



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Sociales
Departamento de Antropología
Mención Antropología Física

**VALOR PREDICTIVO DE LOS RASGOS ANATOMICOS
DEL CRÁNEO UTILIZADOS EN LA ESTIMACIÓN VISUAL
DEL SEXO EN POBLACION CHILENA: UN ANÁLISIS DE
MORFOMETRIA GEOMETRICA.**

**Tesis de Grado para optar al Título profesional de
Antropólogo Físico.**

**Estudiante: Pablo Díaz Jarufe
Profesor Guía: Germán Manríquez Soto
Santiago - Chile.
2010**

INDICE DE MATERIAS.

I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.....	4
1) <i>LA ESTIMACIÓN VISUAL DEL SEXO, MÉTODOS Y PRECISION.</i>	4
2) <i>PROBLEMAS ASOCIADOS A LA ESTIMACIÓN DEL SEXO</i>	5
3) <i>TEORÍA MODERNA DE LA FORMA: MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA.</i>	8
4) <i>ANÁLISIS DE HITOS EN MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA</i>	8
III. PROBLEMA DE ESTUDIO, HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS.....	14
1) <i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</i>	14
2) <i>HIPÓTESIS DE ESTUDIO</i>	
a.- Hipótesis Estadísticas	14
b.- Hipótesis Biológicas	15
3) <i>OBJETIVOS</i>	
a.- Objetivo General	15
b.- Objetivos Específicos.....	15
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
1) <i>CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA.</i>	16
2) <i>MÉTODOS.</i>	19
V. RESULTADOS.....	20
1) <i>ERROR INTRA OBSERVADOR</i>	20
2) <i>ANÁLISIS POR RASGOS ANATÓMICOS</i>	
A.- Glabella y perfil frontal.....	21
B.- Proceso Mastoides	23
C.- Proceso cigomático del temporal.....	26
D.- Hueso Cigomático	28
E.- Forma de la orbita	30
F.- Análisis discriminante de los rasgos morfológicos significativos	31
VI. DISCUSIÓN.	32
VII. CONCLUSIONES.....	41
ANEXOS	43
1) <i>MAPAS DE HOMOLOGÍAS</i>	
A.- Mapa de homologías para el registro de coordenadas en 3 dimensiones.....	43
B.- Mapa de homologías para análisis de rasgos anatómicos seleccionados.....	46
Glabela y perfil frontal	46
Proceso Mastoides.....	47
Hueso cigomático y proceso cigomático del temporal	48
Forma de la orbita	48
BIBLIOGRAFÍA.....	50

I. INTRODUCCIÓN.

Según conocimientos adquiridos durante mi proceso de formación académica, la Antropología Física se define como la disciplina científica que aborda el estudio de la variabilidad biológica del ser humano y su relación con la diversidad cultural. Las investigaciones enmarcadas dentro de esta rama de la ciencia deben controlar un conjunto de variables básicas para que sus resultados y conclusiones permitan estimar parámetros poblacionales de la muestra observada. Entre estas variables básicas se encuentran el sexo y la edad de los individuos. Su empleo permite caracterizar eficientemente los perfiles demográficos de la población estudiada y observar la relación de estas variables con cualquier otro conjunto de ellas según el fenómeno que se estudie en relación a la diversidad biológica y cultural de *Homo sapiens*.

Aun cuando la determinación del sexo y la edad no revisten mayor complejidad al estudiar poblaciones contemporáneas, en restos esqueléticos de poblaciones arqueológicas la determinación precisa de estas variables implica problemas no menores. El manejo de restos óseos para la mayoría de las investigaciones desarrolladas en Bioarqueología, Paleoantropología, Antropología Forense, entre otras áreas de la Antropología Física, conlleva la necesidad de trabajar en la mayoría de los casos con restos de los cuales no se cuenta con un registro del sexo y la edad; a diferencia de varias colecciones osteológicas conformadas por poblaciones subactuales de las que sí cuenta el registro de estas variables e incluso de otras. Por esta razón, muchas investigaciones deben emplear una batería de métodos desarrollados para la determinación del sexo y la edad a partir de rasgos anatómicos de diferentes estructuras óseas del cuerpo humano (Ferembach *et al.*, 1980; Walrath *et al.*, 2004).

Aún así, estos métodos no son de carácter absoluto y, como la práctica de cualquier disciplina científica, estos deben ser sometidos periódicamente a la revisión y escrutinio por parte de la comunidad científica con tal de actualizarlos gracias a nuevas técnicas de registro de datos, nuevos métodos de análisis y a la disposición de nuevas colecciones osteológicas que permiten con un mayor universo muestral o con especímenes en mejor estado de conservación.

La presente Tesis responde a estos requerimientos con tal de contribuir a mejorar las herramientas metodológicas de la Antropología Física en relación a la estimación del sexo.

II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.

1) LA ESTIMACIÓN VISUAL DEL SEXO, MÉTODOS Y PRECISIÓN.

Los métodos empleados para la determinación del sexo se basan en la inspección visual de un conjunto de rasgos anatómicos relacionados con el dimorfismo sexual como aquellos ubicados en el hueso coxal, asociados a la función reproductiva diferencial entre individuos femeninos y masculinos, o en rasgos anatómicos craneanos relacionados con diferencias en robusticidad o gracilidad de cada sexo (Phenice, 1969; Buikstra y Ubelaker, 1994; Konigsberg y Hens, 1998; Bruzek, 2002; Walrath *et al.*, 2004; Walker, 2005 y 2008). En cada caso, se observan diferencias en la probabilidad de acierto en la estimación del sexo; si esta se hace sobre el hueso coxal el sexo puede ser correctamente determinado en un 95% de los casos y para el cráneo en un 92% (Paiva y Segre, 2003).

El estudio del dimorfismo sexual de la especie humana a nivel craneal cobra especial interés dadas las posibilidades de desarrollar criterios diagnósticos para la determinación del sexo, criterios que se han estandarizado en diversas publicaciones para su difusión y aplicación (Ascadi y Nemeskeri, 1970; Ferembach *et al.*, 1980; Buikstra y Ubelaker, 1994; Krenzer, 2006). Los métodos utilizados tradicionalmente contemplan la observación de los siguientes rasgos anatómicos del cráneo: glabella, proceso mastoideo, plano nuchal, proceso cigomático del temporal, arcos supraorbitarios, eminencias parietales y frontal, protuberancia occipital externa, hueso cigomático, perfil frontal y margen lateral de la orbita (Fig. 1). Para la estimación del sexo, generalmente estos rasgos son presentados y descritos como estructuras de variación discreta desde individuos hiperfemeninos a individuos hipermasculinos con estados de carácter¹ que permiten su categorización, tras una acuciosa inspección visual, como una variable ordinal utilizada para la estimación del sexo del individuo. Mientras más variables ordinales se incluyan para la estimación (variables de cualquiera de los 10 rasgos mencionados más arriba), más fiable será esta. Para determinar el estado de carácter con el que se presenta cada rasgo, existen descripciones y/o esquemas visuales (como los de la figura 1) que facilitan la tarea de los investigadores. Estas descripciones se han desarrollado a partir de métodos de seriación de los distintos caracteres para cráneos de colecciones osteológicas donde las variables de sexo y edad están controladas (Hoyme e Iscan, 1989). A partir de estos estudios se ha desarrollado diversos "recetarios" para

¹ Por estado de carácter me refiero a las condiciones fenotípicas de base genética y epigenética que contribuyen al desarrollo osteológico del cráneo y al diverso grado de desarrollo de las distintas características (tamaño, grosor, textura, forma) propias de la variabilidad con la que se expresan para cada población, sexo e individuo.

poder estimar el sexo, algunos con descripciones y esquemas más detallados que otros, lo cual a permitido que algunos de estos métodos descriptivos se aplique más que otros y, de estos mismos, que algunos rasgos sean más utilizados que otros en virtud de la claridad con la que son descritos para realizar la estimación (como la glabella y el proceso mastoideos, por ejemplo). Sin embargo, estos rasgos no siempre son contrastados con la variabilidad real de la población para ambos sexos.

Trait	Weight	Sexualization				
		Hyperfeminine (-2)	Feminine (-1)	Indeterminate 0	Masculine (-1)	Hypermasculine (+2)
Glabella	3	smooth 	slightly delimited 	delimited 	marked 	massive, prominent 
Mastoid process	3	very small 	small 	medium 	large 	very large 
Nuchal plane	3	smooth	slightly arched traces of nuchal lines	nuchal lines and occipital crest evident	nuchal lines and occipital crest marked	nuchal lines and occipital crest with rough surface
Zygomatic process of the temporal	3	very thin and low	thin and low	medium	thick and high	very thick and high
Superciliary arches	2	smooth	slightly delimited	delimited, marked	marked	very marked
Frontal and parietal eminences	2	marked	medium	moderate	indistinct	missing
External occipital protuberance	2	smooth 	hardly 	medium 	marked 	very marked 
Zygomatics	2	very low, smooth surface	low, smooth surface	medium, irregular surface	high, irregular surface	very high, irregular surface
Frontal profile	1	vertical	almost vertical	little inclined	medium inclined	strongly inclined
Orbital form	1	very round, sharp border 	round, sharp border 	transitory form, medium border 	quadrangular, rounded border 	very quadrangular, rounded border 

Figura 1. Tabla de rasgos del cráneo utilizados para estimar el sexo, tomado de Walrath et al. (2004). Los rasgos están ordenados desde una mayor a una menor ponderación para la estimación del sexo.

2) PROBLEMAS ASOCIADOS A LA ESTIMACIÓN DEL SEXO

Con la masificación de estos métodos y su implementación en diversas investigaciones, surge el problema de la falta de consideración de los sesgos poblacionales y temporales que implica su aplicación en el estudio de una muestra humana en particular (Walker, 2008). Precisamente, estos métodos se desarrollaron a partir de observaciones y descripciones de muestras osteológicas de poblaciones europeas cuya variabilidad, por definición, no representa la variabilidad de la población mundial. Esto conduce a la generación de sesgos y errores sistemáticos en los procesos

de estimación del sexo en distintas poblaciones como, por ejemplo, la población de nativos americanos. Además, para efectos académicos el proceso de aprendizaje se ve dificultado por la falta de descripciones detalladas de algunos rasgos o porque la variabilidad descrita para una rasgo no se puede observar en la colección utilizada para fines docentes (Walrath *et al.*, 2004; Walker, 2008). Esta situación hace necesario el desarrollo de técnicas que permitan establecer la utilidad de los rasgos anatómicos craneales consagrados por los métodos visuales de diagnóstico del dimorfismo sexual, y la pertinencia de su aplicación en una población determinada.

Respecto de la revisión de estos métodos, varios autores han abordado distintos aspectos de la aplicación de estos: desde la estimación del error interobservador al momento de diagnosticar el sexo, hasta complejos diseños estadísticos que permiten el tratamiento “métrico” de las variables visuales de diagnóstico y respaldar matemáticamente el acierto de cada rasgo para la determinación del sexo (Meindl *et al.*, 1985; Konigsberg y Hens, 1998; Pretorius *et al.*, 2006; Walrath *et al.*, 2004; Walker, 2008). Además, se han revisado las definiciones que sustentan la observación de cada estructura determinándose que el elemento clave en la capacidad de discriminación es la forma que presenta la estructura más que su tamaño (Walrath *et al.*, 2004). Especialmente interesante ha sido la aplicación de técnicas de análisis estadístico como las funciones discriminantes, regresiones logísticas y métodos de probabilidad para el tratamiento de datos ordinales que resumen el grado de dimorfismo sexual de cada rasgo anatómico donde la aplicación de muchas de estas técnicas ha permitido estimar el porcentaje de acierto que posee cada uno dentro de la población estudiada (Meindl *et al.*, 1985; Konigsberg y Hens, 1998; Walrath *et al.*, 2004; Walker, 2008). Aún así, el problema de estos métodos descansa en la definición apropiada del carácter a observar en la anatomía del cráneo y la pericia del observador que aplica el método; en muchos casos se puede cometer el equívoco de medir el error interobservador más que la variación de las estructuras anatómicas propiamente tales dado que la métrica del instrumento estadístico descansa en observaciones que comprometen un mayor nivel de subjetividad por parte del investigador (Iskan, 1989; Hoyme e Iskan, 1989; Walrath *et al.*, 2004; Walker, 2008).

Hasta la fecha, se han desarrollado investigaciones que permiten medir la relación entre la forma biológica y el dimorfismo sexual humano a nivel craneal con aplicaciones forenses; mediciones realizadas de acuerdo con los métodos propios de la Morfometría Geométrica (MG) y aplicados desde distintos enfoques y estructuras a medir (Kimmerle *et al.*, 2008; González *et al.*, 2009 y Kranioti *et al.*, 2009). Estos trabajos se basan en el

registro de coordenadas geométricas en estructuras óseas donde, a partir de los datos relevados, se separa el tamaño de la forma del objeto medido. Esto se logra removiendo la variación entorno a la escala, traslación y rotación del objeto (véase el marco teórico y la figura 2) para luego aplicar estadísticos multivariados que explican la variación muestral. Finalmente, los componentes de la forma de las estructuras dimórficas de los individuos se someten a análisis discriminante (los detalles de las técnicas de análisis de Morfometría Geométrica se explicaran en el marco teórico de la presente tesis).

Kimmerle y colaboradores (2008) han observado para la variación de la forma del cráneo en general, en población de origen europeo y afroamericano de Estados Unidos, la influencia significativa del sexo en la forma del cráneo y el bajo aporte del tamaño en la variación de la forma. En relación al último tema, estos investigadores concluyen que para un mismo sexo la forma del cráneo no varía respecto del tamaño (análisis discriminante con niveles de acierto de 83% para hombres y 93% para mujeres). Cabe recordar que estos investigadores recogieron la forma de todo el cráneo considerando parte de algunos de los rasgos utilizados en la estimación visual de sexo (glabella y mastoides y protuberancia occipital externa), además de medir directamente los cráneos para obtener coordenadas tridimensionales.

En un análisis más detallado de la forma de los rasgos discriminantes del sexo en el cráneo de población portuguesa subactual, González *et al.* (2009) estudiaron en 2D (fotografías de cráneos) la variación de la forma de glabella, hueso cigomático y proceso cigomático del temporal, y el proceso mastoides. Como resultado se encontraron bajos grados de dimorfismo sexual en cuanto a las variables de la forma y también se obtuvieron bajos niveles de discriminación del sexo a partir de las variables de la forma y el tamaño (de 72.15 a 77.86%).

Kranioti *et al.* (2009), siguiendo el mismo objetivo de discriminar el sexo a partir de la forma, midió las epífisis proximales y distales de los húmeros de poblaciones Griegas de inicios del siglo XX. Las variables de forma y tamaño respecto del sexo mostraron un 89% de acierto entre los individuos.

Cabe señalar que para todos estos estudios, los mejores resultados de discriminación se obtuvieron al combinar las variables del tamaño y de la forma propiamente tal (shape components). Al momento de discriminar considerando las variables por separado, los porcentajes de acierto disminuyeron aproximadamente en 10 puntos porcentuales.

Dadas las sugerentes perspectivas ofrecidas por esta técnica de medición para nuestro problema de estudio, profundizaremos los aspectos teóricos que subyacen a estos métodos.

3) TEORÍA MODERNA DE LA FORMA: MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA.

Para el estudio de la variabilidad de los rasgos anatómicos del cráneo se utilizarán los métodos métricos propios de la Morfometría Geométrica (MG). El empleo de esta técnica ha permitido en investigaciones previas establecer patrones de variabilidad poblacional y sexual respecto a la morfología del cráneo y otras estructuras anatómicas del cuerpo humano, llegando a establecer estas diferencias incluso en series ontogénicas. Estudios similares se han aplicado también en otras especies del género *Homo* y del orden de los primates (Bernal *et al.*, 2006; Bulygina *et al.*, 2006; Cardini y Elton, 2007; Kimmerle *et al.*, 2008; Pretorius *et al.*, 2006; Rosas *et al.*, 2002; Rosas y Bastir, 2002; Schaefer *et al.*, 2004; Viôarstodir *et al.*, 2002).

Se prefiere el uso de esta técnica, en lugar de los métodos tradicionales de morfometría debido a que estos últimos no permiten separar adecuadamente los componentes escalares, o de tamaño (*size*), respecto de los componentes de la forma (*shape*) (Adams *et al.*, 2004; Slice, 2007). Para los propósitos de esta investigación, la variable forma tiene una gran importancia así como la relación entre esta variable y el tamaño para la estimación del sexo.

En resumen, la MG es un método de registro y análisis cuantitativo del patrón de variación de la forma de cualquier objeto. Este método consiste en la aplicación de funciones propias del análisis geométrico de espacios complejos a partir de un conjunto de coordenadas cartesianas que resumen la forma del objeto estudiado (Manríquez, 2004).

4) ANÁLISIS DE HITOS EN MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA

En un primer momento, se define una serie de hitos que permiten estandarizar el registro de coordenadas para resumir la forma del objeto de análisis y calcular las variables de tamaño y de forma, obteniendo para cada individuo un conjunto de datos representados en una matriz de coordenadas de los hitos proyectados en los ejes x, y (+ z en el caso de formas en tres dimensiones).

