



Universidad de Chile

Facultad de Medicina

Escuela de Posgrado

Programas de Grados Académicos

**EFFECTOS DE LA DEFORMACIÓN CRANEAL  
INTENCIONAL SOBRE LOS RASGOS ANATÓMICOS DEL  
CRÁNEO UTILIZADOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL SEXO**

**Pablo Díaz Jarufe**

**Magíster (c) en Ciencias Biológicas  
Mención Morfología**

**Prof. Dr. Germán Manríquez Soto**  
Director de Tesis

**Prof. Dra. Cleofina Bosco Becerra**  
Presidente Comité Mención.

**Enero 2015**

*Out here in the fields  
I fight for my meals  
I get my back into my living  
I don't need to fight  
To prove I'm right  
I don't need to be forgiven*

*Don't cry  
Don't raise your eye  
It's only teenage wasteland*

*Sally ,take my hand  
Travel south crossland  
Put out the fire  
Don't look past my shoulder  
The exodus is here  
The happy ones are near  
Let's get together  
Before we get much older*

*Teenage wasteland  
It's only teenage wasteland  
Teenage wasteland  
Oh, oh  
Teenage wasteland  
They're all wasted!*

Peter Townshend, 1971

## **Agradecimientos.**

- A Martha y Juan Carlos, gracias infinitas por su cariño incondicional.
  
- Al Dr. Germán Manríquez por los conocimientos aportados en la dirección de esta tesis.
  
- A la comisión de evaluadores que con sus valiosos comentarios han contribuido a mejorar el desarrollo de esta investigación.
  
- Al Museo Nacional Arqueológico, Antropológico e Histórico del Perú y a las colegas del Área de Restos Humanos: Patricia Maita, Lizbeth Tepo, Flor Bovadin. Gracias infinitas por su acogida en el museo y su amable colaboración para construir la muestra de esta investigación; también muchas gracias por darme a conocer algunos rincones de Lima.
  
- Esta tesis fue financiada parcialmente con aportes del proyecto Anillo ACT-96 "Interacciones y movilidad humanas en poblaciones prehispánicas del norte y centro de Chile: un enfoque integrador para las Ciencias Sociales utilizando marcadores biomédicos, genéticos, químicos y mineralógicos" a cargo del Dr. Germán Manríquez S.

## Índice.

I. RESUMEN.....	6
II. INTRODUCCIÓN.....	7
II. ANTECEDENTES.....	9
1) La deformación intencional del cráneo.....	9
2) Clasificación de las deformaciones craneales intencionales.....	10
3) Efectos morfológicos de la deformación intencional del cráneo en el desarrollo.....	12
4) Estimación del sexo.....	13
III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	16
1) Hipótesis de trabajo.....	16
2) Objetivo General.....	16
3) Objetivos Específicos.....	17
IV. MATERIAL Y MÉTODOS.....	18
1) Análisis métricos.....	18
2) Análisis estadísticos.....	20
a.- Poder estadístico de la muestra.....	20
b.- Prueba de error de las mediciones.....	21
c.- Análisis de la varianza (ANOVA) de la forma de las estructuras anatómicas y Comparación del tamaño del centroide.....	22
d.- Análisis de Componentes Principales para el tamaño y la forma (espacio morfométrico del tamaño y la forma).....	22
e.- Correlación entre la magnitud de la deformación y la variación de las estructuras analizadas.....	23
f.- Análisis Multivariado de la Varianza (MANOVA) para las variables de sexo, deformación y población.....	24
g.- Análisis Discriminante de los componentes principales de tamaño y forma para predecir la variable sexo.....	24
3) Mapas de homologías.....	26
4) Estimación del sexo.....	29
5) Registro del material.....	30
6) Materiales.....	30

