

Morfometría de poblaciones humanas prehistóricas: Una comparación de técnicas tradicionales y geométricas

S. Ivan Perez

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es comparar técnicas derivadas de la morfometría tradicional y geométrica para el análisis de la forma del esqueleto facial a nivel intraespecífico. Como caso de estudio, se analizaron tres muestras diacrónicas de individuos masculinos del Sudeste de la Región Pampeana y dos del Nordeste de Patagonia (Barrientos y Perez 2002). Sobre las variables obtenidas a partir de la aplicación de las distintas técnicas (proporciones, residuos multivariados, residuos Procrustes y deformaciones parciales), se realizaron análisis de componentes principales, correlación producto-momento de Pearson, ANOVA de clasificación única y test post-hoc de la varianza (*Least Significant Difference* o LSD). Se obtuvieron tres conjuntos de resultados representados por: a) los residuos multivariados, b) las proporciones y los residuos Procrustes, y c) las deformaciones parciales. Las diferencias observadas entre tales conjuntos son consistentes con los resultados obtenidos en recientes evaluaciones parciales e independientes de las técnicas utilizadas en este trabajo. Los mismos indican que los residuos multivariados son poco eficientes para separar el componente tamaño del componente forma (Jungers *et al.* 1995), que las proporciones y los residuos Procrustes describen el cambio global de la forma (Jungers *et al.* 1995; Lynch *et al.* 1996), y que las deformaciones parciales proporcionan mayor cantidad de información morfométrica con significado taxonómico ya que describen las diferencias en la posición relativa de cada uno de los *landmarks* considerados en el análisis (Rohlf *et al.* 1996).

ABSTRACT

The aim of this paper is to compare different techniques derived from traditional and geometric morphometrics used to analyze the shape of the cranio-facial skeleton at an intra-specific level. Three diachronic samples belonging to male individuals from the southeastern Pampas were taken as the case study. They belong to the Early/Middle Holocene transition (Ht/m, ca. 8000 to 6000 B.P., n= 4), the Early Late Holocene (Htai, ca. 3000 to 2000 B.P., n= 6), and the Later Late Holocene (Htaf, ca. 1000 to 400 B.P., n= 4) (Barrientos and Perez 2002). The other two samples were taken from the northeast of Patagonia, and although there is no radiometric chronological data, they probably belong to the Late Holocene [e.g. Isla Gama (IG), n= 6 and San Blas (SB), n= 8] (Figure 1 and Table 1). These samples were chosen on the basis that they are currently being used to study the peopling of the southeastern Pampas (Barrientos and Perez 2002). Principal components analyses were performed on the variables obtained by using several statistical techniques (ratios, multivariate residuals, Procrustes residuals and partial warps), Pearson product-moment correlation, one way ANOVA and a variance post hoc test (Least Significant Difference or LSD). Three sets of results were obtained, and they are represented by a) the multivariate residuals, b) the ratios and Procrustes residuals and, finally, c) the partial warps. The differences registered between these sets are consistent with the results obtained in a recent partial evaluation made of the techniques employed in this paper. They indicate that the multivariate residuals are not so efficient for separating the size component from the shape component (Jungers *et al.* 1995), that the ratios and Procrustes residuals describe the global shape change (Jungers *et al.* 1995; Lynch *et al.* 1996), and that the partial warps offer a greater amount of taxonomically meaningful morphometric information, since they describe the differences in the relative position of each landmark considered for the analysis (Rohlf *et al.* 1996).

S. Ivan Perez. División de Antropología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Calle 9 N° 317, Tolosa, La Plata. E-mail: iperez@museo.fcnym.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de la morfometría tradicional, basadas en la aplicación de métodos estadísticos multivariados sobre un conjunto de variables lineales (Rohlf y Marcus 1993), han sido de aplicación corriente a partir de la aparición de las computadoras personales. Recientemente ha surgido una variedad de nuevas técnicas, englobadas dentro de lo que se ha dado en llamar morfometría geométrica (Marcus 1990; Rohlf y Marcus 1993), apropiadas para el estudio estadístico de la variación y covariación de la forma de una estructura (Rohlf 1998a, 2000). El avance fundamental de la morfometría geométrica con respecto a la aproximación tradicional, reside en el desarrollo de técnicas poderosas diseñadas para el análisis de datos de forma, concebida ésta como los atributos de una configuración de coordenadas que resultan invariantes con respecto a los efectos de traslación, rotación y escala geométrica (Rohlf 2000).

La morfometría geométrica ha proporcionado una definición de forma (*shape*) y tamaño (*size*) de una estructura que es más útil y consistente para el estudio de la variación morfológica a nivel subespecífico, que aquella provista por la morfometría tradicional, basada en el análisis multivariado de colecciones escasamente integradas de distancias, ángulos y proporciones (Bookstein 1991; Rohlf 2000). Sin embargo, a pesar de algunas predicciones acerca de su final inminente (*v.g.* Bookstein 1991), recientemente se ha postulado que las distancias entre puntos siguen siendo fuentes importantes de información en el estudio del tamaño y la forma (Jungers *et al.* 1995; Lynch *et al.* 1996).