Antes de aplicar el método de MG, es importante comprender la naturaleza de los datos a partir de los cuales se genera el análisis. Estos datos son constituidos por hitos

homólogos. Homología, en MG, se define como la correspondencia de estructuras que permiten la definición de un hito (Zelditch *et al.*, 2004). De esta manera, se define un mapa de hitos, o de homologías, cuya poder analítico de la forma se da partir de los distintos tipos de hitos utilizados para resumirla. Este mapa es de vital importancia para ponderar la plausibilidad de la varianza de las estructuras observadas y superar las limitaciones impuestas por la morfometría clásica. Bookstein (1991) distingue 3 tipos de hitos. Los de “tipo 1” son aquellos que se ubican en el punto de yuxtaposición de, por lo menos, 3 tejidos o estructuras que permiten identificar las fuerzas que inciden en ellas o los efectos de los procesos que desplazan estos hitos. Son los que mejor se definen dentro del espacio de determinada estructura (Zelditch *et al.*, 2004). Los de “tipo 2” son aquellos que se ubican en áreas de curvatura máxima o en zonas de procesos morfológicos locales; no entregan información de todas las direcciones posibles de fuerza que inciden en las estructuras o tejidos que le rodean (Zelditch *et al.*, ob. cit). Los hitos de “tipo 3” son aquellos que constituyen los puntos extremos que sólo son definidos en términos de distancias máximas entre curvaturas o determinados puntos de una estructura por lo que no serían hitos como tales (Zelditch *et al.*, 2004).

Una vez construidas las matrices de datos primarios a partir de las coordenadas de hitos homólogos, se procede a eliminar las diferencias de escala, traslación y rotación de las coordenadas para dejar sólo la información pertinente a la forma de los objetos medidos. Esto se logra sometiendo las matrices de coordenadas a una serie de transformaciones, mediante Métodos de Procustos, que eliminan las diferencias del registro de datos atribuidos a variaciones en la escala, rotación y traslación (ver figura 2). Como resultado se obtiene un conjunto de datos primarios que permiten analizar topológicamente la variación de la forma.

La información perteneciente al tamaño del objeto es la primera en ser estandarizada, calculando el tamaño del centroide geométrico del mapa de coordenadas del objeto medido y posteriormente escalando este tamaño (y, consiguientemente, las coordenadas que sirven para calcularlo) a 1.

En un segundo momento, la información relativa a la traslación del objeto es eliminada, para todos los objetos, fijando el las coordenadas del centroide de la matriz en la intersección de los ejes del plano cartesiano de referencia para el registro de las coordenadas.

Finalmente, la información relativa a la rotación es eliminada en los siguientes pasos de análisis, una vez proyectadas las matrices de coordenadas al espacio

multidimensional correspondiente. Básicamente, en este paso, el espacio multidimensional constituye una proyección multidimensional de un espacio capaz de contener todas las formas posibles para determinado mapa de homologías. En este punto, la rotación es eliminada permutando y seleccionando las distancias mínimas de todos los objetos entre las distintas rotaciones posibles para estos. Para aclarar esto, podríamos decir que la forma básica de este espacio multidimensional es una esfera, para matrices de coordenadas de tres hitos, y que la rotación es eliminada al calcular la distancia mínima de los objetos respecto de un punto ubicado a una determinada “latitud” de la esfera.

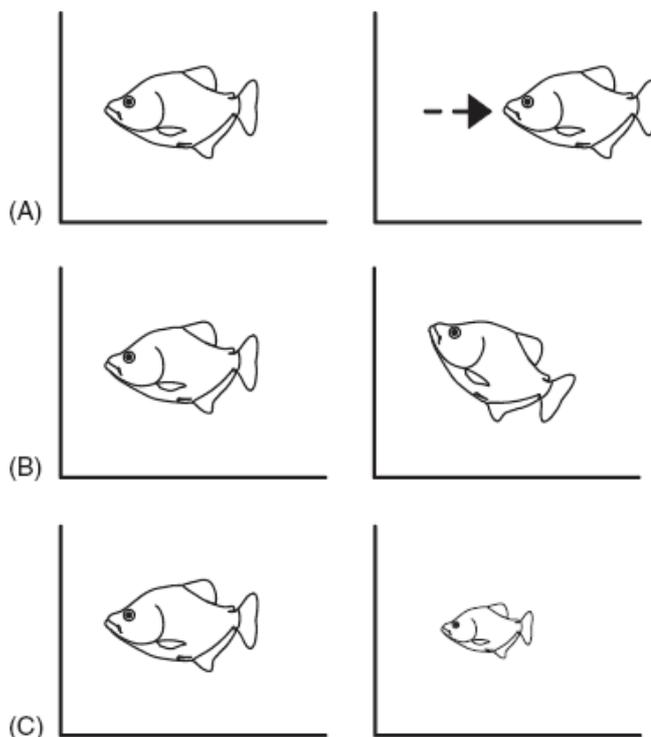


Figura 2. En la figura se pueden apreciar las diferencias de los objetos en cuanto a traslación (A), rotación (B) y escala (C). Imagen tomada de Zeldith et al. (2004).

Luego de estos procedimientos se puede hablar de forma propiamente tal o *shape*, vale decir, del conjunto de propiedades geométricas de un objeto invariantes respecto a la posición, orientación y diferencias isométricas (Slice, 2007). Este conjunto de datos coordenadas permite, finalmente, obtener una figura consenso o de referencia que hace posible la comparación de todas las otras formas en los siguientes pasos de análisis en MG.

Como mencionábamos antes, el conjunto de datos es trasladado a un Espacio Multidimensional, o espacio de Kendall, cuyas propiedades matemáticas, como el número de dimensiones, se definen a partir de la cantidad de hitos sometidos a análisis ($2p - 4$, para coordenadas bidimensionales, y $3p - 7$, para coordenadas tridimensionales) y donde cada espécimen (matriz de coordenadas) pasa a constituir un punto dentro de los ejes multidimensionales que resumen este espacio (Kendall, 1984; Small 1996; Zeldith *et al.*, 2004). En esta etapa de análisis es posible proyectar la posición de cada individuo a un plano tangente al espacio multidimensional (Relative Warps, RW). Este espacio plano tiene como coordenadas $x=0$ $y=0$ la configuración de referencia o consenso, y es análogo a los espacios morfométricos resultantes del análisis multivariado (i.e. PCA). Esto significa que permite observar la distribución de los individuos respecto de los factores (relative warps como análogos de los componentes principales PC I > PC II > PC III, etc.) Además, al aplicar la función de placa delgada (thin-plate spline function) se puede recuperar la forma de los objetos como grillas cartesianas deformadas al sobreponer sus respectivos hitos homólogos (Bookstein, 1989).

Luego de realizar este análisis exploratorio, y de inspeccionar la dispersión de los individuos en torno a los componentes principales de la forma, se procede a realizar un análisis de carácter confirmatorio de los resultados mediante estadística multivariada (i.e. regresión múltiple, análisis discriminante, análisis de la varianza). En esta etapa se busca conocer las causas que subyacen a la variación de la forma (Fig. 3).

Los datos necesarios para esta investigación están resumidos en un mapa de homologías tridimensional (ver metodología) que recogen la forma general del cráneo así como estructuras preseleccionadas por su utilidad como estimadores macroscópicos del sexo de los individuos (glabella y perfil frontal, proceso mastoideo, proceso cigomático del temporal, hueso cigomático y orbita).

Como mencionamos en páginas anteriores, las variables “forma” y “tamaño” de las estructuras biológicas son particionadas en los análisis de MG. Hay casos en los que se hace necesario considerar estas dos variables al momento de realizar los análisis exploratorios correspondientes, sobre todo si existe una relación entre tamaño y forma que determina la distribución de determinado conjunto de hitos homólogos. Por ejemplo, los estudios de alometría (el estudio de la relación entre forma y tamaño, siendo la forma la variable dependiente) en homínidos actuales publicados por Mitteroecker *et al.* (2004) y Schaefer *et al.* (2004) concluyen que el grado de dimorfismo sexual en homínidos se

explica en parte por el componente alométrico existentes en homínidos, factor especialmente sensible para las especies *Pongo pymaeus*, *Gorilla gorila* y *Homo sapiens*.

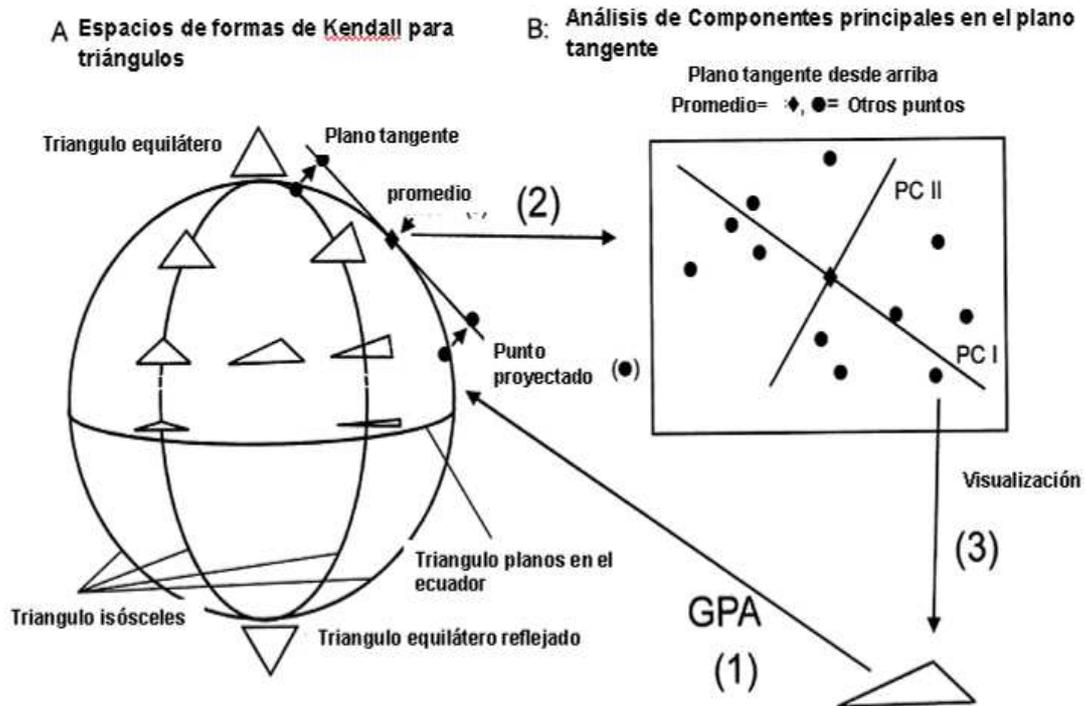


Figura 3. Esquema de los pasos de análisis en morfometría geométrica. De los objetos se registran matrices de coordenadas de las cuales se elimina información (tamaño, traslación y rotación) mediante análisis de procrustes (1) para conservar sólo la forma de los objetos y para ser proyectadas al espacio Kendall como un solo punto dentro de él. En A observamos el Espacio de Formas de Kendall para formas triangulares y como varían estas desde el polo al ecuador de la esfera. La distribución de estos objetos es proyectada a un plano tangente (2) para “mapear” la ubicación de cada matriz de coordenadas (punto) y respetar los supuestos euclídeos de análisis estadísticos como el de Componentes Principales (B). Finalmente, estos pasos también permiten visualizar el cambio de la forma (3) (modificado de O’Higgins, 1998).

La base de estos estudios (Mitteroecker *et al.*, 2004; Mitteroecker *et al.*, 2005; Schaefer *et al.*, 2004; entre otros) descansa en la inclusión de la variable tamaño en los análisis exploratorios por MG; donde el logaritmo del tamaño del centroide se analiza como una variable más junto a las variables de forma propiamente tal. Esto agrega un nuevo componente a las variables de forma (recordemos que la cantidad de variables extraídas de la forma “pura” corresponde a $2p - 4$ para coordenadas 2D y $3p - 7$ para coordenadas 3D). A este método de análisis exploratorio se le conoce como “Size & Shape Space” (Espacio de tamaño y forma) y su uso en MG ha sido ampliamente descrito y aplicado (Baab y McNulty, 2008; Dryden y Mardia, 1998; Mitteroecker y Gunz, 2009;

Mitteroecker *et al.* 2004, Mitteroecker *et al.*, 2005; Schaefer *et al.*, 2004). Según Mitteroecker *et al.* (2004), el logaritmo del centroide contiene una mayor varianza en relación al resto de las variables de la forma y, al verificarse la alometría existente en las estructuras, estaría fuertemente correlacionado con el primer componente principal que arroja el análisis en el *Size & Shape Space*.

III. PROBLEMA DE ESTUDIO, HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS.

1) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El propósito de este proyecto de investigación es conocer en una muestra de la población chilena, el grado de variación de los rasgos anatómicos utilizados tradicionalmente para la determinación visual del sexo. Con la ayuda de herramientas estándar de la morfometría geométrica se medirá el nivel de acierto de las variables forma y tamaño de los rasgos anatómicos craneales como predictores del sexo. El problema de investigación se plantea de acuerdo a la siguiente pregunta por resolver:

¿Cuál es el valor predictivo de las técnicas de análisis cuantitativo por morfometría geométrica para la estimación del dimorfismo sexual en el cráneo?

2) HIPÓTESIS DE ESTUDIO.

Contrastaremos la hipótesis según la cual las variables de la forma y tamaño de los rasgos craneales utilizados para estimar el sexo permiten estimar el sexo de un individuo con niveles de acierto que no difieren significativamente de aquellos obtenidos mediante estimación visual.

a.- Hipótesis Estadísticas.

H0: *NO* hay diferencias significativas entre las variables de la forma de los rasgos craneales glabella, proceso mastoides, hueso cigomático, proceso cigomático del temporal y forma de la orbita, entre individuos femeninos y masculinos. Las variables de la forma resultantes de la medición de estas estructuras anatómicas no son predictivas de la variable sexo

H1: *EXISTEN* diferencias significativas entre las variables de la forma de los rasgos craneales glabella, proceso mastoides, hueso cigomático, proceso cigomático del temporal y forma de la orbita, entre individuos femeninos y masculinos. Las variables de la forma resultantes de la medición de estas estructuras anatómicas constituyen buenos estimadores de la variable sexo.

b.- Hipótesis Biológicas.

H0: Los rasgos craneales glabella, proceso mastoides, hueso cigomático, proceso cigomático del temporal y forma de la orbita poseen una variabilidad morfológica continua independiente del sexo de los individuos.

El sexo de los individuos no puede ser estimado a partir de la variabilidad de estos rasgos. (Hipótesis de la inutilidad de estos rasgos para estimar el sexo)

H1: Los rasgos craneales glabella, proceso mastoides, hueso cigomático, proceso cigomático del temporal y forma de la orbita poseen una variabilidad morfológica continua dependiente del sexo de los individuos.

El sexo de los individuos si puede ser estimado a partir de la variabilidad de estos rasgos. (Hipótesis de la utilidad de estos rasgos para estimar el sexo)

3) OBJETIVOS.

a.- Objetivo General.

Conocer el valor predictivo de los rasgos anatómicos del cráneo utilizados en la práctica de la Antropología Física como indicadores visuales del sexo y establecer su utilidad como estimador del dimorfismo sexual en el ejemplo de la población chilena.

b.- Objetivos Específicos.

- a) Conocer, el valor predictivo de los rasgos anatómicos del cráneo utilizados como indicadores visuales del sexo.
- b) Determinar el valor predictivo de los métodos morfométricos para discriminar en cráneos el sexo de los individuos.
- c) Proponer un listado de rasgos anatómicos que al ser sometidos a análisis cuantitativo, sirvan de complemento en la estimación visual del sexo en cráneos de la población chilena actual.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS.

1) CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA.

La muestra que utilizaremos para esta investigación pertenece a la colección osteológica “Cementerio General”, creada entre 1960 y 1970 en virtud de que el Cementerio General debe realizar periódicamente resacas de esqueletos de tumbas y nichos que ya han sido ocupados por el lapso de tiempo por el cual se canceló el espacio en el cementerio. Al no existir familiares que reclamen las osamentas para su “reducción”, estos esqueletos son cremados o colocados en una fosa común según disponen los Libros Octavo y Noveno del Código Sanitario Chileno.

Esta colección tiene las ventajas de contar con el sexo y la edad están respaldados por las referencias funerarias al momento de efectuar la exhumación de las osamentas y, además, por ser un referente más o menos actual de población chilena de la región metropolitana de Santiago. Uno de los impedimentos al trabajar con esta colección, eso sí, es la extracción socioeconómica de los individuos a los cuales pertenecieron estos restos humanos dado que son grupos sociales de bajos ingresos socio-económicos.

Se trabajará con un total de 120 cráneos humanos adultos (mayores de 18 años, fusión de sutura eseno-occipital), compuesta por 60 individuos masculinos y 60 femeninos (ver tabla nº 1) de los cuales se registrarán datos de coordenadas matriciales tridimensionales según técnicas de Morfometría Geométrica. Se llevó a cabo el registro de 40 hitos homólogos del lado izquierdo del cráneo mediante un aparato digitalizador Microscribe G2 (Immersion Corp™) perteneciente al laboratorio de Antropología Física de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile y el conjunto de coordenadas obtenidos fue analizado mediante el programa Morphologica2 v2.5 (O'higgins y Jones, 1998). Se eligió el lado izquierdo del cráneo dado es el que tradicionalmente se utiliza para estimar el sexo (cf. Buikstra y Ubelaker (1994) y Walrath *et al.* (2004). En 27 casos se digitó el lado derecho del cráneo dado que de este lado el estado de conservación permitía registrar la totalidad de los hitos para gran parte de todo los rasgos del cráneo que van a ser analizados².