V. RESULTADOS.....	32
1) Poder estadístico de la muestra.....	32
2) Prueba de error de las mediciones.....	33
3) Forma y tamaño en el dimorfismo sexual de rasgos anatómicos en cráneos deformados intencionalmente.....	34
4) Análisis de Componentes Principales de Tamaño y Forma ( <i>Size and Shape Space</i> )...37	
5) Relación entre magnitud de la deformación y la forma de los rasgos anatómicos analizados.....	43
6) Análisis Multivariado de la Varianza (MANOVA) para las variables de sexo, deformación y población. ....	46
7) Análisis Discriminante de los componentes principales de tamaño y forma para predecir la variable sexo. ....	46
VI. DISCUSIÓN.....	49
VII. CONCLUSIONES. ....	55
VIII. BIBLIOGRAFÍA. ....	56
IX. ANEXOS.....	64
1) Contextualización de la muestra utilizada.....	64

## **I. RESUMEN.**

La deformación intencional del cráneo constituye una práctica cultural que modifica el crecimiento normal de la bóveda craneal mediante la presión ejercida por aparatos de diversa naturaleza. Esta práctica constituye un modelo experimental natural para poder comprender los procesos de integración morfológica de los distintos componentes del cráneo durante el crecimiento y desarrollo. Diversos estudios han demostrado que estas modificaciones de la bóveda craneal influyen en las proporciones del esqueleto facial, de la base de cráneo y la mandíbula. Sin embargo, se desconoce el impacto de la deformación intencional del cráneo en estructuras que expresan el dimorfismo sexual del cráneo. Mediante morfometría geométrica demostramos que las modificaciones craneales intencionales de tipo oblicuo y erecto no influyen en la expresión del dimorfismo sexual de las estructuras utilizadas para la estimación del sexo en el cráneo. La glabella, el proceso mastoideo y el hueso cigomático permitieron discriminar el sexo en virtud del tamaño y la forma de estas estructuras en cráneos con deformación oblicua y erecta. Sólo en el proceso cigomático del temporal se observó la disminución del largo de esta estructura en individuos de ambos sexos y en los dos tipos de deformación, impidiendo su uso para poder estimar el sexo en estos casos. Estos resultados sugieren que, aunque el desarrollo de estructuras anatómicas que expresan el dimorfismo sexual del cráneo no se vería influenciado por modificaciones inducidas intencionalmente durante el desarrollo postnatal del cráneo, el desarrollo final de estas estructuras respondería a la expresión de caracteres sexuales secundarios que ocurre durante la maduración sexual del organismo. Con esta investigación esperamos colaborar con los métodos utilizados para la estimación de sexo en cráneos deformados y que carecen de elementos diagnósticos del esqueleto postcraneal, así como ahondar en el conocimiento de los efectos de esta práctica cultural en el desarrollo morfológico del cráneo.

## II. INTRODUCCIÓN.

En el esqueleto humano la estimación del sexo se realiza a partir de un conjunto de variables morfológicas de carácter métrico y/o mediante el uso de atributos que se pueden observar en determinadas estructuras anatómicas tales como los huesos coxales, el cráneo y la mandíbula, entre otros. Estos métodos nacen de un conjunto de observaciones realizadas en muestras o colecciones esqueléticas de sexo conocido y a partir de las cuales se generan, para el primer caso, una serie de estadísticos que permiten realizar esta estimación dentro los parámetros de la muestra observada o, en el segundo de los casos, mediante la descripción de un conjunto de características que permiten diferenciar un atributo morfológico como femenino o masculino. Mientras que las variables métricas son de gran utilidad para casos forenses, la observación de atributos morfológicos permite estimar el sexo en el contexto de investigaciones científicas que requieren el control de esta variable mediante métodos económicos y de rápida aplicación (Brothwell, 1987; Bruzek, 2002; Buikstra y Ubelaker, 1994; Ferembach et al, 1998; Hoyme e Iscan, 1989; Phenice, 1969; Ubelaker y Volk, 2002).

En el ámbito de investigaciones bioarqueológicas, la estimación del sexo mediante atributos morfológicos es uno de los métodos más utilizados (Brothwell, 1987; Buikstra y Ubelaker, 1994; Ubelaker, 1978). Poder determinar el sexo de las osamentas permite enfrentar el conocimiento de fenómenos culturales del pasado tales como la movilidad poblacional, la división del trabajo según el sexo o las modificaciones corporales culturales e intencionales (Larsen, 1999).