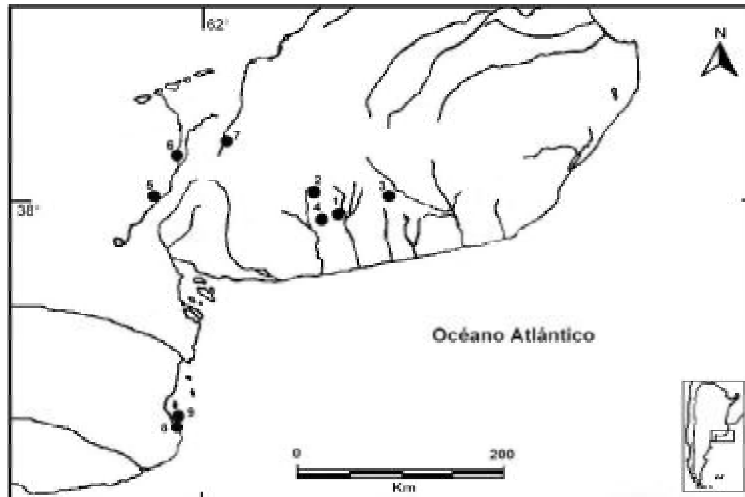


Figura 1. Ubicación de los sitios de los cuales provienen las muestras analizadas. Los números corresponden a los asignados a cada sitio en la Tabla 1.

El objetivo de este trabajo es comparar los resultados obtenidos a partir del análisis de la forma del esqueleto facial de un conjunto de muestras de restos óseos humanos mediante el uso de diferentes técnicas. Para ello se estudiarán dos tipos de variables provenientes de la morfometría tradicional (proporciones y residuos multivariados) y otros dos de la morfometría geométrica [residuos Procrustes y deformaciones parciales (*partial warps*)]. Se espera que a partir de este análisis se obtenga una idea clara de las relaciones entre los resultados de las técnicas morfométricas tradicionales y geométricas, con el fin de facilitar la toma de decisiones respecto de la técnica más apropiada para la discriminación entre muestras del esqueleto craneofacial de restos óseos humanos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para efectuar los análisis se emplearon tres pequeñas muestras diacrónicas de individuos adultos masculinos del Sudeste de la Región Pampeana correspondientes a la transición Holoceno temprano/medio (Ht/m, *ca.* 8000 a 6000 AP., *n*= 4), al Holoceno tardío inicial (Htai, *ca.* 3000 a 2000 A.P, *n*= 6), y al Holoceno tardío final (Htaf, *ca.* 1000 a 400 AP., *n*= 4) (Barrientos y Perez 2002) y dos del Nordeste de Patagonia, sin datos cronológicos radiométricos, pero probablemente pertenecientes al Holoceno tardío [*v.g.* Isla Gama (IG), *n*= 6 y San Blas (SB), *n*= 8] (Figura 1 y Tabla 1). Estas muestras fueron empleadas por su importancia en

Región/Periodo	N°	Sitio/Localidad	N° de casos	Cronología (años ¹⁴ C AP.)	Referencias
Sudeste de la Pampa Holoceno temp./med.	1	Arroyo Seco 2	4	<i>ca.</i> 8000-6000	Barrientos (1997)
Sudeste de la Pampa Holoceno tardío inicial	2	Laguna Tres Reyes 1	3	<i>ca.</i> 2500-2200	Madrid y Barrientos (2000)
	3	Est. Santa Clara	2	?	Lehmann-Nitsche (1910)
	4	Laguna La Larga	1	?	Barrientos (1997)
Sudeste de la Pampa Holoceno tardío final	5	Laguna Los Chilenos 1	3	<i>ca.</i> 500-400	Barrientos (1997)
	6	Saavedra	1	?	Catálogo MLP (s/f)
Nordeste de Patagonia Holoceno tardío	7	San Blas	8	?	Lehmann-Nitsche (1910), Catálogo MLP (s/f)
	8	Isla Gama	6	?	Catálogo MLP (s/f)

Tabla 1: Muestras utilizadas en los análisis efectuados en este trabajo.

el estudio del poblamiento humano del Sudeste de la Región Pampeana (Barrientos y Perez 2002). Para la selección de los casos a incluir en cada muestra se tomaron en consideración la edad, el sexo y la presencia/ausencia de deformación craneana postdeposicional. Los análisis morfométricos fueron efectuados sobre el esqueleto facial. El resto del cráneo no fue analizado debido a que una parte de la muestra presenta deformación postdeposicional, siendo la calota la más afectada (Barrientos 1997; Barrientos y Gutierrez 1996; Marcellino s/f). La exclusión del análisis de los individuos femeninos se debió a la menor disponibilidad de los mismos para una de las muestras (Htai).

Morfometría Tradicional

En cada cráneo se midieron mediante calibre de corredera Vernier ocho variables craneofaciales siguiendo las definiciones de Howells (1973): *OBH* (alto orbital), *OBB* (ancho orbital), *DKB* (ancho interorbital), *ZMB* (ancho bizigomaxilar), *FMB* (ancho bifrontal), *NLB* (ancho nasal), *NLH* (alto nasal), *NPH* (alto nasion-prostion).