² Para cada estructura anatómica se realizaron pruebas de diferencias de medias entre las matrices de coordenadas (estadístico detallado más adelante) para verificar si hay se existen diferencias entre aquellas digitadas del lado derecho y las digitadas del lado izquierdo. Para todas las estructuras no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) lo que permite aplicar los algoritmos de rotación de coordenadas del programa MORPHOLOGIKA v2.5

El conjunto de hitos homólogos y su ubicación en el cráneo se puede revisar en el primer apartado de la sección Anexos. Además, para el registro de coordenadas tridimensionales cada cráneo fue colocado en un craneóforo para fijar cada objeto en el plano de Frankfurt (tomado por la alineación horizontal de los hitos orbitales con el hito porion del lado izquierdo). Previo al uso del digitalizador, los hitos anatómicos fueron marcados con un lápiz grafito 2HB (para después poder borrar las marcas) y, además, los hitos de la línea media de la escama frontal fueron trazados siguiendo una lienza elástica colocada sobre el plano sagital del cráneo, fijada en la apertura piriforme de la nariz y en el tercio anterior de la sutura sagital.

Posteriormente, cada cráneo fue fotografiado en sus 6 normas a una distancia de 1 metro, con una escala y conservando su posición en el plano ya mencionado. Para las vistas basal y superior la alineación se realizó ajustando las verticales con el plano sagital del cráneo y la vertical entre el porion y orbitales del lado izquierdo; las verticales se aproximaron a la de una plomada de construcción.

El error intraobservador asociado al registro de los hitos anatómicos y, por ende, a la medición de los rasgos en cuestión, va ser controlado mediante una prueba repetibilidad de las mediciones. Esta prueba, aplicada por O'Higgins y Jones (1998), consiste en registrar los 40 hitos anatómicos en el mismo cráneo, 3 veces durante 5 días, con intervalos de una hora entre cada medición y, en paralelo, realizar las mismas mediciones en 17 cráneos distintos. El error de las mediciones se verifica en la dispersión de los componentes principales de la forma de la muestra donde se espera, para un bajo error de medición, que las mediciones repetidas de un cráneo formen una nube de agrupación más densa en relación a las mediciones realizadas en distintos cráneos que se ubican dispersas aleatoriamente en torno a los 2 primeros componentes principales.

Una vez verificado el error del observador y realizadas las mediciones en toda la muestra, el siguiente paso consiste en particionar la base de datos para trabajar una base de datos que contiene sólo las coordenadas la estructura a estudiar, trabajando por separado con ellas. Por lo tanto, en lugar de analizar el cráneo completo para cada rasgo anatómico, sólo se trabajará con el conjunto de hitos propuestos para resumir y analizar la forma de cada estructura anatómica: glabella y perfil frontal, proceso mastoideo, hueso cigomático y proceso cigomático del temporal, forma de la orbita.

La composición final de la muestra para cada rasgo estará sujeta a variaciones en relación al número total de la muestra, dado que se debieron omitir de los análisis

aquellas estructuras que tuvieran un hito perdido. La composición final de cada submuestra se puede revisar en la tabla nº 2.

Tabla nº 1. Datos generales de la muestra

Total de cráneos adultos digitados	120
Cráneos masculinos	60
Cráneos femeninos	60
Cráneos digitados del lado derecho	27

Tabla nº 2. Datos de las muestras para cada rasgo anatómico

Rasgo Anatómico	Total cráneos de la muestra	Cráneos femeninos	Cráneos masculinos	Cráneos digitados del lado derecho
<i>Glabela y perfil frontal</i>	119	60	59	25
<i>Proceso mastoides</i>	117	57	60	26
<i>Hueso cigomático y proceso cigomático del temporal</i>	112	55	57	23
<i>Forma de la orbita</i>	118	60	58	19

La elección de estos rasgos responde al uso frecuente de estas estructuras para la estimación visual del sexo. En algunos casos se evalúan por la alta ponderación de estos rasgos (glabela, proceso mastoides y proceso cigomático del temporal), o sea, por que tienen el mayor peso para las estimaciones según Ascadi y Nemeskeri (1970) y Walrath *et al.* (2004) para estimar sexo. El resto fue elegido por la falta de claridad a la hora de describir y apreciar la varianza de un rasgo en función del dimorfismo sexual (hueso cigomático y forma orbita) y para conocer el peso que podría tener dentro de la muestra de estudio.

De este modo, nuestra investigación busca conocer mediante análisis cuantitativo qué rasgos son más significativos al estimar el sexo. Para ello se discutirán los resultados obtenidos mediante análisis exploratorio en el *Size & Shape Space*, proceder ya fundamentado por el componente alométrico del dimorfismo sexual en *Homo sapiens* (Schaefer *et al.*, 2004) y el papel del tamaño al discriminar sexo en algunas de estas estructuras, como el proceso mastoides (Paiva y Segre, 2003).

2) MÉTODOS.

Como ya fue aclarado en el marco teórico, se aplicarán métodos de morfometría geométrica para el análisis de matrices de coordenadas tridimensionales.

Estadísticamente, para cada rasgo se aplicará un test de permutaciones para diferencias en medias entre individuos femeninos y masculinos. Para esto, se analizarán las matrices de coordenadas una vez removidas las distorsiones originadas por diferencias de tamaño, traslación y rotación.

Posteriormente, se procede a realizar los análisis exploratorios, en el *Size & Shape Space* (incluyendo ahora la variable tamaño como logaritmo del centroide) de los rasgos que rindieron diferencias significativas entre cada sexo para graficar la distribución los individuos entorno a los dos primeros componentes principales de este espacio (*Size & Shape Principal Components*, SSPCs) y hacer un análisis discriminante de aquellos componentes que resuman más del 1% de la varianza. Previo al análisis discriminante, se midió el grado de correlación entre el SSPC 1 y el logaritmo del centroide para verificar el supuesto de alometría según Mitteroecker *et al.* (2004).

Se decidió realizar un análisis discriminante por etapas para determinar cual de las variables de forma y tamaño de cada rasgo (*Size & Shape Principal Components*, SSPCs), influyen significativamente en la discriminación del sexo. Como primer paso, se aplicó para cada rasgo con diferencias significativas entre hombres y mujeres, y luego con los SSPCs significativos de los tres rasgos en conjunto pero, en este último caso, sólo se analizaron a los individuos en que se pudo registrar todas las coordenadas de cada estructura anatómica.

Finalmente, se construirá una seriación virtual de los rasgos significativos para apreciar aquellas variables que permiten la discriminación del sexo. También se realizará una seriación métrica de los rasgos para su aplicación en estimaciones visuales del sexo. Las fotografías de cada cráneo se utilizarán para realizar aproximaciones más realistas a esta seriación y poder apreciar las diferencias en los objetos reales.

V. RESULTADOS.

1) ERROR INTRA OBSERVADOR.

Se realizó un GPA y un PCA sobre las 32 mediciones realizadas para medir este error. Las 15 mediciones³ hechas sobre el mismo cráneo (triángulos blancos en Fig. 4)) se agruparon concentradamente en el extremo derecho de los ejes PC 1 (40.7% de la varianza) y el PC 2 (13.63% de la varianza). El individuo que se desprende ligeramente de la agrupación de repetidos presenta variación en el hito 2 (*Frontal*) que se ubica un poco más abajo respecto al resto del grupo de repeticiones. Los cráneos distintos (círculos negros) se distribuyeron aleatoriamente en la gráfica. Todo esto permite señalar que el error introducido por el observador, al momento de registrar las coordenadas, se debe sólo al azar y no influye de manera sistemática en los resultados finales de esta investigación.

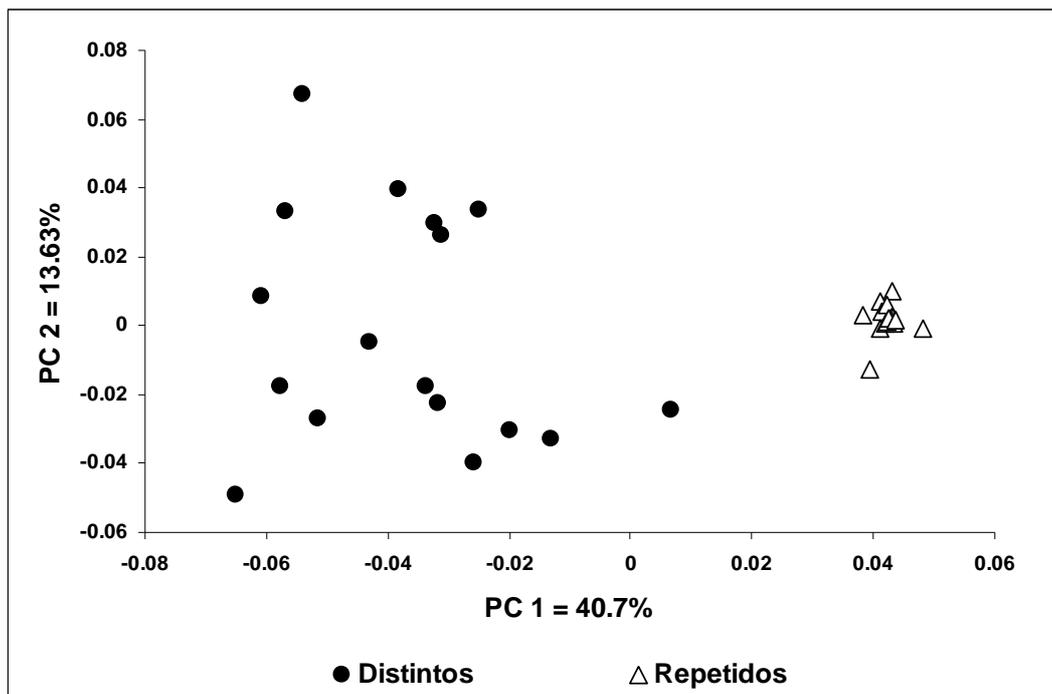


Figura 4. Distribución de las 15 mediciones repetidas en un mismo cráneo y las 17 mediciones en distintos cráneos en el espacio morfológico que representa el 54.34% de la varianza total (PC1 + PC2)

³ Esta prueba se aplicó sobre el mapa de homologías de 40 hitos.

2) ANÁLISIS POR RASGOS ANATÓMICOS

A.- Glabela y perfil frontal.

Para el análisis en conjunto de estas dos estructuras, el test de permutaciones de diferencias de medias arroja diferencias significativas ($p < 0.001$, 1000 permutaciones) entre las matrices de coordenadas de individuos masculinos y femeninos. Al separar las coordenadas que registran solamente la forma de la glabela y del perfil frontal, los resultados fueron sólo significativos para la forma de la glabela ($p < 0.001$) (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del test de permutación de medias para las matrices de coordenadas que resumen la forma de la glabela y el perfil frontal del cráneo. Los resultados expuestos corresponden a 1.000 iteraciones.

Estructuras	Procrustes chord difference in means	Permuted difference	Significance of difference
<i>Glabela y perfil frontal</i>	0.036	0.0149	<i>p < 0.001</i>
<i>Perfil frontal</i>	0.0265	0.0164	<i>p = .06</i>
<i>Glabela</i>	0.0419	0.0197	<i>p < 0.001</i>

Estos resultados confirman que la glabela es un carácter claramente dimórfico respecto del sexo de los individuos, incluso cuando se agrega el perfil frontal. Al analizar solamente el perfil frontal, el valor de p no fue significativo ($p = 0.06$).

Para el análisis de los componentes de la forma y el tamaño, la dispersión de los datos en torno al SSPC1 y 2, que resumen 55.41% de la varianza (Fig. 5), indican una separación entre los cráneos femeninos y masculinos, separación que se ajusta a la variación morfológica continua que se puede observar para este rasgo. Al aplicar la función de placa delgada para este rasgo se puede apreciar, para el SSPC1, la expansión de la glabela en los individuos masculinos. El SSPC2 no muestra una clara separación entre sexos pero sí indica la expansión y/o desarrollo de la eminencia supraorbitaria que tiende a alcanzar la prominencia de la glabela o incluso a superarla (Fig. 5). Por otra parte, la correlación entre el SSPC1 (34.36% de la varianza) y el tamaño del centroide es de 0.975 (Fig. 6).

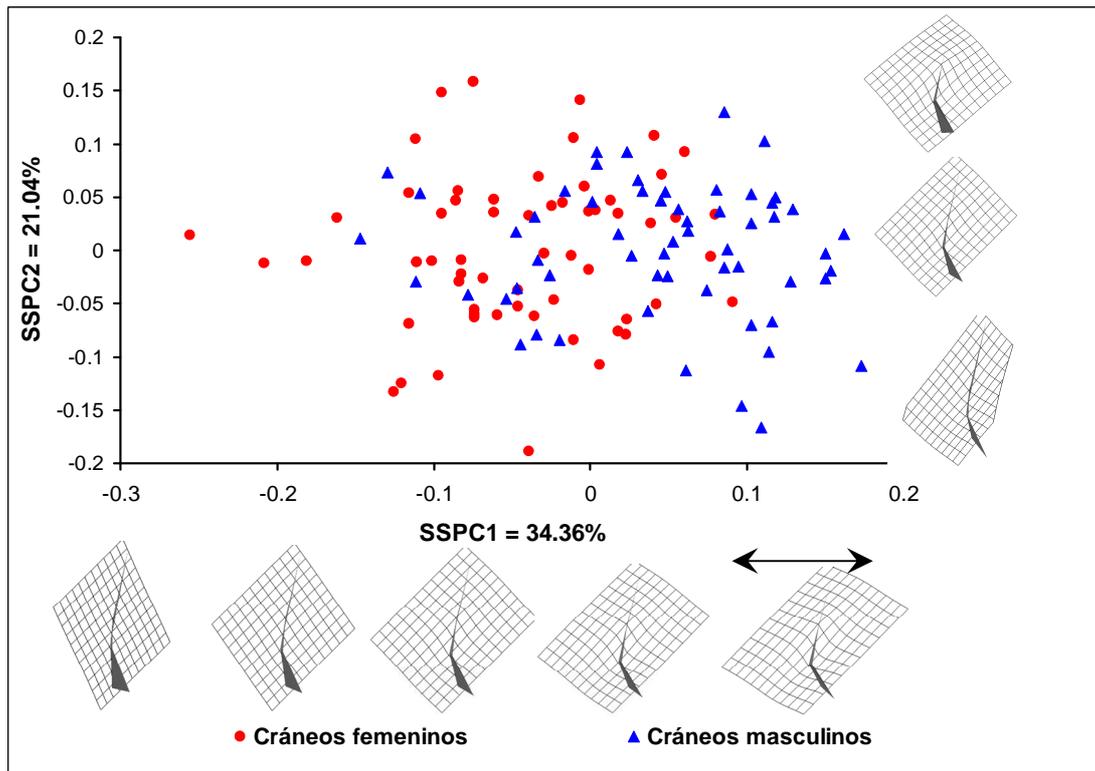


Figura 5. Distribución de la muestra entre los dos primeros SSPCs (55.41% de la varianza). En el margen inferior se observa la variación de la forma en el espacio morfométrico de mayor varianza. Es manifiesta la expansión de las grillas en torno a la glabella (flecha) desde los individuos femeninos a los masculinos. Un efecto similar se aprecia para la variación en el SSPC2 (a la derecha, siguiendo el valor 0 del SSPC1), esta vez afectando la relación de expansión entre glabella y la eminencia supraorbitaria. De superior a inferior se observa como la proyección de la glabella se contrae en relación a la expansión de la eminencia. Al incluirse el tamaño en el análisis de PCs, las expansiones reflejan también el aumento del tamaño de las estructuras. Vista lateral de la glabella, figuras del centro corresponden al consenso.

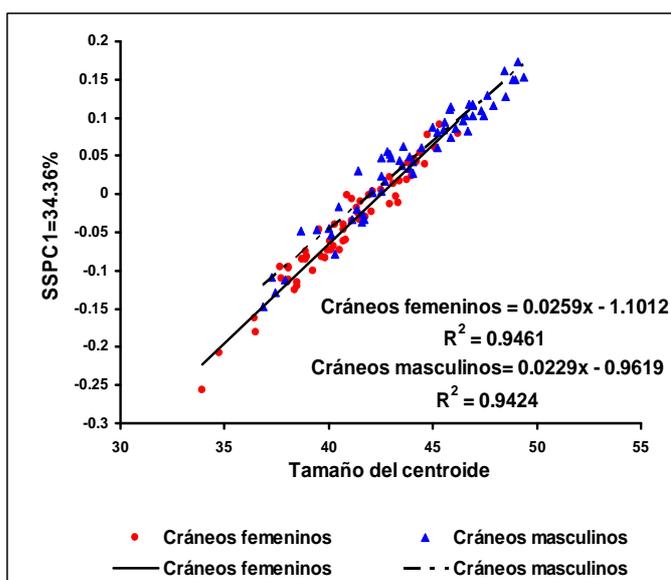


Figura 6. Correlación entre el tamaño del centroide y el SSPC1. En la gráfica se aprecian las líneas de regresión para cráneos femeninos y masculinos.

Las rectas de regresión indican un claro paralelismo entre individuos femeninos y masculinos, reforzando el supuesto alométrico para la variación de la forma de estos rasgos.

El análisis discriminante de los SSPCs que resumen el 98.32% de la varianza mostró un porcentaje de acierto del 81.51% (80% para femeninos y 83.05% para masculinos, $p < 0.05$). Al analizar sólo los SSPCs significativos, (SSPC 1 – SSPC 5= 40.53% de la varianza) se obtuvo un porcentaje acierto del 76.5% (73.3% para femeninos y 80% para masculinos). (Tabs. 4-5).