Dentro de estas últimas cobra especial interés la deformación intencional del cráneo, práctica cultural que modifica la forma del cráneo en individuos recién nacidos mediante la aplicación de distintos dispositivos tales como tablas rígidas, vendajes o el uso de cunas que inmovilizan el cráneo, según se ha registrado en distintas etnias del mundo (Dembo e Imbelloni, 1938, Dingwall, 1931). La modificación del patrón de crecimiento normal de los huesos que componen la bóveda craneal afecta también al desarrollo de los elementos óseos de la base de cráneo y del esqueleto facial (Anton, 1989; Cheverud y Midkiff, 1992; Jimenez et al., 2012; Kohn et al., 1993; Manríquez et al., 2006; Rhode y Arriaza, 2006) lo que impediría el uso cráneos deformados para la estimación de distancias o afinidades

biológicas entre distintas poblaciones arqueológicas (Rhode y Arriaza, 2006). Considerando estos antecedentes, el impacto que tiene este tipo de modificaciones sobre los rasgos que expresan el dimorfismo sexual a nivel craneal no ha sido debidamente estudiado, razón por la cual no es conocida la eventual variabilidad que puedan introducir este tipo de prácticas en la expresión estas estructuras craneales y como afectan a los métodos estandarizados para estimar el sexo a partir de los atributos craneales. En esta tesis proponemos el estudio de la variabilidad de los rasgos sexualmente dimórficos en cráneos deformados planteando el siguiente **problema de investigación**:

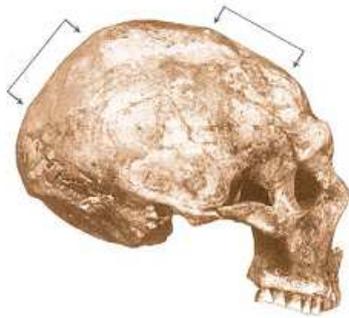
*¿Cómo afecta la práctica de la Deformación Intencional del Cráneo a la determinación del dimorfismo sexual?*

## II. ANTECEDENTES.

### 1) La deformación intencional del cráneo.

La deformación intencional del cráneo constituye una práctica cultural que modifica los vectores de crecimiento normal de los componentes de la bóveda craneal mediante la presión ejercida por utensilios de diversa naturaleza (Manríquez et al, 2006; Püschel, 2013). La antigüedad de esta costumbre se extiende hasta individuos del linaje neandertal hace 45000 años A.P. en Iraq (Trinkaus, 1982) hasta el siglo XX (FitzSimmons et al, 1998). Esta práctica cultural se ha observado en distintas partes del mundo y en los 5 continentes con diferentes métodos para obtener las formas deseadas. Dingwall (1931) indica distintas técnicas de deformación: el moldeamiento de la cabeza por masajes, la aplicación de tablillas rígidas, vendajes, almohadillas e incluso piedras, o el uso de cunas en donde la cabeza se mantiene rígida. Por la magnitud de las modificaciones que se realizan a nivel del cráneo, esta práctica se debe realizar en los primeros meses de vida, momento en que los huesos que componen la bóveda craneal se encuentran separados por las fontanelas anterior o bregmática (entre el frontal y los dos parietales), la posterior u occipital (entre los parietales y el occipital), y las fontanelas ptérica y astérica de cada lado del cráneo, a lo cual se suma el alto componente fibrilar de las suturas craneales.

El propósito de estas deformaciones intencionales se ha conocido a través de algunas referencias escritas y de carácter etnohistórico. Hipócrates (en *De aere, aquis et locis*; citado por Obladen, 2012) hace referencia a esta práctica en poblaciones del Mar de Azov en el siglo 5 a.C. y donde las cabezas largas eran consideradas como señal de nobleza y estas eran deformadas con ese propósito. Otros escritos indican que esta práctica fue considerada como señal de inteligencia entre los Chinooks de Estados Unidos, o de belleza en poblaciones indígenas de Nicaragua y la península de Yucatan (Obladen, 2012). En grupos de inmigrantes actuales de las ciudades de Chicago y Nueva York se ha documentado, a través de entrevistas, el moldeamiento de la cabeza mediante masajes y por la aplicación de transitoria de compresas elásticas en lactantes hasta el año de edad, invocando razones de índole estética o motivos de salud (FitzSimmons et al., 1998).