Para analizar la contribución de la forma y del tamaño en la variación muestral se usaron dos técnicas. En primer lugar se utilizó un procedimiento consistente en descartar el primer componente de un análisis de componentes principales efectuado sobre las variables estandarizadas (*scores z*), debido a que el mismo describe el eje de mayor variación de los individuos analizados, el cual corresponde mayormente a la variación en tamaño, mientras que el resto de los componentes principales pueden ser utilizados para conocer la variación en forma (Bookstein 1989a; Jungers *et al.* 1995). Las variables generadas por este procedimiento han sido denominadas residuos multivariados (Jungers *et al.* 1995). El otro procedimiento consistió en dividir cada variable por la media geométrica (GM) de todas las variables para cada individuo, la cual es una medida de su tamaño geométrico. La GM, fue calculada como la *n*-ésima raíz del producto de las *n* variables (Jungers *et al.* 1995). De este modo se obtiene un conjunto de variables, de la familia de las variables de forma de Mosimann (*i.e.* proporciones) (Darroch y Mosimann 1985), que permiten analizar la "similitud geométrica" (Jungers *et al.* 1995).

Morfometría Geométrica

Se obtuvieron imágenes del esqueleto craneofacial en norma frontal mediante una cámara reflex Canon FT-QL 35mm, empleándose una película Kodak color de 100 asas. Con el fin de minimizar la pérdida de calidad de las imágenes fotográficas, la digitalización de las mismas se realizó a partir de los negativos, mediante el uso de un scanner KODAK Professional RFS 2065 Plus Film. Se registraron 10 *landmarks* (*i.e.* puntos anatómicos y/o geométricos homólogos empleados para registrar las coordenadas que definen la posición en el espacio de un carácter morfológico) a partir de la imagen digital, sobre el lado derecho del esqueleto facial por medio del programa tpsDIG 1.20 (Rohlf 1998b) (Figura 2). Tales *landmarks* coinciden con los utilizados para registrar las variables lineales (Howells 1973).

Las coordenadas de los individuos analizados fueron ajustadas por medio de la superposición Procrustes (Bookstein 1991) utilizando el criterio de los cuadrados mínimos o análisis de Procrustes generalizado (*Generalized Procrustes Analysis*) (Rohlf y Slice 1990). Este algoritmo minimiza la rotación, traslación y escalamiento de las configuraciones de puntos analizadas. El tamaño centroide, que es otra medida de tamaño geométrico de cada individuo computado como la raíz cuadrada de la suma de las distancias cuadradas desde cada *landmark* al centroide de la configuración de *landmarks* de cada espécimen (Rohlf *et al.* 1996), fue utilizado como variable de tamaño. La utilización de la superposición Procrustes como función de ajuste de las coordenadas originales (espacio-figura) define un

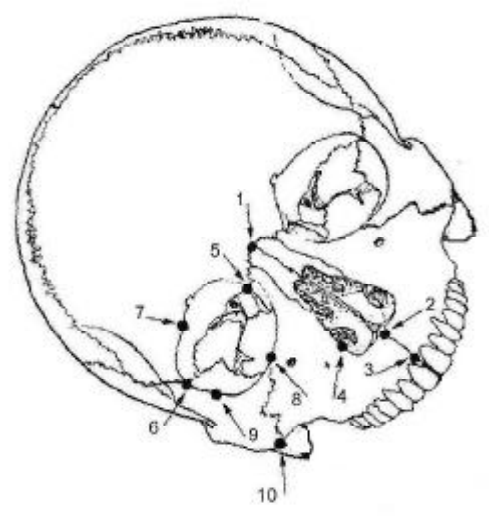


Figura 2. Posición de los *landmarks* morfológicos registrados. El esqueleto facial se encuentra en la posición en la cual aparecen estos puntos en la Figura 7.

espacio de forma no euclidiano denominado espacio de forma de Kendall (Rohlf 1996). Las propiedades matemáticas de este espacio de forma son sumamente complejas, por lo que una alternativa al estudio de la forma es aproximarse al espacio de forma de Kendall por el denominado espacio tangente usado en los análisis estadísticos, el cual tiene una geometría euclidiana. Este espacio se obtiene de la proyección de las coordenadas en un espacio de forma de Kendall sobre un vector lineal tangente al mismo. La intersección de los dos espacios corresponde al consenso o configuración de referencia. Resulta importante señalar que, al analizar muestras con relativamente poca variación, las diferencias entre ambos espacios es escasa o nula (Rohlf 1996), por lo que los análisis basados en esta transformación son particularmente aptos para el estudio de la variación a nivel intraespecífico o interpoblacional.

Para su estudio, la variación en forma fue dividida en un componente uniforme y un componente no-uniforme. Diferencias en el componente uniforme, correspondientes a los efectos de un estiramiento o compresión de un objeto en una dirección particular, fueron analizadas mediante la linearización del método Procrustes (Bookstein 1996). A partir de la diferencia entre la posición de los *landmarks* de cada espécimen y la posición de los *landmarks* homólogos del consenso se obtuvo una matriz de residuos Procrustes. El análisis de superposición y el cálculo de la matriz de residuos Procrustes fue efectuado mediante el programa APS 2.41 (Penin 2001).