Tablas 4 y 5. Se presentan los resultados del análisis discriminante con las variables significativas de la forma y el tamaño de la glabella. En la tabla 4 están los valores de discriminación de estas variables y en la tabla 5 la matriz de clasificación.

n= 119 F(1,116)=31.232	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (1,116)	p-level	Toler.	
SSPC1	0.914339	0.710887	47.17640	0.000000	0.966335	Tabla 4
SSPC5	0.735653	0.883558	15.28737	0.000156	0.966335	
Total	0.649			$p < 0.000$		

	Porcentaje correctos	Femenino p=.50420	Masculino p=.49580
Tabla 5	Femenino	73.33334	44
	Masculino	79.66102	12
	Total	76.47059	56

B.- Proceso mastoides.

El test de permutación de medias aplicado a las matrices de coordenadas del proceso mastoides resulto con diferencias significativas entre la media de las coordenadas de cráneos femeninos y masculinos ($p < 0.012$; Procrustes chord difference in means= 0.0319; Permuted difference= 0.0229). Con estos resultados Aplicamos los siguientes análisis.

La distribución de los especímenes en torno a los dos primeros SSPCs nuevamente entrego una clara separación entre ambos sexos, más evidente en el primer eje (SSPC1= 32.1%,y SSPC2= 24.8% de la varianza total).(Fig.7). La función de placa delgada (TPS) permite observar la expansión uniforme de las grillas en función del aumento del tamaño del proceso mastoides dada la inclusión de la variable tamaño (logaritmo del centroide); la única contracción de grillas se puede notar ligeramente en el cambio de dirección del hito mastoides desde una dirección postero caudal (cráneos femeninos) a antero caudal (cráneos masculinos). La baja deformación del resto de las

grillas indican sólo cambios en los ejes anatómicos mayores, vale decir, cambios que solo se reflejan alteraciones en los ángulos que se pueden interpretar en función de la inclusión de la variable tamaño en la visualización de los objetos. Para el SSPC2 los cambios reflejan, desde valores positivos a negativos, una torsión mas clara de las grillas que se expanden en el área en torno a la porción inferior del proceso mastoides, área enmarcada por los hitos *escotadura mastoidea posterior*, *mastoides* y *timpanoescamoso*, siendo en este último hito donde se puede ver la mayor expansión de las grillas. Estas expansiones también implican un aumento en el tamaño de las estructuras por incluirse su variable correspondiente (el logaritmo del centroide) (Fig. 7).

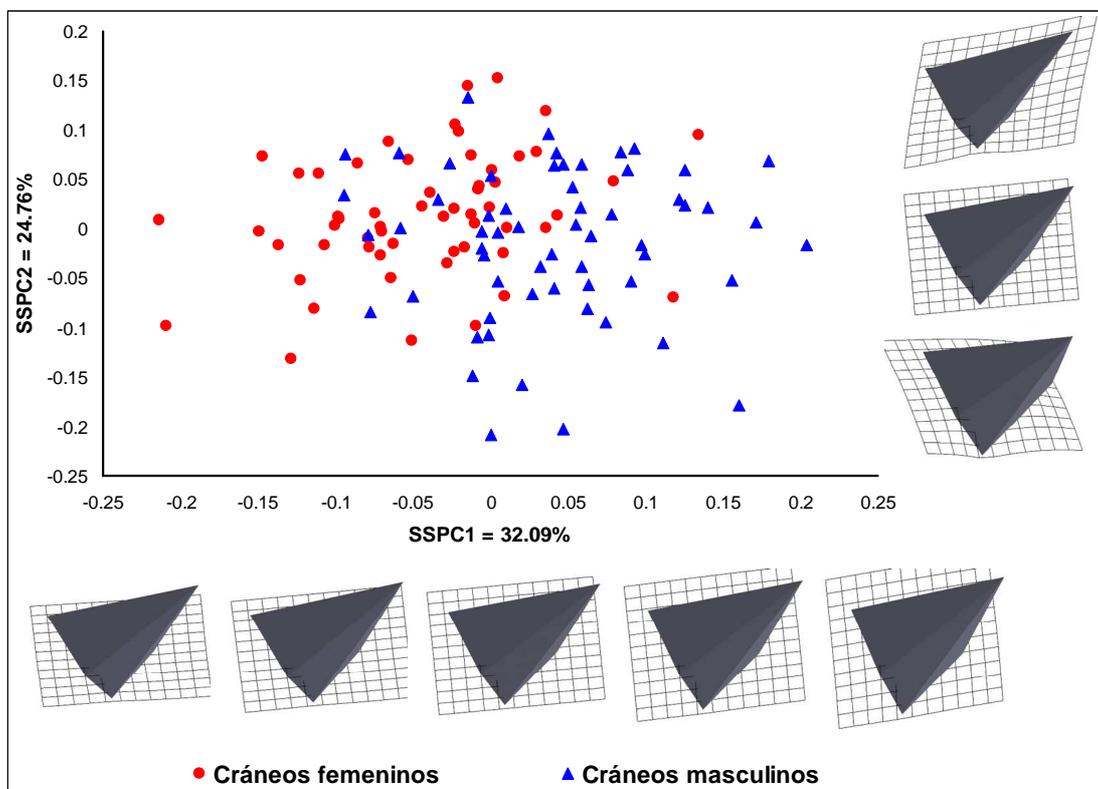


Figura 7. Distribución de cráneos femeninos y masculinos en torno a los SSPCs 1 y 2 (56.84% de la varianza de la muestra). Al igual que con el SSPC1, nótese como la muestra se separa en torno al SSPC2 pero en un menor grado. Estos resultados, como se verá en el texto, concuerdan con los del análisis discriminante. Vista lateral del proceso mastoides, las figuras del centro corresponden al consenso.

La correlación entre el tamaño del centroide con el SSPC1 es de 0.98 y, nuevamente, las rectas de la regresión de cada sexo, del tamaño del centroide sobre el SSPC1, se mantienen paralelas entre sugiriendo que la forma del proceso mastoides de

ambos sexos están sujetas a la misma variación respecto al tamaño. Los coeficientes de regresión también son muy similares (Fig. 8)

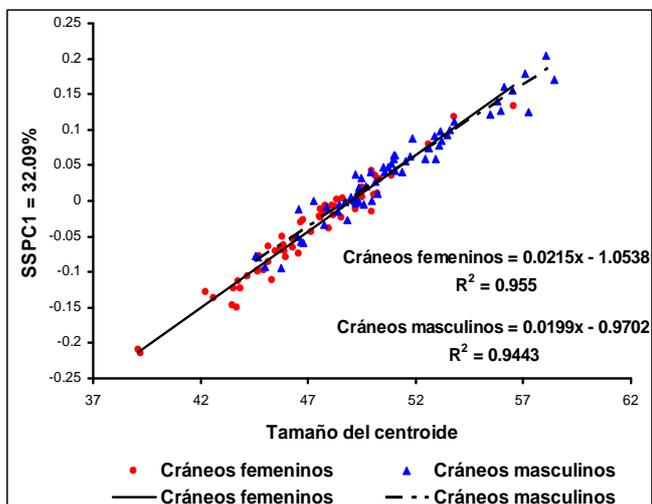


Figura 8. Gráfico de la correlación entre el tamaño del centroide y el SSPC1 (32.09% de la varianza). Los valores de la regresión de estos datos son muy similares entre cráneos masculinos y femeninos, al igual que sus respectivas pendientes

El análisis discriminante para el proceso mastoides se realizó con los 9 SSPCs (100% de la varianza). Con todas las variables dentro del análisis, se obtuvo una discriminación significativa entre los sexos ($p < 0.0001$) con un acierto total en las clasificaciones de 80.34% (80.7% para cráneos femeninos y 80% para los masculinos). Sólo SSPCs 1 y 2 entregaron valores significativos para las clasificaciones. Con los SSPCs 1 y 2 ($p < 0.001$ y $p = 0.011$, respectivamente) las matrices de clasificación rindieron un 78.63% de discriminación total (80.70% femeninos, 76.67% masculinos) (Tabs. 7-8).

Tabla 6. Valores discriminantes de los SSPCs 1 y 2 del proceso mastoides.

n= 117, F(2,114)= 26.37	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (1,114)	p-level	Toler.
SSPC1	0.959930	0.712236	46.05924	0.000000	0.984069
SSPC2	0.723767	0.944637	6.68129	0.011005	0.984069
Total	0.683			$p < 0.0000$	

	Porcentaje correctos	Femenino p=.48718	Masculino p=.51282
Femenino	80.70175	46	11
Masculino	76.66666	14	46
Total	78.63248	60	57

Tabla 7. Matriz de clasificación de cráneos por sexo según los SSPCs 1 y 2 del proceso mastoides. Respecto a glabella se obtiene un ligero aumento.

C.- Proceso cigomático del temporal.

La forma del proceso cigomático del temporal muestra diferencias significativas entre las medias de las matrices de coordenadas de cráneos femeninos y masculinos ($p=0.02$, Procrustes chord difference in means= 0.0257, Permuted difference= 0.0189) . La correlación del tamaño del centroide con el SSPC1 de esta estructura es de $r=0.99$ (Fig. 9).

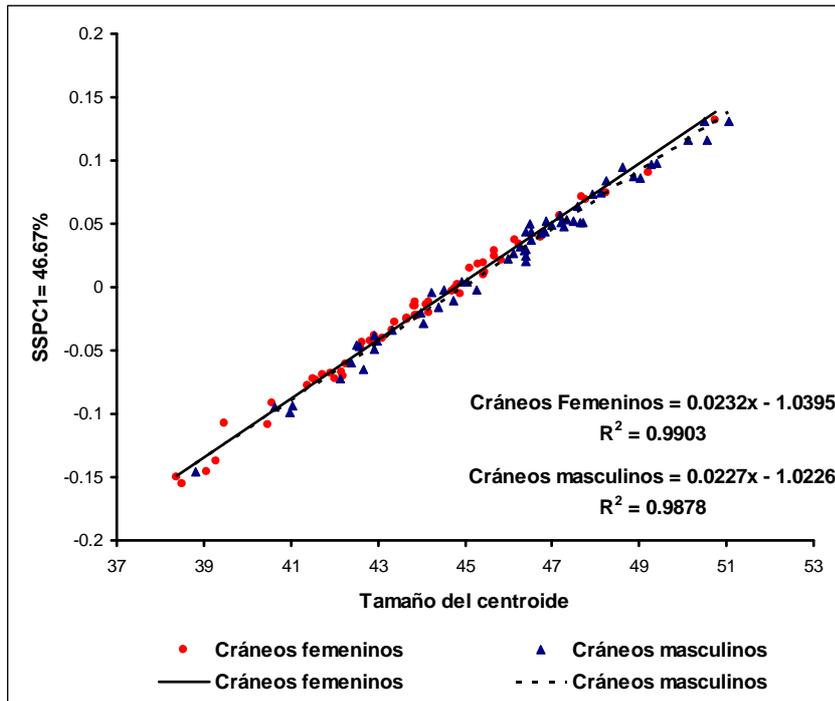


Figura 9. Correlación entre el tamaño del centroide y el SSPC1 (45.67% de la varianza). Se puede notar el alto valor de las regresiones del tamaño sobre la forma y la similitud de los valores de las ecuaciones de regresión para ambos sexos. Las rectas de regresión confirman esta similitud.

Al apreciar la variación de la forma en torno a los SSPCs 1 y 2 (58.85% de la varianza, $N=112$) solo observamos variación en torno a los ejes anatómicos mayores del proceso cigomático tanto en el SSPC1 (45.67% de la varianza) como en el SSPC2 (13.18% de la varianza) lo cual nos interpretamos como variación concerniente al tamaño de la estructura. La variación de la forma estaría respondiendo, para el SSPC1 al largo del proceso cigomático del temporal desde la sutura cigotemporal hasta la fosa mandibular, con una forma más alargada en individuos masculinos. En el SSPC2, que no separa muy bien a los sexos, la forma varía en relación a la altura esta estructura (Fig. 9), rasgo que es el que se utiliza en la literatura para estimar visualmente el sexo (Ferembach *et al.*, 1980; Walrath *et al.*, 2004).

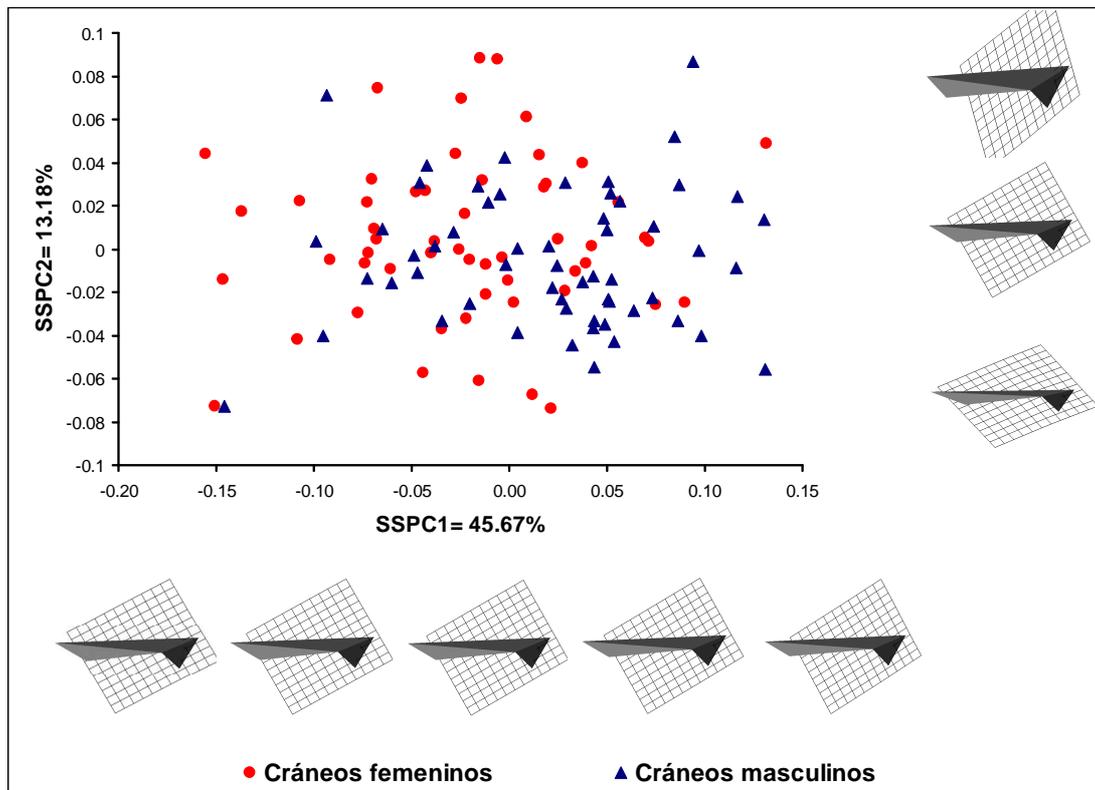


Figura 10. SSPCs 1 y 2 (58.85% de la varianza). Inferior al gráfico se puede observar la separación entre individuos femeninos y masculinos pero la nula variación altamente localizada de los componentes de forma y tamaño según la configuración de la grillas de deformación. Para el SSPC1 se nota como la estructura se alarga hacia individuos masculinos. A la derecha, para el SSPC2 la variación se identifica el aumento del grosor del proceso cigomático del temporal. El proceso cigomático esta visto desde lateral; figuras del centro corresponde al consenso.

Para el análisis discriminante de esta estructura se incluyeron los primeros 9 SSPCs (99.98% de la varianza de la muestra). Los resultados con todas las variables independientes del modelo rindieron una discriminación significativa ($p < 0.0001$, Lambda de Wilks= 0.591) con 82% de los casos clasificados correctamente (87.27% femeninos, 77.19% masculinos). Las variables significativas para la discriminación fueron los SSPCs 1, 4 y 5 (juntos resumen el 60.79% de la muestra).

La discriminación obtenida sólo con estos SSPCs tuvo un nivel de significación de $p < 0.0001$ con un Lambda de Wilks= 0.6346 (Tabla 8).. Las matrices de clasificación de este nuevo análisis discriminaron positivamente el 75.89% de los casos (80% femeninos y 71.92% masculinos) lo cual disminuyó bastante la capacidad de acierto de estas variables, lo cual se condice con los valores de lambda para cada prueba.

Tabla 10. Resultados del segundo análisis discriminante para los SSPCs significativos del proceso cigomático del temporal.

n=112 F(3,108)=20.725	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (1,108)	p-level	Toler.
SSPC1	0.743327	0.853782	18.49594	0.000037	0.957893
SSPC4	0.662094	0.958533	4.67222	0.032863	0.985592
SSPC5	0.863857	0.734657	39.00732	0.000000	0.953133
Total	0.6346			p< 0.0001	

D.- Hueso Cigomático.

El test de permutación de medias entre la matrices de coordenadas de individuos femeninos y masculinos arrojaron diferencias significativas para la forma de esta estructura ($p < 0.001$, Procrustes chord difference in mean= 0.0339, Permuted difference= 0.246). El resultado de análisis de los componentes de la forma incluyendo el logaritmo del centroide se puede ver en la figura 11. De estos datos, la correlación de entre el tamaño del centroide y SSPC1 (31.36% de la varianza) es de $r = 0.956$, repitiéndose la tendencia general de mantenerse una fuerte semejanza entre los resultados de la recta de regresión para ambos sexos (Fig. 12).