**Figura 1.** Cráneo deformado de *Homo neanderthal* encontrado en la cueva Shanidar, (Iraq) y de 45000 años de antigüedad (tomado de Obladen, 2012). Las marcas indican las regiones donde eventualmente se aplicaron aparatos deformadores.

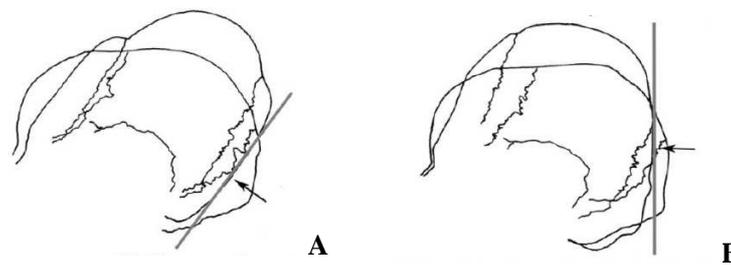
En muchas poblaciones arqueológicas es imposible contar con relatos o relaciones etnohistóricas que den cuenta de la posible función de la deformación intencional del cráneo en estas sociedades, pudiendo sólo hipotetizar sus alcances culturales en función de estudios bioantropológicos y de los contextos funerarios. Una comparación sincrónica realizada entre los distintos cementerios del valle de Moquegua, Perú, mostró que durante el Horizonte Medio (500 -1000 d.C.) poblaciones organizadas en grupos de parentesco o ayllus habrían utilizado la deformación craneana como medio de diferenciación (Hoshower et al., 1995). Desde una perspectiva diacrónica (400 d.C. a 1500 d.C.), en San Pedro de Atacama la deformación craneana pudo haber operado simbólicamente a nivel identitario y en respuesta a distintos escenarios sociales, constituyendo un indicador de interacción social con grupos foráneos en el Periodo Medio (400 d.C - 1000 d.C.), o como elemento de cohesión y unidad en momentos de restricción y competencia respecto a otras etnias durante periodos más tardíos de la prehistoria de la región (Torres-Rouff, 2002 y 2007; Torres-Rouff y Yablonsky, 2005), con tipos deformatorios tradicionales y conservados a lo largo de la secuencia cultural de esta área de estudio (Püschel, 2013, Torres-Rouff, 2002 y 2007; Torres-Rouff y Yablonsky, 2005).

## **2) Clasificación de las deformaciones craneales intencionales.**

Las clasificaciones de los distintos tipos de deformación intencional del cráneo se basan en los resultados morfológicos y/o en la técnica utilizada para obtener la deformación (Dembo e Imbelloni, 1938; Dingwall, 1931). Los principales métodos de clasificación distinguen tipos de deformación intencional de acuerdo al aparato eventualmente utilizado para obtener la deformación y la forma general del cráneo en relación a la inclinación de

sus ejes mayores respecto al plano de Frankfurt (Dembo e Imbelloni, 1938); o bien se limitan a clasificar los tipos de deformación de acuerdo a las regiones anatómicas de la bóveda craneal afectadas por esta (Neumann, 1942).

Roseblatt (2013), mediante análisis por morfometría geométrica, ha mostrado que las clasificaciones basadas en criterios morfológicos (anatómicos) se acercan más a una clasificación natural dado que se basan en los **resultados visibles de la deformación** independientemente de la técnica o aparato deformador utilizado; y que la mejor discriminación a la hora de clasificar cráneos deformados está dada por los tipos definidos por la inclinación de los ejes mayores de cráneo en relación al plano de Frankfurt (oblicuos o erectos, en Dembo e Imbelloni (1938)), clasificación que también está basada en los resultados visibles de la deformación. Además, la distinción entre cráneos erectos y oblicuos estaría reflejando mejor la variabilidad y los efectos de la deformación en el cráneo como resultado de la magnitud y dirección con la que fueron aplicadas las técnicas de deformación craneal (Manríquez et al., 2006). Con estos antecedentes, en esta investigación se decidió definir los grupos experimentales a partir de la clasificación de la deformación intencional del cráneo en oblicua o erecta; que de acuerdo a las definiciones introducidas por Imbelloni se distinguen de acuerdo al eje general de la forma del cráneo respecto a plano de Frankfurt si este es mayor a  $120^\circ$  para la deformación oblicua, o menor a  $120^\circ$  para la deformación erecta (Dembo e Imbelloni, 1938).