Las diferencias en el componente no-uniforme fueron analizadas mediante unas variables de forma denominadas deformaciones parciales o *partial warps*, las cuales surgen de la técnica denominada *thin-plate spline* (Rohlf 1993; Rohlf *et al.* 1996). Como primer paso se calculó la matriz de energía de deformación (*bending energy matrix*) que determina el esfuerzo necesario para transformar las coordenadas de los *landmarks* de cada individuo en el consenso. Los eigenvectores de la matriz de energía de deformación son las deformaciones principales o *principal warps*, las cuales son calculadas utilizando solamente la información proveniente de la configuración de referencia o consenso. Los vectores de las deformaciones principales permiten describir las maneras en que es posible deformar la configuración de referencia. Las deformaciones parciales son calculadas proyectando en forma separada las coordenadas (en el espacio tangente) de los individuos sobre cada vector de las deformaciones principales. Las deformaciones parciales son variables

de forma que pueden ser vistas como ejes de coordenadas geoméricamente ortogonales para la parte del espacio tangente que corresponde a la forma que puede ser descrita en términos de deformaciones no lineales (componente no-uniforme o cambio localizado) de la configuración de referencia (Bookstein 1991; Rohlf 1993, 1998a; Rohlf *et al.* 1996). La magnitud de cada deformación principal es inversa a la escala que describe, por lo tanto las deformaciones parciales describen la variación en forma a diferente escala geométrica. El cálculo de las deformaciones parciales fue efectuado por medio del programa Relative Warps 1.18 (Rohlf 1998c). El parámetro *alpha*, que determina el peso relativo de las deformaciones principales (Rohlf y Marcus 1993), fue usado con un valor de 1, como fuera propuesto originalmente por Bookstein (1989b). De este modo, las deformaciones principales correspondientes a los cambios a gran escala adquieren mayor peso en el análisis (Rohlf y Marcus 1993).

Análisis uni y multivariados

Las técnicas estadísticas uni y multivariadas son aplicadas tanto en el marco de análisis morfométricos tradicionales como geométricos. Un análisis de componentes principales (matriz de varianza-covarianza) fue efectuado sobre las variables obtenidas con las dos técnicas morfométricas. Este análisis no fue efectuado sobre los residuos multivariados, ya que ellos son en sí mismos componentes principales. En el caso de las variables obtenidas mediante las técnicas de la morfometría geométrica, es necesario un análisis de componentes principales previo a cualquier otro análisis uni o multivariado, ya que las deformaciones parciales están altamente correlacionadas y la matriz de residuos Procrustes no puede ser invertida al efectuar otros análisis multivariados. El cálculo de los componentes principales permite obtener un nuevo conjunto de variables, no correlacionadas, que son la combinación lineal de las variables originales. Estas nuevas variables o componentes principales nos muestran la relación entre las variables analizadas. Sobre los dos primeros componentes principales obtenidos con las diferentes variables se efectuó un análisis de correlación producto-momento de Pearson, con el fin de conocer la relación entre ellos. También se realizó un análisis de varianza de clasificación única (*One Way ANOVA*) y un test post-hoc de la varianza (*Least Significant Difference* o LSD) para establecer la significación de las diferencias observadas entre las submuestras de cada análisis de componentes principales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El porcentaje de variación explicada por los componentes principales calculados sobre las variables analizadas se encuentran en la Tabla 2. El número mayor de componentes principales obtenidos a partir de las deformaciones parciales refleja la mayor cantidad de información suministrada por estas variables. Los dos primeros componentes principales sobre los cuatro tipos de variables consideradas se encuentran representados en las Figuras 3 a 6. Como puede observarse, hay una importante correspondencia global entre el análisis efectuado sobre las proporciones (Figura 4) y sobre los residuos Procrustes (Figura 5). En el análisis efectuado sobre las deformaciones parciales (Figura 6) y sobre las variables lineales [residuos multivariados (Figura 3)] puede observarse una topología diferente. El análisis de correlación confirma esta observación, ya que existe una correlación significativa ($p < ,01$) entre el componente 1 calculado sobre las proporciones y sobre los residuos Procrustes (Tabla 3). También se observa una correlación menor, pero también significativa ($p < ,01$), entre el componente prin-

cipal 2 calculado sobre las proporciones y sobre las deformaciones parciales (Tabla 4). El análisis de ANOVA mostró la existencia de diferencias altamente significativas ($p < ,01$) entre las submuestras de los componentes principales calculados sobre los residuos multivariados, los residuos Procrustes y las deformaciones parciales, mientras que las diferencias son sólo signifi-

Componentes principales	Residuos multivariados	Proporciones	Residuos Procrustes	Deformaciones parciales
1	43,98	46,78	32,45	31,36
2	26,14	22,78	17,29	22,16
3	9,781	11,48	11,44	15,37
4	8,360	7,308	10,50	12,69
5	4,544	5,414	7,31	7,71
6	4,315	4,185	5,50	4,54
7	1,792	2,029	5,05	2,05
8	1,086	0,023	2,44	1,88
9	-	-	-	0,90
10	-	-	-	0,50
11	-	-	-	0,38
12	-	-	-	0,27
13	-	-	-	0,12
14	-	-	-	0,09

Tabla 2. Análisis componentes principales: porcentaje explicado por cada componente principal.