En cráneos masculinos la expansión de la forma del hueso cigomático observada en SSPC1 (31.36% de la varianza) se expresa como una deformación leve en el sistema de grillas cartesianas.. En el SSPC 2 (11.71% de la varianza) la deformación de las grillas es mucho más evidente con la expansión del cuerpo hacia los puntajes positivos de este componente.

El análisis discriminante contempló los primeros 14 SSPCs (97.74% de la varianza). Con estas variables, se obtuvo una discriminación significativa del sexo ($p < 0.0001$, lambda de Wilks= 0.543) con un 79.46% de aciertos para toda la muestra (78.18% femeninos, 80.7% masculinos) donde las variables significativas para la discriminación fueron el SSPC1, 2 y 7 (48.31% de la varianza entre los tres componentes). La discriminación del sexo realizada sólo con estas tres variables (Tabla 11) tuvo un 86.61% de acierto (83.64% femeninos, 89.47% masculinos) con un nivel de significación de $p < 0.0001$ y un lambda de Wilks= 0.597.

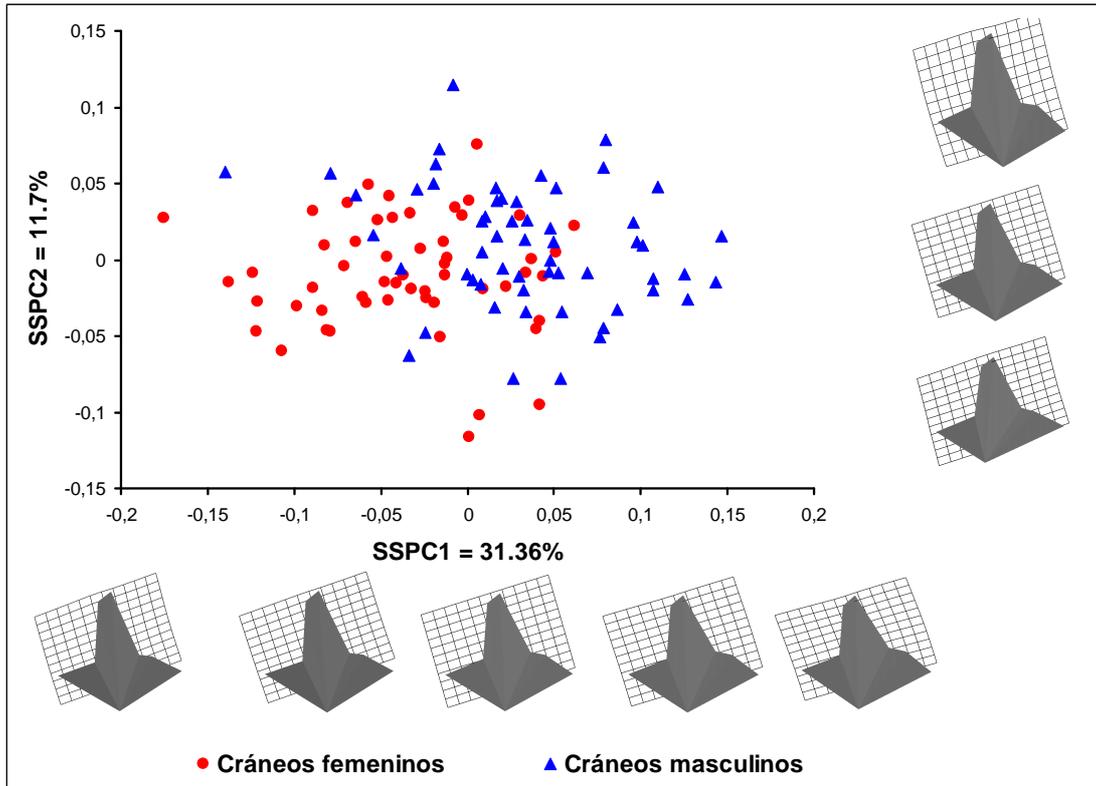


Figura 11. Variación de la forma del hueso cigomático en torno a los SSPCs 1 y 2 (43.07% de la varianza). Para el SSPC1, los esquemas inferiores dan cuenta de la expansión del tamaño del cuerpo de hueso cigomático del lado en que agrupan los cráneos masculinos; mientras que para el SSPC2, a la derecha, la deformación de las grillas producto de esta expansión ya es más evidente para la parte superior de la grafica. Vista lateral del hueso cigomático, figuras a los centros corresponden al consenso.

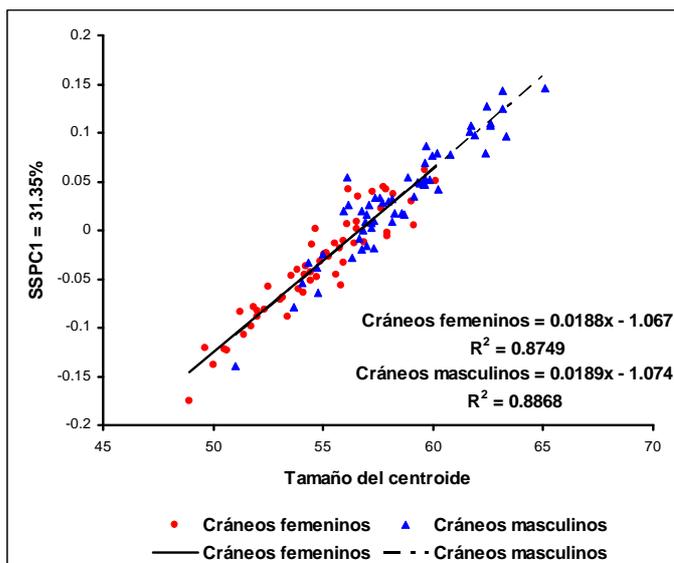


Figura 12. Gráfico de la regresión de Tamaño del centroide sobre el SSPC1 (31.35% de la varianza). Los valores de esta regresión manifiestan tendencias similares tanto cráneos femeninos como masculinos.

Tabla 11. Variables de forma y tamaño (SSPCs) discriminantes del sexo para el hueso cigomático.

n= 112 F(3,108)=24.311	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (1,108)	p-level	Toler.
SSPC1	0.884429	0.674900	52.02374	0.000000	0.947265
SSPC2	0.652796	0.914376	10.11332	0.001921	0.968511
SSPC7	0.656577	0.909111	10.79738	0.001371	0.966806
Total	0.597			p< 0.0001	

E.- Forma de la orbita.

No se observaron diferencias significativas entre las medias de las matrices de coordenadas dado que el test de permutación de medias arrojó un valor de $p= 0.226$ (Procrustes chord difference in means= 0.216, Permuted difference= 0.239). Con estos resultados se omite continuar con el análisis discriminante de las variables de forma y tamaño pero, para fines de registro se muestran los resultados para la variación de la forma de este rasgo en torno a los SSPCs 1 y 2 (46.41% de la varianza) (Fig. 13).

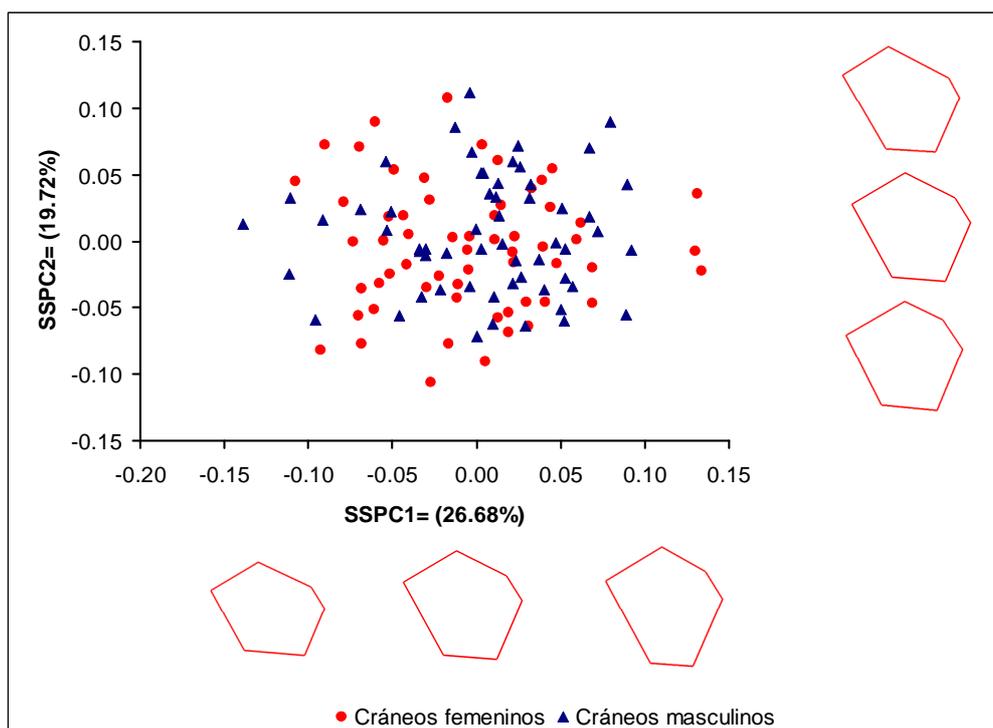


Figura 13. Variación de la forma de la orbita entorno a los SSPCs 1 y 2 (46.41% de la varianza). Sólo se grafica la forma de la orbita sin grillas de deformación. Para el SSPC1 la forma varía, desde valores negativos a positivos, por la aproximación del hito de la sutura cigomaxilar con la máxima curvatura inferolateral de la orbita. Para el SSPC2 varia la posición del agujero supraorbitario en el margen superior de la orbita. Vista frontal de la orbita, con el margen lateral a la derecha y el medial a la izquierda, figuras del centro corresponden al consenso.

F.- Análisis discriminante de los rasgos morfológicos significativos.

En esta etapa de obtención de resultados, se procedió con la realización de un análisis discriminante que considerara sólo a aquellos componentes de la forma y el tamaño de rasgos anatómicos cuyas matrices de coordenadas hubieran rendido valores estadísticamente significativos en los análisis discriminantes previos.

Para esto se utilizó: i) de glabella, los SSPCs 1 y 5, ii) del proceso mastoides, los SSPCs 1 y 2, iii) del proceso cigomático del temporal, los SSPCs 1, 4 y 5, y iv) del hueso cigomático, los SSPCs 1, 2 y 7.

Cabe recordar que sólo se analizaron los individuos de los cuales se pudo obtener las coordenadas para todas estas estructuras (N= 108; 55 femeninos y 53 masculinos). Con estas variables se obtuvo una discriminación significativa del sexo, $p < 0.0001$, con un lambda de Wilks= 0.423, mucho más bajo que los valores de lambda que se obtuvieron para cada estructura analizada independientemente. En total se obtuvo un 89.81% de discriminación del sexo de la muestra, con el 92% de cráneos femeninos clasificados y el 87.5% de los cráneos masculinos clasificados correctamente (Tabla 12).

Tabla 12. Valores de los resultados del análisis discriminante de todas las variables del modelo final.

n= 108 F(10,97)= 13.22		Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (1,97)	p-level	Toler.
Glabela	SSPC1	0.423749	0.998726	0.12373	0.725790	0.641194
	SSPC5	0.452486	0.935299	6.71021	0.011063	0.797418
Proceso mastoides	SSPC1	0.453682	0.932832	6.98447	0.009587	0.770413
	SSPC2	0.424390	0.997216	0.27079	0.603989	0.861137
Hueso cigomático	SSPC1	0.468301	0.903713	10.33502	0.001773	0.598676
	SSPC2	0.446745	0.947317	5.39441	0.022292	0.754173
	SSPC7	0.453995	0.932189	7.05613	0.009237	0.892829
Proceso cigomático del temporal	SSPC1	0.441383	0.958825	4.16549	0.043972	0.816999
	SSPC4	0.427707	0.989483	1.03097	0.312456	0.871450
	SSPC5	0.434695	0.973576	2.63265	0.107933	0.756564
Total		0.423			$p < 0.0001$	

VI. DISCUSIÓN.

A partir del análisis morfométrico geométrico de las matrices de coordenadas registradas en cráneos de ambos sexos, se pudo constatar un dimorfismo sexual significativo en los rasgos anatómicos glabella, proceso mastoides, proceso cigomático del temporal y el hueso cigomático. Además de confirmar el dimorfismo sexual de la población para estos rasgos, con el uso de esta técnica fue posible visualizar la variación de la forma de dichas estructuras anatómicas en sus distintos grados de robusticidad según el sexo de los individuos. Respecto de esto último, uno de los resultados más interesantes es la posibilidad de apreciar la variación de la forma de estructuras como el hueso cigomático y el proceso cigomático del temporal, ya que hasta ahora se contaba con escasas descripciones que permitieran distinguir claramente los atributos dimórficos según el sexo (Walrath *et al.*, 2004). Por otra parte, los rasgos anatómicos que no rindieron diferencias significativas entre cada sexo se pueden descartar para su aplicación en la población chilena, particularmente la forma de la orbita para la que no se descubrieron diferencias significativas atribuidas al dimorfismo sexual. Finalmente, según nuestros resultados, la estimación del sexo basado en el perfil frontal debería tomarse con precaución a la hora de aplicar estos métodos.

Los componentes principales de la forma y el tamaño (SSPCs) de las estructuras anatómicas, así como el agrupamiento de cada espécimen en torno los dos primeros componentes de la forma permitieron corroborar estas diferencias y apreciar la variación de la forma de cada estructura para desarrollar descripciones precisas de cada estructura y aplicarlas en la estimación visual del sexo, además de esquematizar estas estructuras para cotejarlas con objetos reales (Figuras 5, 7, 10 y 11). Cabe destacar que el análisis discriminante de las variables métricas de los SSPCs que rindieron discriminaciones significativas en cada estructura, utilizados en conjunto generó un 89% de aciertos para la determinación del sexo.

Para la glabella, la variación se detectó en la proyección anterior de esta estructura desde los valores negativos del SSPC1 (asociado a individuos femeninos) a los valores positivos (individuos masculinos) concordando con descripciones ya publicadas para la estimación del sexo a partir de ese rasgo (Frembach *et al.*, 1980; Buikstra y Ubelaker, 1994; Walrath *et al.*, 2004; entre otros). En la figura 14 se puede ver la variación en el

grado de robusticidad de esta estructura de modo similar a los esquemas publicados por Walrath y colaboradores (2004)⁴.

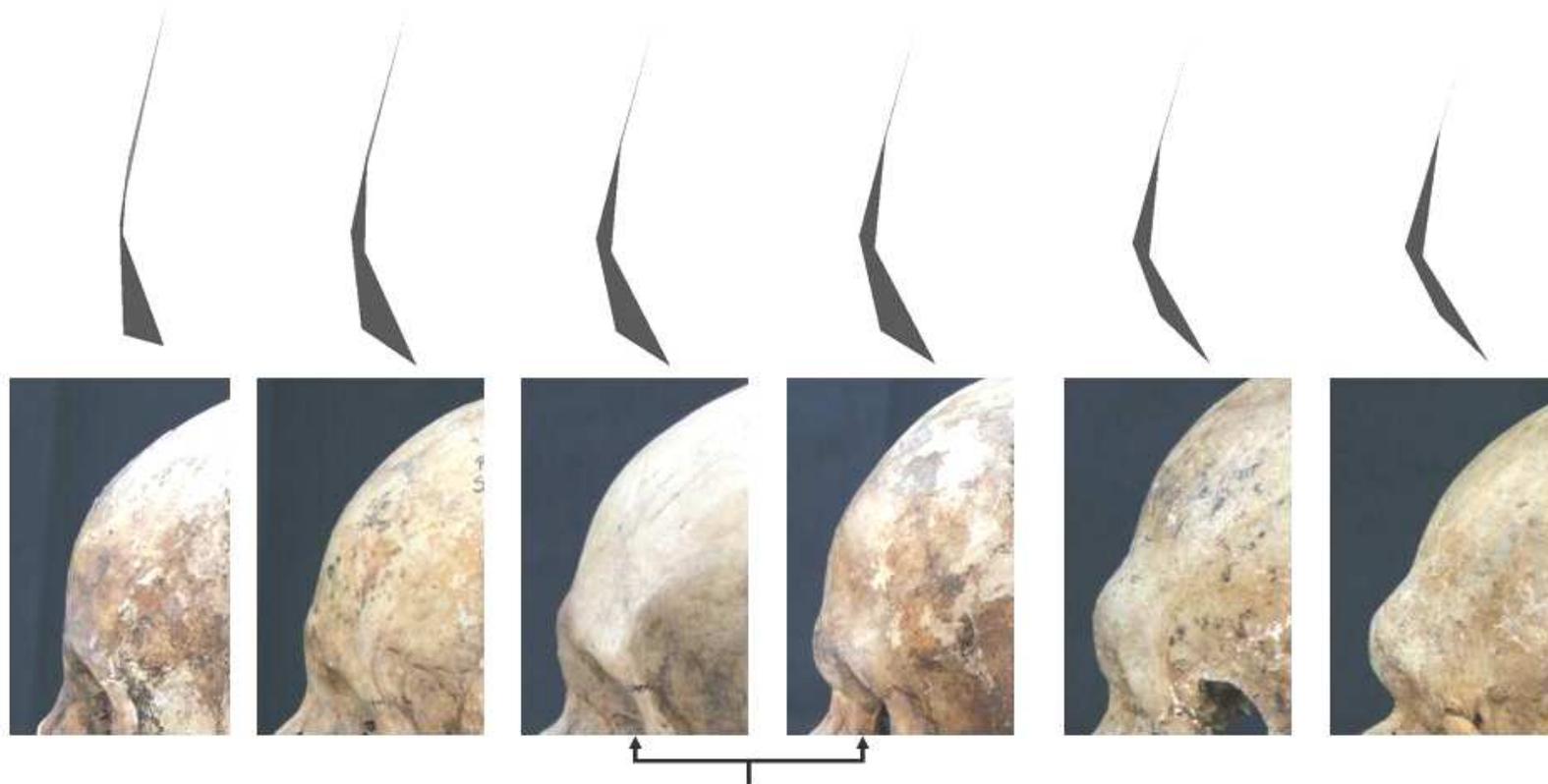
En el proceso mastoides se observó la misma variación predicha por la literatura (Frembach *et al.*, 1980; Buikstra y Ubelaker, 1994; Walrath *et al.*, 2004; Krenzer, 2006, Walker, 2008), variación que podemos describir asociándola al tamaño geométrico de esta estructura, desde individuos femeninos (menor tamaño) a masculinos (mayor tamaño); a la proyección de la punta, desde posterocaudal en cráneos femeninos a anterocaudal en cráneos masculinos; y por la expansión de los hitos en el margen posterior del proceso mastoides a medida que la forma aumenta su robusticidad y, por ende, su asociación con cráneos masculinos. Nuevamente, el esquema de la variación de esta estructura se aprecia en la figura 15.