**Figura 2.** Tipos de deformación oblicua (A) y erecta (B) según Dembo e Imbelloni (1938).

### **3) Efectos morfológicos de la deformación intencional del cráneo en el desarrollo.**

La deformación intencional del cráneo provocaría distintos efectos colaterales en la anatomía de esta estructura. En primer lugar, la deformación intencional provocaría la disminución del ángulo de la base de cráneo, con su consecuente platibasia (Anton, 1989; McNeill y Newton, 1965), y el ensanchamiento de las medidas faciales incluyendo a los maxilares y a la mandíbula (Anton, 1989; Cheverud y Midkiff, 1992; Jimenez et al., 2012; Kohn et al., 1993). Estos hallazgos se han descrito también en los cráneos deformados del norte de Chile mediante análisis morfométricos, incluyendo el aumento significativo del ángulo Nasion-apófisis clinoides posterior-basion en los individuos afectados por deformación anular u oblicua (Manríquez et al., 2006).

También se ha demostrado que la deformación intencional del cráneo modifica la modularidad de los componentes del cráneo (neurocráneo, basicráneo y esplacocráneo) aumentando la covariación entre la base de cráneo y el esqueleto facial en relación a la bóveda craneal producto de las presiones deformatorias sobre esta, canalizando los vectores de crecimiento del cráneo al restringir los puntos de presión provocados por el crecimiento normal de encéfalo al interior de este (Püschel, 2013).

Otros efectos colaterales se observan en la forma de los senos transversos de la cara interna del cráneo, haciéndolos más anchos y profundos (O'Loughlin, 1996), y en el aumento de la complejidad de la sutura lambdática (Gottlieb, 1978). También se ha estudiado la relación entre la deformación craneal y la incidencia de huesos suturales, tema en que diversos estudios han arrojado resultados tanto positivos como negativos (El-Najjar y Dawson, 1977; Gottlieb, 1978; O'Loughlin, 2004; Pucciarelli, 1978; Van Arsdale y Clark, 2012; Wilczak y Ousley, 2009). De todos modos, varios de estos estudios coinciden en que el proceso de deformación craneal puede favorecer la predisposición del organismo para desarrollar huesos suturales, en virtud del estrés biomecánico ejercido por la deformación y el crecimiento del encéfalo (O'Loughlin, 2004; Pucciarelli, 1978; Van Arsdale y Clark, 2012; Wilczak y Ousley, 2009). Incluso, esta tendencia se ha observado para el aumento del índice cefálico (braquicefalia) en cráneos normales y cráneos deformados (Sanchez-Lara et al., 2007).