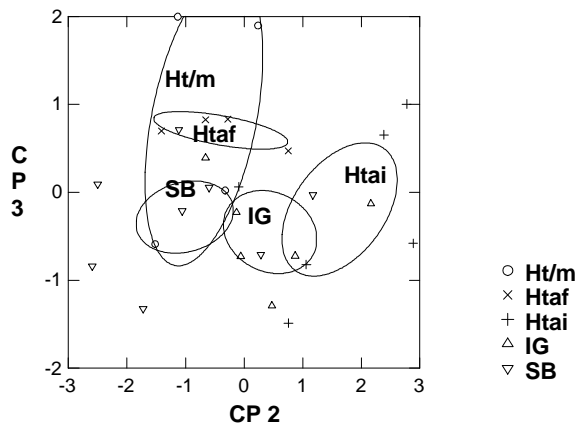


Figura 3. Componentes principales 2 y 3 sobre las variables lineales con estandarización Z (residuos multivariados).

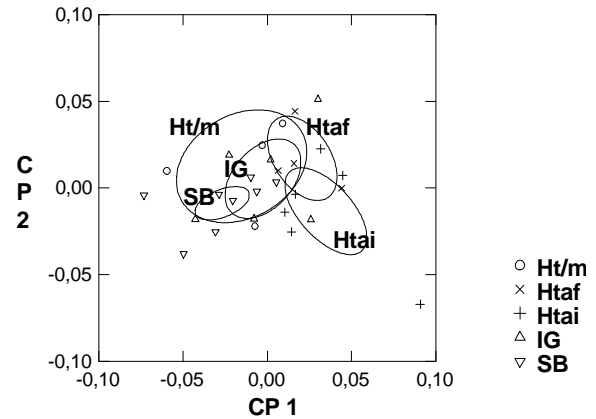


Figura 5. Componentes principales 1 y 2 sobre los residuos Procrustes.

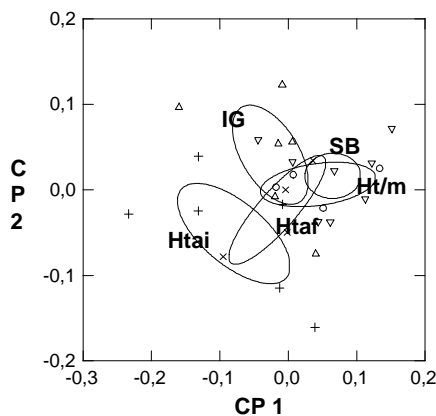


Figura 4. Componentes principales 1 y 2 sobre las proporciones.

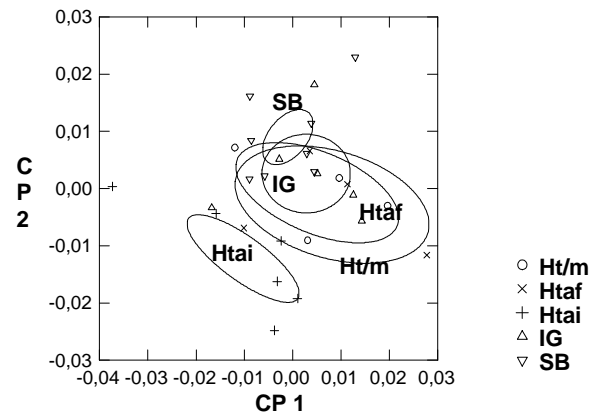


Figura 6. Componentes principales 1 y 2 sobre las deformaciones parciales.

	Deformaciones parciales	Residuos Procrustes	Proporciones	Residuos multivariados
Deformaciones parciales	1,000			
Residuos Procrustes	-0,374	1,000		
Proporciones	0,555	-0,824*	1,000	
Residuos multivariados	-0,078	0,412	-0,324	1,000

*p < ,01.

Tabla 3. Análisis de correlación producto-momento de Pearson sobre el componente principal 1 de las variables analizadas: matriz de correlación y probabilidad asociada.

	Deformaciones parciales	Residuos Procrustes	Proporciones	Residuos multivariados
Deformaciones parciales	1,000			
Residuos Procrustes	-0,331	1,000		
Proporciones	0,605*	-0,033	1,000	
Residuos multivariados	-0,499	-0,216	-0,032	1,000

*p < ,01.

Tabla 4. Análisis de correlación producto-momento de Pearson sobre el componente principal 2 de las variables analizadas: matriz de correlación y probabilidad asociada.

cativas ($p < ,05$) para las proporciones (Tabla 5). Las Tablas 6 a 9 muestran los resultados de los análisis de LSD sobre los componentes principales. Solamente la existencia de diferencias significativas entre las muestras del Holoceno tardío inicial y las del Holoceno temprano/medio y San Blas fue recurrente en todas las variables. El análisis de los residuos multivariados muestra la existencia de diferencias significativas del Holoceno tardío inicial e Isla Gama con respecto a las otras muestras (Tabla 6). Tanto las proporciones (Tabla 7) como los residuos Procrustes (Tabla 8) coinciden en señalar, además, la existencia de diferencias significativas entre el Holoceno tardío inicial y la muestra de Isla Gama, mientras que difieren en mostrar diferencias significativas entre San Blas e Isla Gama y el Holoceno tardío final. El análisis de las deformaciones parciales diferencia claramente al Holoceno tardío inicial del resto de las muestras (Tabla 9).

