1901 A first study of the correlations of the human skull *Phil. Trans. of the Roy. Soc., S.A.* 196:225-264.

PIGLIUCCI, M. y SCHLICHTING, C. 1998 Reaction norms of Arabidopsis. V. Flowering time controls phenotypic architecture in response to nutrient stress *J. Evol. Biol.* 11, 85-301.

PLAVCAN, J. 1994 Comparison of four simple methods for estimating sexual dimorphism in fossils *A.J.P.A.* 94:465-476.

PUCCIARELLI, H. M., R. CARNESE, F. M., GUIMAREY, L. M., 1996 Desnutrición y Dimorfismo Sexual *Ciencia Hoy*, Volumen 6 N°34 1996. Bs. As., Argentina.

ROHLF, J. y MARCUS, L. 1993. A Revolution in Morphometrics *Reprinted from Trends in Ecology and Evolution* Vol. 8, N°4. pp. 129-132

ROSAS, A. y BASTIR, M. 2002 Thin Plate Análisis of Allometry and Sexual Dimorphism in the Human Craniofacial Complex *A.J.P.A.* 117:236-245 (2002)

SAEZ, A. y MANRIQUEZ, G. Efectos del dimorfismo sexual en la variación morfológica de cráneos de la población chilena: análisis de morfometría lineal y morfometría geométrica *manuscrito en preparación*.

WHITE, T., 1991 *Human Osteology*. First Edition Academic Press. San Diego.

WOOD C. y LYNCH J. 1996 Sexual dimorphism in the craniofacial skeleton of modern humans En *Marcus LF, editor. Advances in morphometrics*. New York Plenum Press. p 407-414.