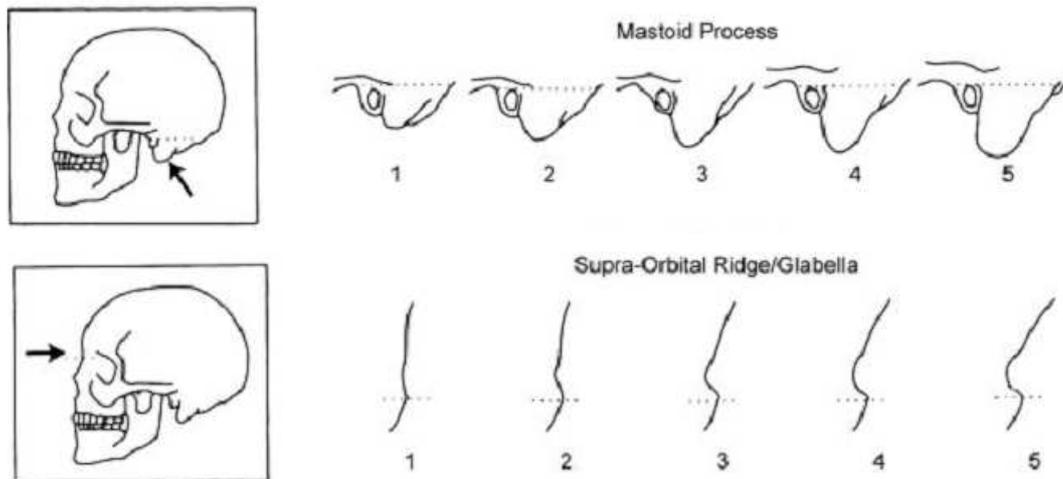
#### **4) Estimación del sexo.**

Generalmente, los métodos utilizados 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 desarrollados como caracteres sexuales secundarios (Ascadi y Nemeskeri, 1970; Buikstra y Ubelaker, 1994; Bruzek, 2002; Phenice, 1969; 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 en el hueso coxal el sexo puede ser correctamente determinado en un 95% de los casos y para el cráneo en un 92% de acierto (Paiva y Segre, 2003).

El 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). ). Los métodos utilizados tradicionalmente se han desarrollado a partir de seriaciones de la variabilidad de los distintos rasgos anatómicos de cráneo con sexo y edad conocidos (Hoyme e Iscan, 1989). Los rasgos anatómicos del cráneos que son utilizados para estimar el sexo son (Ascadi y Nemeskeri, 1970; Ferembach *et al.*, 1980): glabella, proceso mastoides, plano nuchal, proceso cigomático del temporal, arcos supraorbitarios, eminencias parietales y frontales, protuberancia occipital externa, hueso cigomático, perfil frontal y margen lateral de la órbita. Sin embargo, la variabilidad de estos rasgos en relación al dimorfismo sexual no siempre es contrastada al momento de aplicar estos métodos en poblaciones de distinto origen a las que en donde se han desarrollado originalmente estas técnicas de análisis. Del mismo modo, tampoco ha sido estudiado debidamente como las alteraciones del crecimiento y desarrollo normal del cráneo puede afectar a la variabilidad de estas estructuras en relación al dimorfismo sexual.

El problema lo abordamos considerando, en primer lugar, que el cráneo es una estructura compuesta principalmente por tres elementos (neurocráneo, esplanocráneo y basicráneo) que se desarrollan modularmente; y, en segundo lugar, que su deformación intencional es una práctica cultural que altera el desarrollo del cráneo canalizando los

vectores de crecimiento normal del encéfalo y del neurocráneo con sus consecuentes efectos en el crecimiento y desarrollo de los elementos óseos de la base de cráneo y del esplacnocráneo, áreas en donde se ubican varios los rasgos anatómicos utilizados para estimar el sexo.



**Figura 3.** Seriación del proceso mastoides (arriba) y de la glabella y eminencia supraorbitaria (abajo) para la estimación del sexo (Buikstra y Ubelaker, 1994); desde formas femeninas (1) a masculinas (5).

Las estructuras craneales que abordaremos en esta investigación serán la glabella, el proceso mastoides, el hueso cigomático y el proceso cigomático del temporal. La glabella corresponde a la porción central del arco supraorbitario y su desarrollo depende del crecimiento anterior del esqueleto facial y del desarrollo de las orbitas, en donde la expansión del seno frontal resulta de la proyección facial de esta estructura (Lieberman, 2011). El proceso mastoides corresponde a uno de los componentes de hueso temporal y consiste en una proyección hacia inferior que parte desde la porción petrosa del temporal y por detrás del meato acústico. En su interior se pueden encontrar una red de trabéculas óseas rellenas de aire. En esta estructura se insertan los músculos esplenio y longísimo de la cabeza que, en conjunto, se encargan de la extensión de la cabeza; y el músculo esternocleidomastoideo que se encarga de su flexión. En conjunto, estos tres músculos se encargan de inclinar y flexionar la cabeza hacia el lado del cual estos músculos se contraen (Rouvière y Delmas, 2005). El hueso cigomático es uno de los componentes del esqueleto facial que forma parte de la órbita y del aparato masticador debido a las inserciones del músculo masetero que comparte con el proceso cigomático del temporal. En su desarrollo

responde a la expansión del globo ocular dentro de la órbita, y al crecimiento hacia inferior del esqueleto facial a nivel de la sutura cigomáticomaxilar (Lieberman, 2011). También conecta el esqueleto facial con el hueso temporal a través de los arcos cigomáticos. El proceso cigomático del temporal es un componente del arco cigomático que forma parte del esqueleto rostral. Esta estructura se desarrolla gracias a la expansión del cerebro y del crecimiento hacia anterior del esqueleto facial (Lieberman, 2011).