Variables	CP	F	P
Residuos multivariados	2	5,597	0,003
	3	2,757	0,052
Proporciones	1	3,806	0,016
	2	2,376	0,082
Residuos Procrustes	1	5,424	0,003
	2	1,553	0,220
Deformaciones parciales	1	1,767	0,170
	2	5,991	0,002

Tabla 5. Análisis de ANOVA sobre los dos primeros componentes principales.

Los resultados obtenidos pueden agruparse en tres conjuntos: a) los residuos multivariados, b) las proporciones y los residuos Procrustes, y c) las deformaciones parciales. Las diferencias observadas entre estos tres conjuntos pueden deberse en primer lugar a la capacidad de cada una de las variables para describir la variación en forma independiente de la variación en tamaño. A nivel intraespecífico es fundamental una buena discriminación de estos dos factores, ya que únicamente la variación en

forma tiene valor taxonómico (Sneath y Sokal 1973). En este sentido, los residuos multivariados han sido criticados recientemente debido a que fallan en separar la variación en tamaño de aquella en forma (Jungers *et al.* 1995), mientras que se ha demostrado que las proporciones permiten una buena preservación de la forma a través de estructuras de diferente tamaño (Jungers *et al.*

	Ht/m	Htaf	Htai	IG	SB
Ht/m	0,000	-0,128	-1,028	-1,284*	-1,115
Htaf	0,286	0,000	-0,900	-1,156*	-0,987
Htai	2,314**	2,028*	0,000	-0,257	-0,087
IG	1,130	0,844	-1,184	0,000	0,170
SB	-0,329	-0,615	-2,643**	-1,459*	0,000

*p < ,05. **p < ,01.

Tabla 6. Matriz de diferencia de medias y probabilidad asociada resultante del test post-hoc de la varianza (LSD) sobre el componente principal 2 (segmento inferior de la tabla) y 3 (segmento superior de la tabla) de los residuos multivariados.

	Ht/m	Htaf	Htai	IG	SB
Ht/m	0,000	-0,030	-0,057	0,035	0,010
Htaf	-0,059	0,000	-0,028	0,065	0,040
Htai	-0,123*	-0,064	0,000	0,092*	0,067*
IG	-0,070	-0,010	0,054	0,000	-0,025
SB	0,022	0,081	0,145**	0,091*	0,000

*p < ,05. **p < ,01.

Tabla 7. Matriz de diferencia de medias y probabilidad asociada resultante del test post-hoc de la varianza (LSD) sobre el componente principal 1 (segmento inferior de la tabla) y 2 (segmento superior de la tabla) de las proporciones.

	Ht/m	Htaf	Htai	IG	SB
Ht/m	0,000	0,005	-0,026	-0,007	-0,021
Htaf	0,036	0,000	-0,030	-0,012	-0,026
Htai	0,050**	0,014	0,000	0,019	0,005
IG	0,013	-0,023	-0,037*	0,000	-0,014
SB	-0,011	-0,047**	-0,062**	-0,024	0,000

*p < ,05. **p < ,01.

Tabla 8. Matriz de diferencia de medias y probabilidad asociada resultante del test post-hoc de la varianza (LSD) sobre el componente principal 1 (segmento inferior de la tabla) y 2 (segmento superior de la tabla) de los residuos Procrustes.

	Ht/m	Htaf	Htai	IG	SB
Ht/m	0,000	-0,002	-0,012*	0,003	0,010
Htaf	0,003	0,000	-0,009	0,005	0,012*
Htai	-0,015	-0,018*	0,000	0,015**	0,021**
IG	-0,002	-0,005	0,013	0,000	0,006
SB	-0,006	-0,009	0,009	-0,004	0,000

*p < ,05. **p < ,01.

Tabla 9. Matriz de diferencia de medias y probabilidad asociada resultante del test post-hoc de la varianza (LSD) sobre el componente principal 1 (segmento inferior de la tabla) y 2 (segmento superior de la tabla) de las deformaciones parciales.

1995). Las variables generadas a partir de las técnicas de morfometría geométrica posibilitan una buena descripción de la similitud geométrica, y a su vez permiten descomponer la forma en un componente uniforme (residuos Procrustes) y uno no-uniforme (deformaciones parciales). Estos dos componentes no contribuyen en forma semejante a la diferenciación de las muestras analizadas. Debido a que el componente uniforme provee sólo dos parámetros de información para describir la variación en forma, no es de esperarse que pueda capturar mucha información acerca de la relación entre las muestras analizadas (Rohlf *et al.* 1996). El componente no-uniforme representa, en cambio, la variación específica de cada *landmarks* (Lynch *et al.* 1996; Rohlf *et al.* 1996) y por lo tanto contiene mayor cantidad de información morfométrica con significado taxonómico (Rohlf *et al.* 1996). Esto puede explicar por qué los resultados con mayor similitud son aquellos obtenidos a partir de los residuos Procrustes y de las proporciones, ya que estas dos variables permiten describir la variación global en forma.