En el hueso cigomático es donde se obtienen los resultados más prometedores dado que se pudo constatar que este rasgo varía positivamente según el sexo, variación que se expresa al aplicar a las matrices de morfocoordenadas la función de placa delgada. En la figura 16 podemos observar como la estructura aumenta en tamaño y se expanden los hitos entorno al cuerpo del hueso cigomático.

De manera contraria a lo descrito en la literatura como carácter discriminante para apreciar dimorfismo en el proceso cigomático del temporal (Frembach *et al.*, 1980; Walrath *et al.*, 2004) nosotros encontramos que el dimorfismo sexual de esta estructura, tiene mayor relación con el largo de la estructura que con su engrosamiento o aumento en altura (Fig. 10). El esquema 4 de los anexos contempla el SSPC1 de esta estructura, desde los valores menores a mayores que separan a mujeres y hombres, respectivamente.

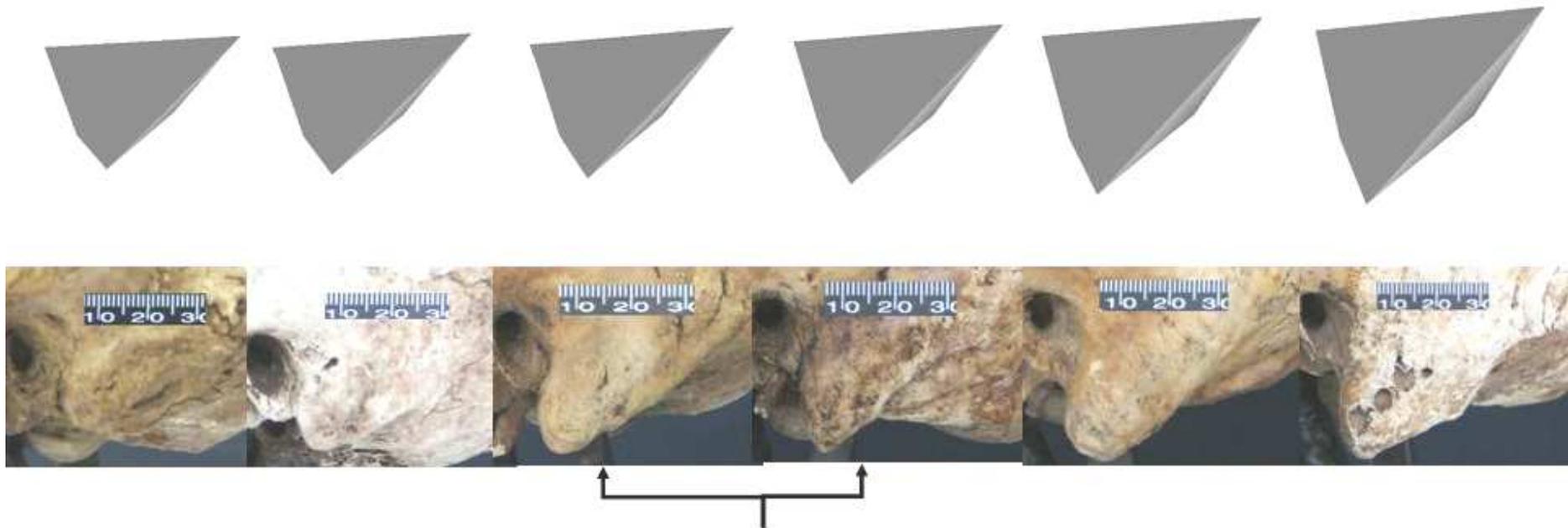
Finalmente, podemos decir que el uso del perfil frontal como rasgo a observar para la estimación del sexo debe ser tomado con precaución dado que no se lograron diferencias significativas entre mujeres y hombres, pero si sugerentes ($p= 0.06$). Respecto de la forma de la órbita, la forma y el tamaño de este rasgo no mostraron diferencias significativas respecto del sexo de los individuos, razón por la cual este rasgo no sería de utilidad para estimar visualmente el sexo en población chilena.

⁴ Utilizamos las formas que se obtienen desde los valores mínimos a máximos del SSPCs 1 según la variación vista por la función de placa delgada, junto con las fotografías de los cráneos de los individuos de los cuales se obtuvieron las coordenadas para el cálculo de la función.



Hiperfemenino Femenino Femeninos Indeterminados Masculinos Masculino Hipermasculino

Figura 14. Variación de la forma la glabella según el sexo de los individuos y según el grado de desarrollo de este carácter. De derecha a izquierda se observa el carácter correspondiente a la expresión de un individuo hiperfemenino, femenino, indeterminados femenino y masculino respectivamente, masculino e hipermasculino. Abajo, fotos de cráneos de la muestra de colección Cementerio General, Laboratorio de Antropología Física de la Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile. De derecha a izquierda: B0316, femenino; B0300, femenino; B0226, femenino; B0345, masculino; B0101, masculino; B0365, masculino).



Hiperfemenino Femenino Femeninos Indeterminados Masculinos Masculino Hipermasculino

Figura 15. Variación de la forma y tamaño del proceso mastoides desde la expresión hiperfemenina del carácter a la expresión hipermasculino. Abajo, fotos colección Cementerio General, de derecha a izquierda: B0143, femenino; B0304, femenino (foto del lado derecho, rotada); B0285, femenino; B0015, masculino; B0327, masculino; B0034, masculino (foto del lado derecho, rotada).

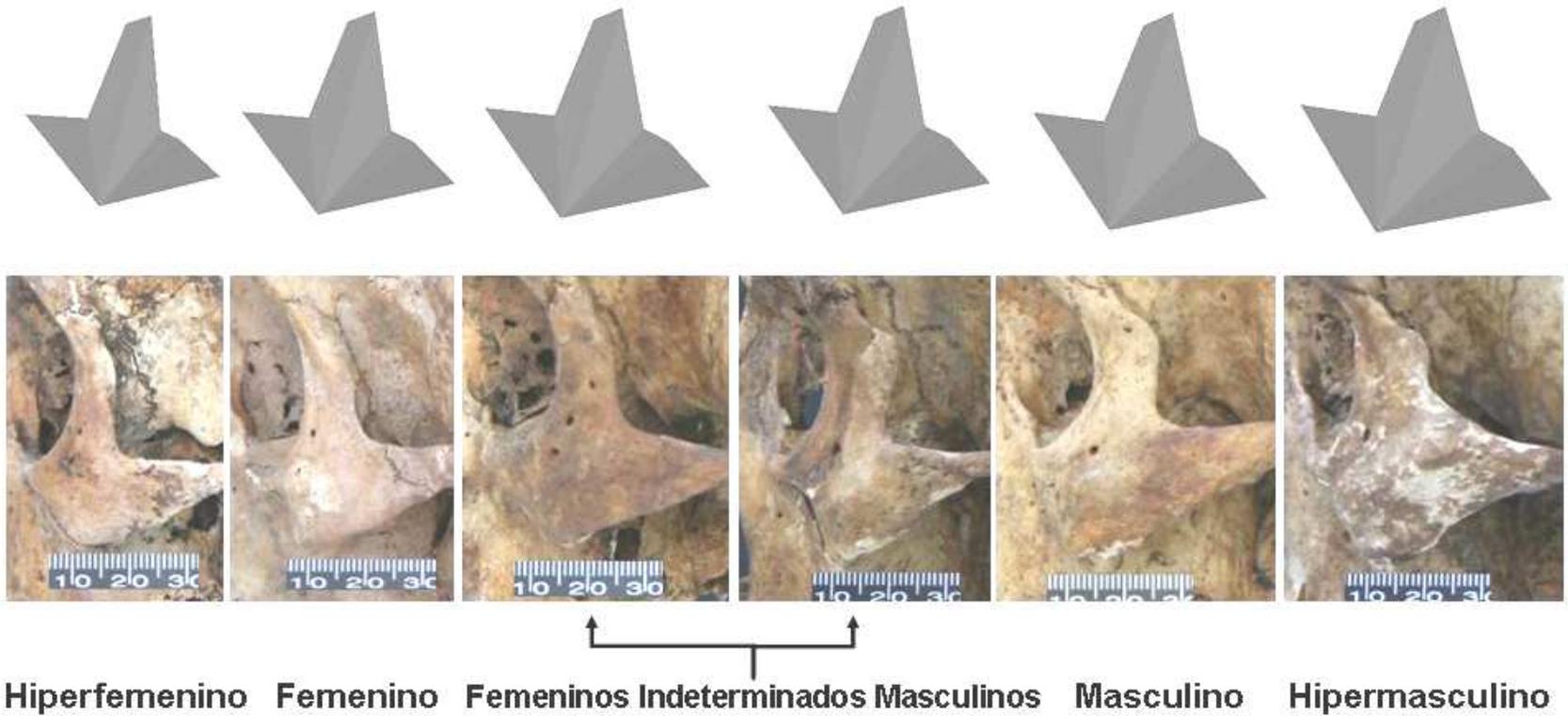


Figura 16. Variación de la forma y tamaño del hueso cigomático desde un hueso hiperfemenino a hipermasculino. Abajo, fotos de colección Cementerio General, de derecha a izquierda: B0316, femenino; B0310, femenino; B0044, femenino; B0339, masculino; B0324, masculino; B0349, masculino).

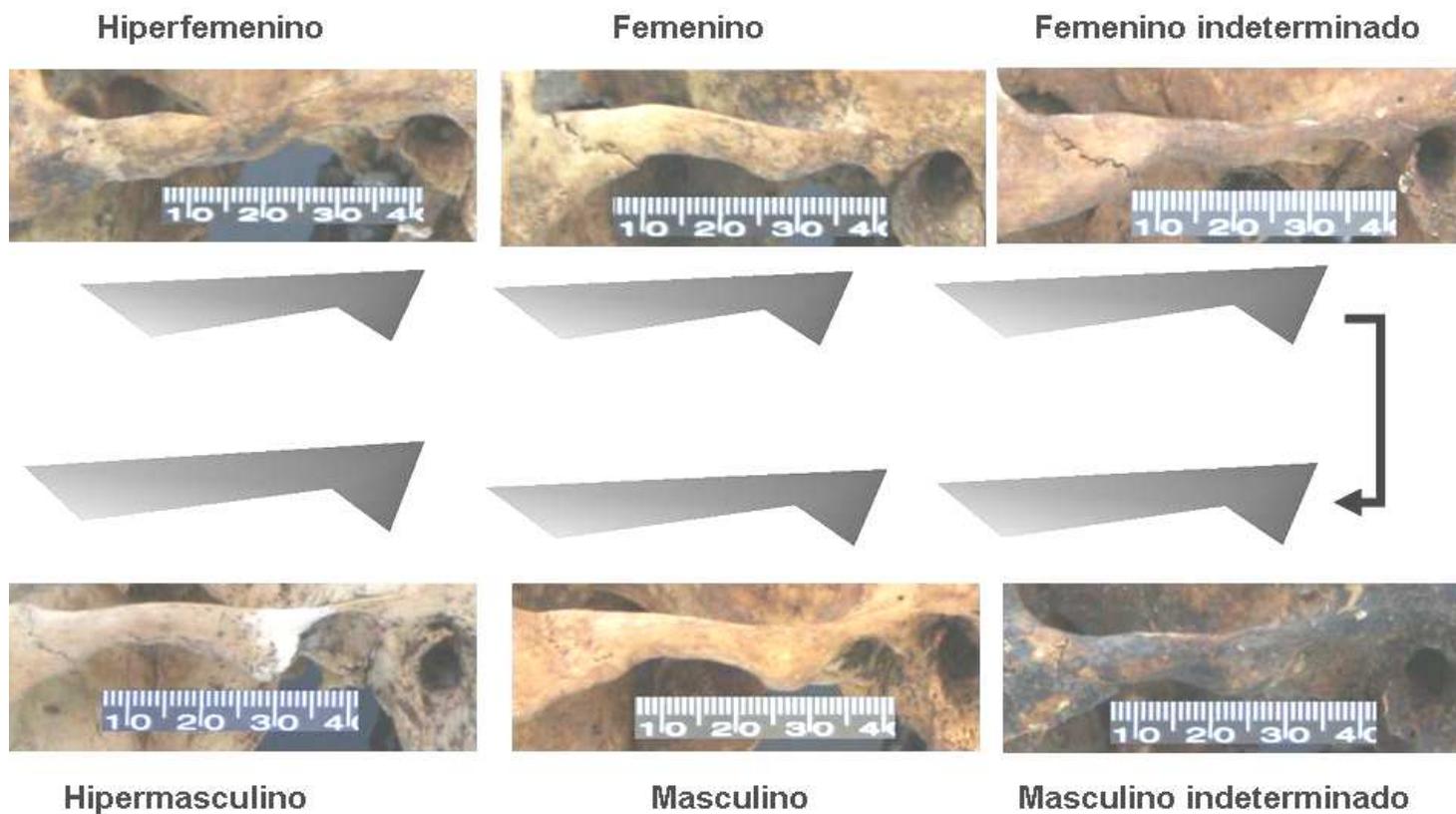


Figura 17. Variación del tamaño del proceso cigomático del temporal. En la fila superior, de derecha a izquierda, se observa la variación del carácter en fotos y esquemas desde hiperfemenino a femenino indeterminado. En la fila inferior, de izquierda a derecha, la variación desde masculino indeterminado a hipermasculino. Fotos colección Cementerio General, fila superior de derecha a izquierda: B0005, femenino; B0197 , femenino (foto del lado derecho, rotada); B0375, femenino (Foto del lado derecho, rotada). Fila inferior de derecha a izquierda: B0318, masculino; B0129, masculino; B0389, masculino (foto del lado derecho, rotada).

La importancia de toda esta información radica en dos aspectos importantes y relacionados. Primero que nada, la aplicación de herramientas de análisis cuantitativo de la variación de la forma permitió estimar con precisión el grado de variación de la forma de estos rasgos junto con la obtención de estimadores de su tamaño, lo que nos permitió establecer para la población en estudio cuál de estos rasgos posee mayor valor predictivo para estimar el sexo y cuales no. Además, la morfometría geométrica nos permitió desarrollar descriptores adecuados para distinguir la variación de estas estructuras en función del sexo. Este estudio, al basarse en dichos métodos puede replicarse en distintas poblaciones para examinar estos rasgos y evaluar su utilidad. Por otro lado, estos resultados tienen una gran importancia para futuras investigaciones del área forense de la antropología física como también para la docencia al momento de difundir y aplicar estos métodos, dado que permiten introducir una serie de indicaciones cuando lo que se busca es aplicar técnicas visuales de estimación del sexo.

Los trabajos de Walrath y colaboradores (2004) y de Walker (2008) tiene como objetivo estimar la precisión de la estimación del sexo sólo a partir de la inspección visual del sexo dentro de una población dada. Ambos autores señalan que el uso de estos métodos debe sustentarse en la validación metodológica para una población, pero, lamentablemente, los métodos aplicados en sus investigaciones descansan sólo en la observación personal y experimentada, y en la comparación de estos caracteres sin existir ningún procedimiento de medición continua o de registro cuantitativo de la variación de estos rasgos, sino que sólo mediante la asignación de valores ordinales según el ojo de un experto. Si bien en este trabajo se comparten los mismos objetivos, nuestros métodos son diametralmente opuestos dado que los resultados son producto un proceso de medición estandarizado que puede ser replicado por cualquier observador entrenado en el uso de estas herramientas, agregando una novedosa perspectiva en este tipo de estudios; junto con eliminar el componente de subjetividad que implica la estimación visual del sexo y el error interobservador que ello supone (Walrath *et al.*, *op. cit.*; Walker, *op. cit.*).