### III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.

#### 1) Hipótesis de trabajo.

Esta investigación se sustenta en las siguientes hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** *"No existen diferencias significativas en la variabilidad morfológica de los rasgos anatómicos sexualmente dimórficos del cráneo entre muestras de cráneos no deformados y muestras de cráneos deformados intencionalmente".*

**H<sub>1</sub>:** *"Existen diferencias significativas en la variabilidad morfológica de los rasgos anatómicos sexualmente dimórficos del cráneo entre muestras de cráneos no deformados y deformados que se atribuyen a los efectos morfológicos de la deformación intencional del cráneo que estaría masculinizando o feminizando estos rasgos".*

De estas hipótesis se desprende como predicción que, de ser rechazada la hipótesis nula, en los cráneos con deformación oblicua se observará la *feminización* de los rasgos anatómicos del cráneo que permiten estimar el sexo dado que en este tipo se verían comprometidos la glabella y el proceso mastoides producto de las modificaciones ejercidas en las escamas frontal y occipital. En cambio, en los cráneos con deformación erecta se observaría la *masculinización* de estos rasgos anatómicos, principalmente del proceso mastoides debido a las modificaciones que se ejercen en la escama occipital.

#### 2) Objetivo General.

Conocer y analizar los efectos de la deformación intencional del cráneo en la variabilidad morfológica de los rasgos anatómicos dimórficos del cráneo que son utilizados para la estimación del sexo.

### **3) Objetivos Específicos.**

**a.-** Conocer la variabilidad morfológica de la glabella, el proceso mastoides, el hueso cigomático y el proceso cigomático del temporal en cráneos con deformación intencional oblicua y erecta, y determinar si estos tienen diferencias significativas entre ambos sexos.

**b.-** Determinar, mediante análisis morfométricos y cuantitativos, la variabilidad de la *glabella, proceso mastoides, hueso cigomático y proceso cigomático del temporal* entre cráneos femeninos y masculinos con deformación oblicua y erecta.

**c.-** Establecer si existe una relación entre la magnitud de la deformación intencional del cráneo con la variabilidad morfológica del tamaño y la forma de la glabella, el proceso mastoides, el hueso cigomático y el proceso cigomático del temporal.

**d.-** Estimar el valor predictivo de la *glabella, proceso mastoides, hueso cigomático y proceso cigomático del temporal* para la discriminación del sexo en cráneos con deformación intencional oblicua y erecta.

## IV. MATERIAL Y MÉTODOS.

### 1) Análisis métricos.

Para el estudio de la variabilidad de los rasgos anatómicos del cráneo se utilizarán los métodos estándar 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 (Bernal et al, 2006; Bulygina et al., 2006; Kimmerle et al., 2008; Pretorius et al., 2006; Schaefer et al., 2004; Viôarstodir et al., 2002). Se prefiere el uso de esta técnica, en lugar de los métodos tradicionales de morfometría lineal debido a que estos últimos no permiten separar los componentes de tamaño (*size*), respecto de los componentes de la forma (*shape*) (Adams et al., 2004; Slice, 2007a). 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.

Para llevar a cabo estos análisis es necesario definir una serie de hitos homólogos 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 (y "z", en el caso de formas en tres dimensiones).

La homología se define como la correspondencia de estructuras que permiten la definición de un hito a partir de criterios evolutivos, funcionales o estructurales propiamente tales (Bookstein, 1991; Zelditch et al., 2004). Según la definición de homología para un hito en particular, se pueden distinguir 3 tipos de hitos (Bookstein, 1991; Zelditch et al., 2004): a) los de "tipo 1" son aquellos definen la 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. b) Los de "tipo 2" son los que se ubican en áreas de curvatura máxima o en zonas de procesos morfológicos locales, y no entregan información de todas las direcciones posibles de fuerza que inciden en las estructuras o tejidos que le rodean. c) 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.