Finalmente otro rasgo a destacar es que si bien los análisis estadísticos pueden ser los mismos en los análisis de morfometría geométrica y tradicional, la visualización de las variaciones en forma es totalmente diferente. A modo de ejemplo en la Tabla 10 se observa las cargas para los componentes principales 1 y 2 so-

Variables	CP 1	CP 2
OBH	-0,022	0,003
OBG	-0,010	0,009
DKB	0,039	0,002
FMB	0,018	0,016
ZMB	0,011	-0,057
NLB	0,011	0,006
NLH	-0,040	-0,013
NPH	-0,060	0,003

Tabla 10. Análisis componentes principales de las proporciones: cargas de los componentes 1 y 2.

bre las proporciones, y en las Figura 7 se encuentran las grillas de deformación del individuo consenso y dos casos a lo largo del componente 1 del análisis efectuado sobre las deformaciones parciales. Las cargas de los componentes principales permiten interpretar en forma particulada la variación, mientras que con las grillas de deformación es posible observar la variación en forma integrada (Rohlf y Corti 2000).

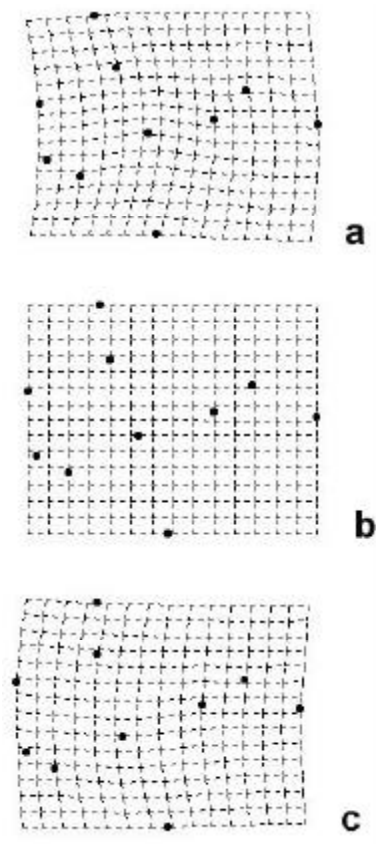


Figura 7. Grillas de deformación obtenidas a partir de los componentes principales 1 y 2 sobre las deformaciones parciales. La grilla **a** corresponde a los valores negativos extremos del componente principal 1, la grilla **b** al individuo consenso y la grilla **c** a los valores positivos extremos del componente principal 1.

CONSIDERACIONES FINALES

Strauss y Bookstein (1982) han señalado que variables como las distancias lineales comúnmente dan información muy incompleta y redundante acerca de la forma de una estructura y que, además, se hace difícil discernir cuál es la localización específica en la que se encuentra la variación. Si bien es claro que la visualización de las diferencias obtenidas se incrementa en forma considerable en los análisis de morfometría geométrica, recientemente se ha puesto en duda que estos den información diferente a aquella obtenida a partir de técnicas tradicionales (Jungers *et al.* 1995; Lynch *et al.* 1996). Los resultados de este trabajo no apoyan esto último ya que, si bien los resultados de los residuos Procrustes son similares a algunos estudios tradicionales (*v.g.* proporciones), las deformaciones parciales proporcionan información morfométrica diferente. En el caso concreto que analizamos los resultados obtenidos con estas variables han mostrado una clara diferenciación de una de las muestras analizadas (Holoceno tardío inicial).

Es posible observar que varios puntos distinguen a la morfometría geométrica de la tradicional. En primer lugar se utilizan datos más comprensivos, y no redundantes, como los que toman en cuenta las relaciones geométricas entre las variables (Rohlf 1990). La forma es descompuesta en un componente uniforme y uno no-uniforme, el cual a su vez puede ser subdividido en la variación a diferentes escalas geométricas. Las diferencias entre las estructuras estudiadas es observada en las grillas de deformación, lo cual posibilita ver regiones y direcciones de máxima variación (Rohlf y Marcus 1993). Si bien no ha sido estudiado en el presente trabajo, es remarcable que las técnicas de la morfometría geométrica permiten incorporar un número elevado de landmarks en el análisis, el cual es significativamente diferente a las posibilidades de un análisis tradicional (Barrientos y Perez 2002; Bookstein 1997) y posibilita el estudio más detallado de una estructura. Estas diferencias hacen de la morfometría geométrica la técnica más apropiada para la discriminación entre muestras de poblaciones humanas prehistóricas a través del estudio de su esqueleto craneofacial.

Agradecimientos

Mi agradecimiento a Gustavo Barrientos por el apoyo y sugerencias recibidas durante la realización de este trabajo, así como a Gustavo Politis, Fernando Oliva,

Patricia Madrid y Héctor Pucciarelli por permitirme el uso de las muestras analizadas. Esta investigación fue realizada con fondos del Subsidio en Apoyo a Proyectos N° 14022-23 de la Fundación Antorchas, dirigido por el Dr. G. Barrientos.