Además, en nuestro estudio hemos considerado al tamaño como una variable importante para dar cuenta de la variación de la forma de estas estructuras, variable que ha sido incluida en función del supuesto de alometría existente en la especie humana según distintas investigaciones (Mitteroecker *et al.* 2004, Mitteroecker *et al.*, 2005; Schaefer *et al.*, 2004). Hemos podido observar cómo el tamaño de estas estructuras anatómicas influye en la forma de la glabella, el proceso mastoideo y el hueso cigomático

apreciando evidentes torsiones para el primer caso, y ligeras deformaciones para el segundo y tercer caso. Por lo general, al momento de evaluar estos métodos, la variable de tamaño es marginada dado que no existe una técnica adecuada para registrar mediciones tan localizadas para estas estructuras, salvo para el proceso mastoides (Saavedra de Paiva y Segre, 2003; Nagaoka y colaboradores, 2007). La incorporación de técnicas de morfometría geométrica fue decisiva para este estudio dado que permitió llevar a cabo un proceso de medición estandarizado de los rasgos anatómicos (ver párrafo anterior) para luego obtener una serie de datos permitieron particionar claramente los componentes de forma y tamaño y así poder realizar comparaciones biológicas.

Respecto de los estudios del dimorfismo sexual en el cráneo, al aplicar morfometría geométrica se obtienen resultados para regiones anatómicas específicas. Kimmerle y colaboradores (2008), por ejemplo, han encontrado diferencias significativas en la forma general del cráneo para cada sexo en poblaciones de Estados Unidos. Sin embargo, no lograron identificar positivamente el efecto del tamaño en la variación de la forma del cráneo según el sexo. Estos investigadores utilizan un mapa de homología con hitos distribuidos en todo el cráneo, a diferencia de este trabajo que estudia la variación de regiones específicas del cráneo que permiten estimar el sexo. Estas diferencias, quizás, son las que marcarían los diferentes resultados obtenidos por Kimmerle y colaboradores (*op. cit*) para la relación entre el tamaño y la forma del cráneo.

Gonzáles y colaboradores (2009) abordan el estudio de la forma de los mismos rasgos que hemos presentado en nuestro estudio, pero utilizando herramientas morfométricas de 2 dimensiones, e incluyendo semihitos en el mapa de homologías y realizando su análisis en el espacio morfométrico de forma y tamaño al mismo tiempo. Si bien este estudio y el nuestro convergen en la herramientas y la técnica de análisis, además de registrarse las mismas estructuras anatómicas (glabella, hueso cigomático, proceso cigomático del temporal y proceso mastoides), las diferencias en los porcentajes de aciertos entre nuestra investigación y la de Gonzáles *et al.* (2009), son de un 89.81% contra 77.86% respectivamente. Este hecho probablemente se explique por el uso de hitos verdaderos para la construcción del mapa de homologías, y al método de selección de las variables utilizado por nosotros para cada rasgo en particular y posteriormente utilizadas junto con la de los otras rasgos para el análisis discriminante, a diferencia de Gonzáles y colaboradores que incluyen semihitos para sus mapas de homologías, sin particionar los rasgos en los procedimientos de análisis exploratorio y confirmatorio de MG, como tampoco en el análisis discriminante. Estos investigadores, al igual que

Kimmerle *et al.* (*op. cit*) obtienen un aumento en el porcentaje de individuos clasificados correctamente al introducir la variable tamaño (tamaño del centroide) junto con los componentes de la forma, punto donde estas investigaciones convergen con la nuestra sobre la necesidad de incluir la variable tamaño para discriminar el sexo dentro de una población.

Pensamos que los resultados obtenidos en esta investigación son alentadores. Sin embargo, no podemos dejar de mencionar sus limitaciones. Una de las limitaciones de este estudio es que sus resultados sólo pueden ser aplicados para la población chilena subactual. No creemos que estos resultados puedan ser usados para discriminar el sexo en muestras esqueléticas arqueológicas de poblaciones amerindias chilenas o en otras poblaciones sin realizar mediciones previas que permitan apreciar la variabilidad de estos rasgos. Además, según las limitaciones estadísticas del análisis discriminante para muestras biológicas, sus funciones sólo deben limitarse a la población bajo estudio.

Otra limitación para este estudio fue la imposibilidad de analizar otros rasgos del cráneo considerados dimórficos como las eminencias parietales y frontales, la protuberancia occipital, la forma del borde superolateral de la órbita. La falta de implementos que permitan registrar un conjunto de coordenadas a lo largo de estas superficies impide abordar su estudio y, lamentablemente, no se puede definir un mapa de homologías a partir de hitos convencionales dado que estas estructuras carecen de las características necesarias que permitan localizar repetitivamente un conjunto de hitos propiamente tales. Un escaner de superficies y el manejo de coordenadas de semihitos generadas a partir de esta información permitirían abordar adecuadamente la variación de la forma de estos rasgos e, incluso, la de los rasgos ya descritos en el marco de esta tesis.

VII. CONCLUSIONES.

Para la población chilena actual, la variación de la forma y el tamaño de los rasgos anatómicos del cráneo que permiten estimar el sexo arrojaron un dimorfismo sexual significativo para la glabella, proceso mastoides, proceso cigomático del temporal y el hueso cigomático. El perfil frontal y la forma de la orbita no entregaron resultados al respecto. Estos resultados se corroboran con el alto nivel de discriminación del sexo que se obtuvo a partir de las variables de la forma y el tamaño de cada una de estas estructuras dimórficas (89.81% de asignación correcta de sexo).

La variación observada de cada estructura entorno las variables de la forma y el tamaño (*Size & Shape components*) nos indica que sólo en los rasgos anatómicos de la glabella, el proceso mastoides y el hueso cigomático se puede apreciar una variación de la forma entre los individuos de cada sexo, variación que permite distinguir visualmente las diferencias entre cada sexo. Para el proceso cigomático del temporal, la variación que se pudo observar entre los sexos responde más a variación en el tamaño de la estructura que a variación altamente localizada de la forma. De esto último podemos concluir que para la estimación visual del sexo a partir del listado de rasgos sugerido por Ferembach *et al.* (1980) y Walrath *et al.* (2004), la glabella, proceso mastoides y hueso cigomático constituyen los rasgos que permiten estimar el sexo dentro de la población con un rango de precisión aceptable y, como en el caso del hueso cigomático, con un peso de mayor ponderación a la esperada según lo sugerido en la literatura (Ferembach *et al.*, op. cit; Walrath *et al.*; op. cit.). Además, en función de los resultados obtenidos, el proceso cigomático del temporal constituye un rasgo que permite estimar el sexo midiéndolo más que observando la variación de su forma entre cráneos femeninos y masculinos.

Para el perfil frontal se encontraron diferencias sugerentes entre cada sexo pero se recomienda que las estimaciones basadas a partir de este rasgo se realicen contrastándola con las observaciones que se puedan realizar en los rasgos ya sugeridos (glabella, proceso mastoides y hueso cigomático). La forma de la orbita no permite observar diferencias entre ambos sexos por lo que se recomienda que este rasgo no sea considerado para estimar visualmente el sexo.

También, a partir de la metodología empleada, podemos decir que contando con los hitos adecuados que permitan realizar las mediciones sobre el cráneos humano, la morfometría geométrica y sus resultados constituyen una herramienta métrica eficaz a la hora de aplicar sus resultados para respaldar, métricamente, estimaciones del sexo

basadas en restos fragmentarios del cráneo siempre cuando se conserven las estructuras donde se deben registrar las coordenadas de cada hito anatómico.

Estas conclusiones contribuyen de manera importante al estado de la investigación sobre esta materia. Este estudio puede ser replicado en distintas poblaciones actuales o prehistóricas con tal de ponderar la variación de la forma de estos rasgo y evaluar su utilidad como estimadores del sexo; teniendo en cuenta que se debe tener un controlada la variable sexo en la población sobre la cual se desee repetir este tipo de investigación. Otro aporte importante es que no sólo se puede medir el dimorfismo sexual asociado a cada rasgo si no que también esta variación puede ser visualizada a partir de las variables obtenidas por MG y utilizar estas gráficas como esquemas de referencias a la hora de aplicar métodos visuales de estimación del sexo. Estos elementos constituyen una aporte dentro de investigaciones de medico legales, paleopatológicas, bioarqueológicas, entre otros, especialmente para investigaciones forenses para los efectos de la identificación de osamentas.

Finalmente destacamos el aporte de investigación para el desarrollo de métodos pedagógicos a la hora de instruir a observadores sin un alto grado de especialización o experiencia para la aplicación de estos métodos.

Para el desarrollo de la Antropología Física en Chile, esta investigación permitió la evaluación local de un método universalmente aplicado en la disciplina y poder corregir sus supuestos para la población chilena actual.

Es de esperar que para el futuro se pueda desarrollar este mismo tipo de investigación para poblaciones aborígenes chilenas actuales y de colecciones bioarqueológicas.

ANEXOS

I) MAPAS DE HOMOLOGÍAS

A.- Mapa de homologías para el registro de coordenadas en 3 dimensiones (para la ubicación de los ver fotos 1, 2 y 3):

Nº	Hito	Definición	Tipo
1	<i>Bregma</i>	Punto de intersección entre las suturas coronal y sagital (Rodríguez, 1994)	I
2	<i>Frontal</i>	Punto de máxima curvatura del perfil frontal entre Supraglabelare y bregma	III
3	<i>Metopion</i>	Intersección del plano sagital con la línea que une los puntos más sobresalientes de las eminencias frontales (Rodríguez, 1994)	III
4	<i>Supraglabellare</i>	Punto más profundo en el contorno sagital del cráneo en el plano medio, entre glabella y metopion. (Rodríguez, 1994)	III
5	<i>Glabella</i>	Punto más pronunciado en proyección en el plano sagital medio, entre los arcos superciliares, arriba de la raíz nasal, en posición del plano de Franckfort. (Rodríguez, 1994)	III
6	<i>Nasion</i>	Intersección de la sutura frontonasal con el plano medio (Rodríguez, 1994)	I
7	<i>Nasoespinale</i>	Punto de intersección del plano medio con la línea que une los bordes inferiores de la apertura piriforme	III
8	<i>Alveolare</i>	El ápex del septo entre los incisivos centrales superiores (Bass, 1987)	II
9	<i>Lambda</i>	Punto de intersección entre las suturas sagital y lamboidea	I
10	<i>Inion</i>	Punto más pronunciado de la protuberancia occipital externa, en el plano medio, donde se intersecta con las líneas nucales superiores.	III
11	<i>Ophistion</i>	Punto medio en el borde posterior del agujero occipital, en la intersección del plano medio con el borde. (Rodríguez, 1994)	II
12	<i>Basion</i>	Punto inferior donde el borde anterior del agujero occipital se intersecta con el plano sagital medio (Rodríguez <i>et al.</i> , 1994)	II
13	<i>Eminencia Supraorbital</i>	Punto más sobresaliente de la eminencia supraorbital	III
14	<i>Eminencia frontal</i>	Punto más pronunciado de las eminencias frontales	III
15	<i>Stephanion</i>	Punto de intersección de la línea temporal del frontal con la sutura coronal. (Rodríguez, 1994)	II
16	<i>Frontotemporal</i>	Punto de máximo angostamiento de las líneas temporales	III
17	<i>Sphenion</i>	Punto de intersección de las suturas coronal y esfenoparietal (Rodríguez, 1994)	I
18	<i>Eminencia Parietal</i>	Punto más pronunciado de las eminencias parietales.	III
19	<i>Asterion</i>	Puntos de intersección de las suturas lamboidea, parietomastoidea y occipitomastoidea. (Rodríguez, 1994)	I

20	<i>Entomion</i>	Punto de encuentro de la sutura escamosa del temporal con la sutura parietomastoidea. (http://www.anthropology.at/virtanth/craniometrie/start.htm)	I
21	<i>Escotadura mastoidea posterior</i>	Punto ubicado en el extremo más posterior de la escotadura mastoidea	III
22	<i>Mastoides</i>	Punto inferior y de máxima curvatura del proceso mastoides	II
23	<i>Timpanoescamoso</i>	Punto más lateral e inferior de la porción adherente de la fisura timpanoescamosa con el proceso mastoides	I
24	<i>Auriculare</i>	Punto ubicado en la raíz del proceso cigomático del temporal, en el punto de intersección con la perpendicular trazada por el plano medio del meato auditivo.	III
25	<i>Cigoauricular</i>	Punto de unión más inferior entre el tubérculo cigomático posterior y la pared anterior del meato auditivo externo	I
26	<i>Fosa Mandibular</i>	Punto de máxima curvatura de la fosa mandibular en relación al proceso cigomático del temporal	II
27	<i>Zigotemporal superior</i>	Punto más superior de la sutura Cigotemporal .	I
28	<i>Zigotemporal inferior</i>	Punto más inferior de la sutura Cigotemporal.	I
29	<i>Raíz del proceso temporal del cigomático</i>	Punto de máxima curvatura en donde se junta el borde posterior del proceso frontal y el borde superior del proceso temporal del hueso cigomático	III
30	<i>Zygomaxilar</i>	Punto más inferior de la sutura Cigomaxilar	I
31	<i>Zygorbitale</i>	Punto más superior de la sutura cigomático maxilar a nivel del borde inferior de la orbita	I
32	<i>Orbitale inferolateral</i>	Punto de máxima curvatura en la esquina inferolateral del borde orbital	III
33	<i>Maxillofrontale</i>	Se localiza en la intersección del borde medial de la orbita con la sutura frontomaxilar (Rodríguez, 1994)	II
34	<i>Supraorbital</i>	Punto ubicado en el agujero supraorbital de la porción medial de la orbita	I
35	<i>Orbitale superolateral</i>	Punto de máxima curvatura en la esquina superolateral del borde orbital	III
36	<i>Frontomalar orbital</i>	Punto de intersección del borde orbital lateral con la sutura frontocigomática. (Rodríguez, 1994)	I
37	<i>Frontomalar posterior</i>	Punto mas posterior de la sutura frontocigomática.	I
38	<i>Infraorbital</i>	Punto más superior del agujero infraorbitario	III
39	<i>Alare</i>	Punto más lateral en el borde anterior de la apertura nasal (Rodríguez, 1994)	III
40	<i>Proceso Piramidal</i>	Punto ubicado en la unión del proceso piramidal del hueso palatino con la cara posterior de las láminas del proceso pterigoides.	I

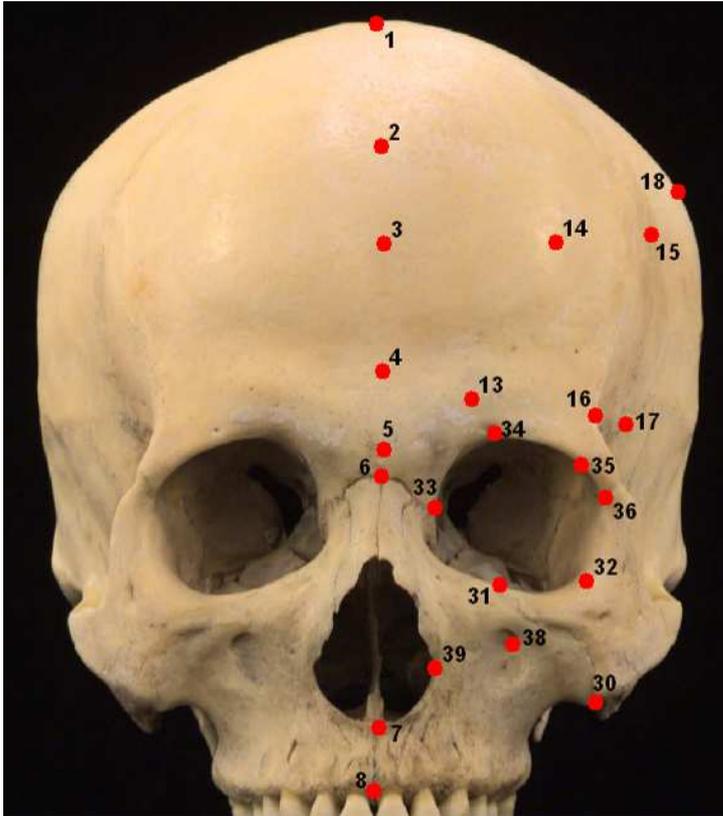


Foto 1. Mapa de homologías para coordenadas tridimensionales en vista frontal.

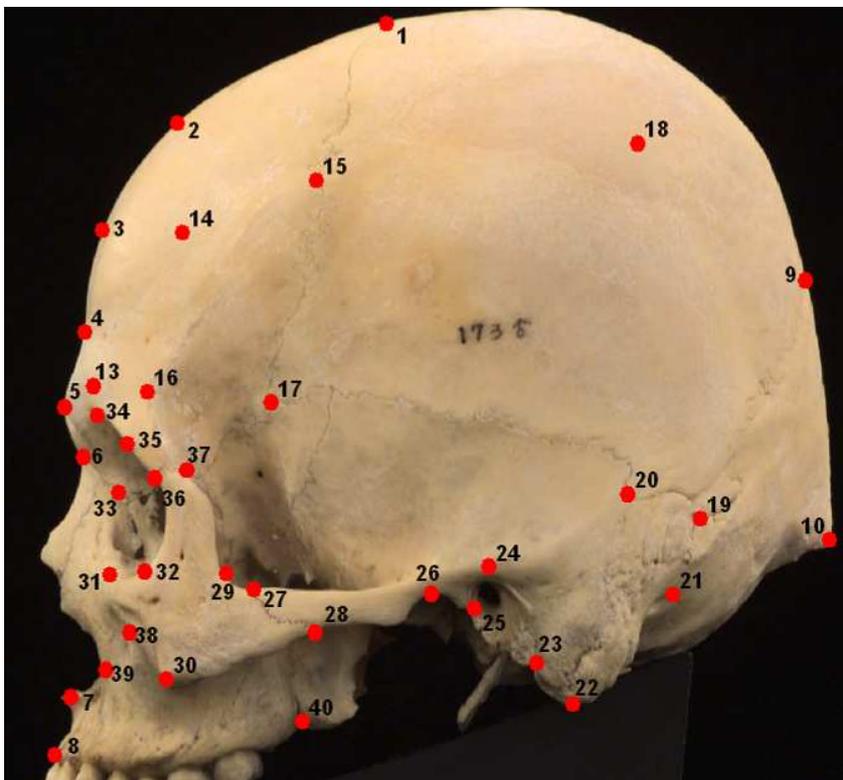


Foto 2. Mapa de homologías para coordenadas tridimensionales en vista lateral izquierda.