REFERENCIAS CITADAS

- Barrientos, G.
1997 Nutrición y Dieta de las Poblaciones Aborígenes Prehispánicas del Sudeste de la Región Pampeana. Tesis Doctoral inédita. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, La Plata.
- Barrientos, G. y M. Gutierrez
1996 Taphonomic and diagenetic processes of human bone remains in the Arroyo Seco 2 site, Pampean Region, Argentina. Trabajo presentado al 61st Annual Meeting, Society for American Archaeology. New Orleans.
- Barrientos, G. y S. I. Perez
2002 La dinámica del poblamiento humano del Sudeste de la Región Pampeana durante el Holoceno. *Intersecciones en Antropología* 3: 41-54.
- Bookstein, F. L.
1989a "Size and shape": a comment on semantic. *Systematic Zoology* 38: 173-180.
1989b Principal Warps: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 11: 567-585.
1991 *Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology*. Cambridge University Press, Cambridge.
1996 A standard formula for the uniform shape component. En *Advances in Morphometrics*, editado por L. F. Marcus, M. Corti, A. Loy, D. Slice y G. Naylor, pp. 153-168. Plenum Press. Nueva York.
1997 Landmark methods for forms without landmarks: localizing group differences in outline shape. *Medical Image Analysis* 1: 225-243.
- Catálogo MLP
s/f Departamento Científico de Antropología. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. MS.
- Darroch J. N. y J. E. Mosimann
1985 Canonical and principal component of shape. *Biométrie* 72: 241-252.
- Jungers, W. L.; A. B. Falsetti y C. E. Wall
1995 Shape, relative size, and size-adjustments in morphometrics. *Yearbook of Physical Anthropology* 38: 137-161.

- Howells, W. W.
1973 *Cranial Variation in man. A study by multivariate analysis of patterns of difference among recent human populations*. Papers of Peabody Museum of Archeology and Ethnology Harvard University Vol. 67. Mass, Cambridge.
- Lehmann-Nitsche, R.
1910 *Catálogo de la Sección Antropología del Museo de La Plata*. Coni Hnos, Buenos Aires.
- Lynch, J. M.; Ch. G. Wood y S. A. Luboga
1996 Geometric morphometrics in primatology: craniofacial variation in *Homo sapiens* and *Pan troglodytes*. *Folia Primatologica* 67: 15-39.
- Madrid, P. y G. Barrientos
2000 La estructura del registro arqueológico del sitio Laguna Tres Reyes 1 (Provincia de Buenos Aires): nuevos datos para la interpretación del poblamiento humano del Sudeste de la Región Pampeana a inicios del Holoceno tardío. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* 25:179-206.
- Marcellino, A.
s/f. Los esqueletos humanos aborígenes de Arroyo Seco (Partido de Tres Arroyos, Pcia. de Buenos Aires). MS.
- Marcus, L. F.
1990 Traditional morphometrics. En *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*, editado por F. J. Rohlf y F. L. Bookstein, pp. 77-122. Special Publication Number 2. The University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor, Michigan.
- Penin, X.
2001 Programa APS 2.41. <http://www.life.bio.sunysb.edu/morph/>. 5/05/02.
- Rohlf, F. J.
1990 Morphometrics. *Annual Review of Ecology and Systematic* 21: 299-316.
- 1993 Relative warps analysis and an example of its application to Mosquito wings. En *Contributions to Morphometrics*, editado por L. F. Marcus, E. Bello y A. García-Valdecasas, pp. 132-159. Monografías del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid.
- 1996 Morphometric spaces, shape components and the effects of linear transformations. En *Advances in Morphometrics*, editado por L. F. Marcus, M. Corti, A. Loy, D. Slice y G. Naylor, pp. 117-129. Plenum Press. New York.
- 1998a On application of geometric morphometrics to studies of ontogeny and phylogeny. *Systematic Biology* 47: 147-158.
- 1998b Programa tpsDIG 1.20. <http://www.life.bio.sunysb.edu/morph/>. 3/11/00.
- 1998c Programa *Relative warps* 1.18. <http://www.life.bio.sunysb.edu/morph/>. 3/11/00.
- 2000 Statistical power comparisons among alternative morphometric methods. *American Journal of Physical Anthropology* 111:463-478.
- Rohlf, F. J. y M. Corti
2000 Use of two-block partial least-squares to study covariation in shape. *Systematic Biology* 49: 740-753.
- Rohlf, F. J. y L. F. Marcus
1993 A Revolution in Morphometrics. *Tree* 8(4): 129-132.
- Rohlf, F. J. y D. E. Slice
1990 Extensions of the Procrustes Method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Zoology* 39: 40-59.
- Rohlf, F. J.; A. Loy y M. Corti
1996 Morphometric analysis of Old World Talpidae (Mammalia, Insectivora) using partial-warp scores. *Systematic Biology* 45:344-362.
- Sneath, P. H. A. y R. R. Sokal
1973 *Numerical taxonomy*. Freeman. San Francisco.
- Strauss, R. E. y F. L. Bookstein
1982 The truss: body form reconstruction in morphometrics. *Systematic Zoology* 31: 113-135.