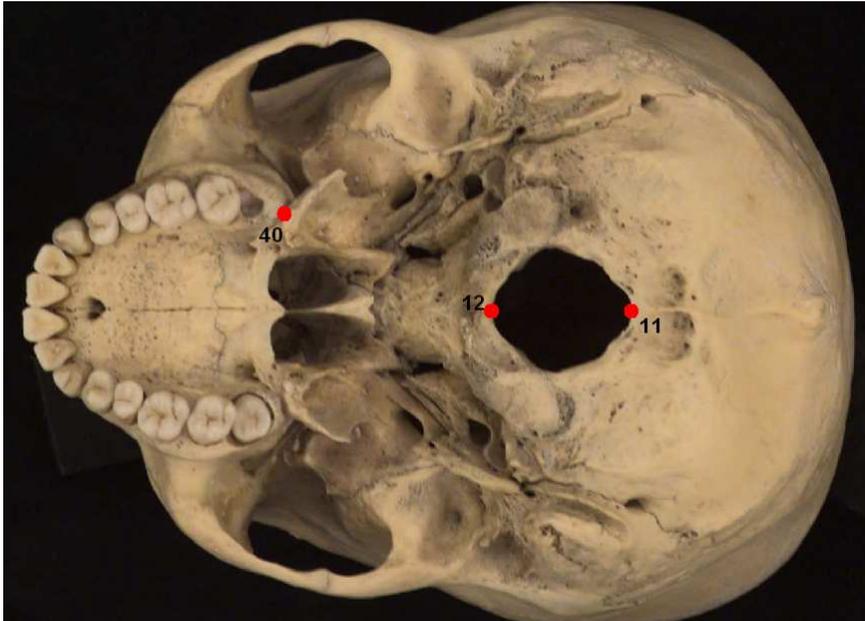


Foto 3. Mapa de homologías para coordenadas tridimensionales en vista basal.

B.- Mapa de homologías para análisis de rasgos anatómicos seleccionados.

➤ **Glabela y perfil frontal (foto 4).**

1	<i>Bregma</i>	Punto de intersección entre las suturas coronal y sagital (Rodríguez, 1994)	I
2	<i>Frontal</i>	Punto de máxima curvatura del perfil frontal entre Supraglabelare y bregma	III
3	<i>Metopion</i>	Intersección del plano sagital con la línea que une los puntos más sobresalientes de las eminencias frontales (Rodríguez, 1994)	III
4	<i>Supraglabelare</i>	Punto más profundo en el contorno sagital del cráneo en el plano medio, entre glabela y metopion. (Rodríguez, 1994)	III
5	<i>Glabella</i>	Punto más pronunciado en proyección en el plano sagital medio, entre los arcos superciliares, arriba de la raíz nasal, en posición del plano de Franckfort. (Rodríguez, 1994)	III
6	<i>Nasion</i>	Intersección de la sutura frontonasal con el plano medio (Rodríguez, 1994)	I
7	<i>Eminencia Supraorbital</i>	Punto más sobresaliente de la eminencia supraorbital	III
8	<i>Supraorbital</i>	Punto ubicado en el agujero supraorbital de la porción medial de la orbita	I

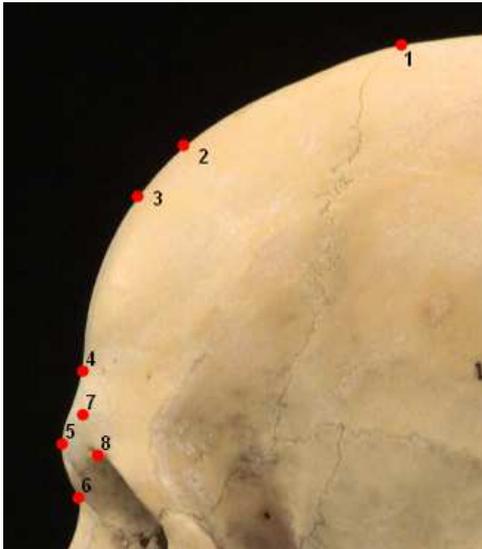


Foto 4. Mapa de homologías para el registro de coordenadas de Glabella y el perfil frontal.

➤ **Proceso Mastoides (foto 5):**

1	<i>Asterion</i>	Puntos de intersección de las suturas lambda, parietomastoidea y occipitomastoidea. (Rodríguez, 1994)	I
2	<i>Escotadura mastoidea posterior</i>	Punto ubicado en el extremo más posterior de la escotadura mastoidea	III
3	<i>Mastoides</i>	Punto inferior y de máxima curvatura del proceso mastoides	II
4	<i>Timpanoescamoso</i>	Punto más lateral e inferior de la porción adherente de la fisura timpanoescamosa con el proceso mastoides	I
5	<i>Auriculare</i>	Punto ubicado en la raíz del proceso cigomático del temporal, en el punto de intersección con la perpendicular trazada por el plano medio del meato auditivo.	III

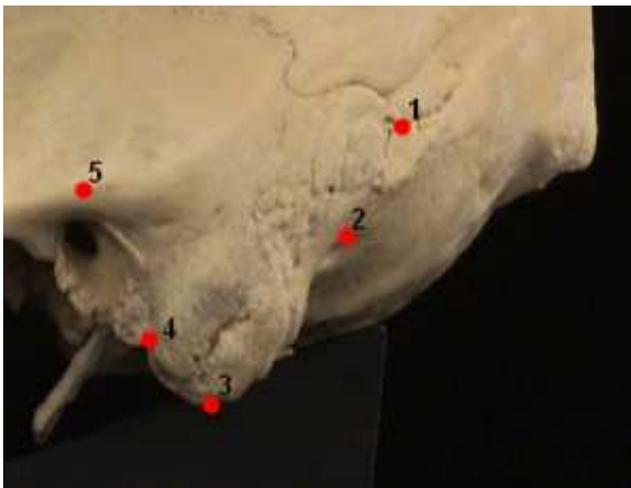


Foto 5. Mapa de homologías para el registro de coordenadas del proceso mastoides.

➤ **Hueso cigomático y proceso cigomático del temporal (foto 6):**

1	<i>Auriculare</i>	Punto ubicado en la raíz del proceso cigomático del temporal, en el punto de intersección con la perpendicular trazada por el plano medio del meato auditivo.	III
2	<i>Cigoauricular</i>	Punto de unión más inferior entre el tubérculo cigomático posterior y la pared anterior del meato auditivo externo	I
3	<i>Fosa Mandibular</i>	Punto de máxima curvatura de la fosa mandibular en relación al proceso cigomático del temporal	II
4	<i>Zigotemporal superior</i>	Punto más superior de la sutura Cigotemporal .	III
5	<i>Zigotemporal inferior</i>	Punto más inferior de la sutura Cigotemporal.	I
6	<i>Raíz del proceso temporal del cigomático</i>	Punto de máxima curvatura en donde se junta el borde posterior del proceso frontal y el borde superior del proceso temporal del hueso cigomático	III
7	<i>Zygomaxilar</i>	Punto más inferior de la sutura Cigomaxilar	I
8	<i>Zygorbitale</i>	Punto más superior de la sutura cigomático maxilar a nivel del borde inferior de la orbita	I
9	<i>Orbitale inferolateral</i>	Punto de máxima curvatura en la esquina inferolateral del borde orbital	III
10	<i>Frontomalar anterior</i>	Punto mas anterior de la sutura frontocigomática	I
11	<i>Frontomalar posterior</i>	Punto mas posterior de la sutura frontocigomática.	I

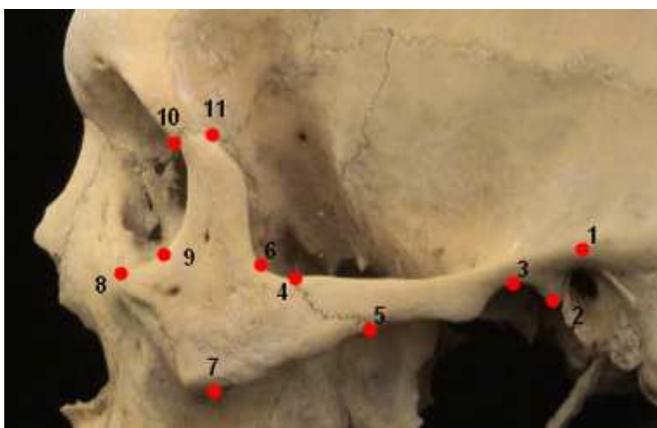


Foto 6. Mapa de homologías para el registro de coordenadas del hueso cigomático y proceso cigomático del temporal.

➤ **Forma de la orbita (foto 7):**

1	<i>Zygorbitale</i>	Punto más superior de la sutura cigomático maxilar a nivel del borde inferior de la orbita	I
2	<i>Orbitale inferolateral</i>	Punto de máxima curvatura en la esquina inferolateral del borde orbital	III
3	<i>Maxillofrontale</i>	Se localiza en la intersección del borde medial de la orbita con la sutura frontomaxilar (Rodríguez, 1994)	II
4	<i>Supraorbital</i>	Punto ubicado en el agujero supraorbital de la porción medial de la orbita	I

5	<i>Orbitale superolateral</i>	Punto de máxima curvatura en la esquina superolateral del borde orbital	III
6	<i>Frontomalar anterior</i>	Punto mas anterior de la sutura frontocigomática	I

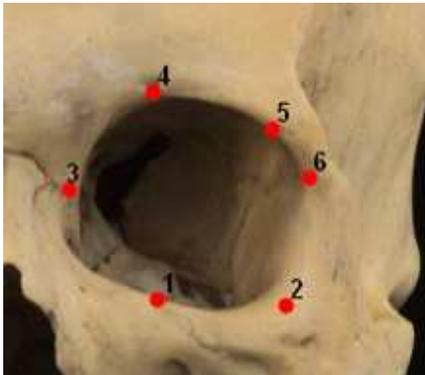


Foto 7. Mapa de homologías para el registro de coordenadas de la forma de la orbita.

BIBLIOGRAFÍA.

ADAMS, D. C.; F.J. ROHLF.; D.E. SLICE.

2004. "Geometric Morphometrics: Ten Years of Progress Following the "Revolution". *Italian Journal of Zoology*, 71: 5-16.

ASCADI, G. Y J. NEMESKERI.

1970. "*History of human lifespan and mortality*", Akademiai Kiado. Budapest

BAAB, K.L. y K..P. McNULTY.

2008. "Size, shape, and asymmetry in fossil hominins: The status of the LB1 cranium based on 3D morphometric analyses". *Journal of Human Evolution*, xxx:1-15.

BERNAL, V.; I. PEREZ y P. GONZALEZ.

2006. "Variation and Causal Factors of Craniofacial Robusticity in Patagonian Hunter-Gatherers from the Late Holocene". *American Journal of Human Biology*, 18:748–765.

BOOKSTEIN, F.

1989. "Principal Warps: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11:567-585.

BUIKSTRA, J. y D. UBELAKER.

1994. "*Standars for Data Collection from Human Skeletal Remains*". Arkansas Archeological Survey Research Series nº 44.1994

BULYGINA, E.; P. MITTEROECKER, y L. AIELLO

2006. "Ontogeny of Facial Dimorphism and Patterns of Individual Development Within One Human Population". *American Journal of Physical Anthropology*, 131:432-443.

BRUZEK, J.

2002. "A Method for Visual Determination of Sex, Using the Human Hip Bone". *American Journal of Physical Anthropology*, 117:157-168.

CARDINI, A. y S. ELTON.

2007. "Variation in guenon skulls (II): sexual dimorphism". *Journal of Human Evolution*, xx:1-10.

DRYDEN, I.L. y K.V. MARDIA

1998. "Statistical Shape Analysis", Jon Wiley and Sons. New York.

FEREMBACH, D.; I. SCHWIDETZKY y M. STLOUKAL.

1980. "Recommendations for age and sex diagnoses of skeletons". *Journal of Human Evolution*, 9:517-549.

GONZÁLES, P. N.; V. BERNAL y S. I. PEREZ

2009. "Analysis of Sexual Dimorphism of Craniofacial Traits Using Geometric Morphometric Technics". *International Journal of Osteoarchaeology*, DOI:10.1002/oa

HOYME, L.E. y M.Y. ISCAN.

1989. "Determination of Sex and Race: Accuracy and Assumptions", en *Reconstruction of Life from the Skeleton* M.Y. Isca y K.A. Kennedy. Alan R. Liss inc., New York.

KENDALL, D.

1984. "Shape Manifolds, Procrustean Metrics and Complex Projective Spaces". *Bulletin of London Mathematical Society*, 16:81-121.

KIMMERLE, E., A. ROSS A y D SLICE.

2008. "Sexual dimorphism in America: Geometric Morphometric analysis of the craniofacial region". *Journal of Forensic Science*, 53:54-57.

KONIGSBERG, L. y S. HENS.

1998. "Use of ordinal categorical variables in skeletal assessment of sex from the cranium". *American Journal of Physical Anthropology*, 107:97-112. 1998

KRENZER, UDO.

2006. "Compendio de Métodos Antropológico Forenses para la Reconstrucción del Perfil Osteo-Biológico. Tomo II, Métodos Para la Determinación del Sexo". Centro de Análisis Forense y Ciencias Aplicadas, Guatemala.

MANRÍQUEZ, G.

2004. "La Morfometría Geométrica y su contribución al estudio de la variación de la forma en los objetos biológicos: Programa de investigación y aplicaciones". *Curso Morfometría Geométrica*, Escuela de Posgrado de la Facultad de Medicina. Universidad de Chile.

MITTEROECKER, P. y P. GUNZ.

2009. "Advances in Geometric Morphometrics". *Evolutionary Biology*, 36:235-247

MITTEROECKER, P.; P. GUNZ y F.L. BOOKSTEIN.

2005. "Heterochrony and geometric morphometrics: a comparison of cranial growth in *Pan paniscus* versus *Pan troglodytes*". *Evolution & Development*, 7(3):244-258.

MITTEROECKER, P.; P. GUNZ; M. BERNHARD; K. SCHAEFER y F.L. BOOKSTEIN.

2004. "Comparison of cranial ontogenetic trajectories Among great apes and humans". *Journal of Human Evolution*, 46:679–698.

NAGAOKA, T.; A. SHIZUSHIMA; J. SAWADA; S. TOMO; K. HOSHINO; H. SATO; K. HIRATA.

2008. "Sex determination using mastoid process measurements: standards for Japanese human skeletons of the medieval and early modern periods". *Anthropological Science*, 116 (2):105-113.

PHENICE, T.

1969. "A Newly Developed Visual Method of Sexing the Os Pubis". *American Journal of Physical Anthropology*, 30:297-301.

PRETORIUS, E., M. STEYN, y Y. SCHOLTZ

2006. "Investigation Into the Usability of Geometric Morphometric Analysis in Assessment of Sexual Dimorphism". *American Journal of Physical Anthropology*, 129:64-70.

O'HIGGINS, P. y N. JONES

2006. Morphologika2 v2.5.

ROSAS, A., y M. BASTIR.

2002. "Thin-Plate Spline Analysis of Allometry and Sexual Dimorphism in the Human Craniofacial Complex". *American Journal of Physical Anthropology*, 117:236-245.

ROSAS, A., M. BASTIR, C. MARTINEZ-MAZA y J. M. BERMUDEZ

2002. "Sexual dimorphism in the Atapuerca-SH hominids: the evidence from the Mandibles". *Journal of Human Evolution*, 42:451-474.

SAAVEDRA DE PAIVA, L.A. y M. SEGRE.

2003. "Sexing the human skull through the mastoid process". *Revista do Hospital das Clínicas*, 58:15-20.

SCHAEFER, K., P. MITTEROECKER, P. GUNZ, M. BERNHARD y F. BOOKSTEIN.

2004. "Craniofacial sexual dimorphism patterns and allometry among extant hominids". *Annals of Anatomy*, 136:471-478.

SLICE, D.

2007. "Geometric Morphometrics". *Annual Review of Anthropology* 36:261-281.

SMALL, C.

1996. "*The Statistical Theory of Shape*", Springer-Verlag. New York.

STATSOFT.

1995. Statistica 5.0.

VIÔARSTODIR, U.S.; O'HIGGINS, P.; STRINGER, C.

2002. "A geometric morphometric study of regional differences in the ontogeny of the modern human facial skeleton". *Journal of Anatomy*, 201: 211-229.

WALKER, P.

2005. "Greater Sciatic Notch Morphology: Sex, Age, and Population Differences". *American Journal of Physical Anthropology* 127:385-391.

2008. "Sexing skulls using discriminant function analysis of visual assessed traits". *American Journal of Physical Anthropology* 136: 39-50.

WALRATH, D., P. TURNER, J. BRUZEK.

2004. "Reliability test of the visual assessment of cranial traits for sex determination". *American Journal of Physical Anthropology* 125:132-137.

ZELDITCH, M; D. SWIDERSKI; D. SHEETS y W. FINK.

2004. "Geometric Morphometrics for Biologist". *Els*