Una vez obtenidas las matrices de datos primarios a partir de un conjunto de coordenadas de hitos homólogos, se procede mediante análisis de Procrusto a eliminar diferencias debidas a la escala, traslación y rotación de las coordenadas para dejar sólo la información pertinente a la forma (*shape components*) de los objetos analizados, lo que permite analizar topológicamente la variación de la forma. Para llevar a cabo esto, el conjunto de datos es trasladado a un espacio multidimensional, o espacio de Kendall (*manifold shape space*), cuyas propiedades matemáticas, como el número de dimensiones, se definen a partir de la cantidad de hitos sometidos a análisis ( $2p - 4$ , para coordenadas dos dimensiones, y  $3p - 7$ , para coordenadas en tres dimensiones) donde cada espécimen o matriz de coordenadas es un punto dentro de los ejes multidimensionales que representan este espacio (Kendall, 1984; Small 1996; Zeldith et al., 2004). En esta etapa de análisis se procede a proyectar la posición de cada individuo a un plano tangente al espacio multidimensional (*relative warps*, RW). Este espacio plano tiene como coordenadas  $x, y = 0,0$  que corresponde a la configuración de referencia o de consenso del conjunto de matrices de coordenadas y es análogo a los espacios morfométricos resultantes del análisis multivariado, permitiendo observar la distribución de los individuos respecto de los factores o *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 geometría de los objetos y compararlas con la de otros objetos mediante la sobreposición de sus hitos, donde la transformación vectorial correspondiente a cada hito se representa mediante grillas cartesianas que se deforman mostrando el patrón de variación de la forma de los objetos de interés (Bookstein, 1991).

Luego de realizar este análisis de tipo 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. análisis de la varianza, regresión múltiple, análisis discriminante, análisis canónico de la varianza, entre otros). En esta etapa se busca conocer las causas que subyacen a la variación de la forma según lo planteado previamente por el conjunto de hipótesis de trabajo.

Al momento de realizar los análisis exploratorios hay casos en los que se hace necesario considerar las variables de forma y tamaño de las estructuras biológicas en conjunto, sobre todo si existe una relación entre ambas que determina la covariación de los hitos homólogos. Por ejemplo, los estudios de alometría en homínidos actuales (Mitteroecker et al., 2004; Schaefer et al., 2004) concluyen que el grado de dimorfismo sexual se explica en parte por el componente alométrico existente en homínidos, especialmente para las especies *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* y *Homo sapiens*. La base de datos de estos estudios (Mitteroecker et al., 2004; Mitteroecker et al., 2005; Schaefer et al., 2004) incluye 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. 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; Díaz, 2010; 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 espacio de tamaño y forma (*Size & Shape Space*).

## **2) Análisis estadísticos.**

Una vez realizado el Análisis de Procrustes se, se realizaron las siguientes pruebas estadísticas. Los análisis descritos se resumen en la figura 4:

### **a.- Poder estadístico de la muestra.**

El poder estadístico de la muestra para los análisis realizados es calculado a partir de los resultados obtenidos de los análisis de morfometría geométrica aplicados a los mapas de homologías de cada estructura anatómica. El cálculo de  $\beta$  y del poder estadístico se realizó con el programa GPower 3.1 (Faul et al., 2007).

Para el análisis de la varianza (ANOVA) se utilizaron las coordenadas de Procrustes obtenidas tras eliminar las diferencias de tamaño, rotación y traslación entre los distintos mapas de homologías de los individuos que componen la muestra. Debido a que la naturaleza matricial de estos datos no permite su aplicación directa a análisis estadísticos que permitan calcular directamente el poder estadístico de la muestra se utilizó como variable la distancia de Procrustes entre las configuraciones de hitos de la muestra. Esta distancia corresponde a la diferencia entre dos configuraciones de hitos en el espacio de Kendall y se aproxima a la suma de las distancias al cuadrado entre los hitos homólogos una vez que estas han sido sobrepuestas con los métodos de Procrustes (Zelditch et al., 2004), luego de haber eliminado las diferencias debida a la rotación al definir una figura de consenso que cuenta con la menor distancia respecto a los individuos de la muestra.

Para la prueba t de Student se utilizó el tamaño del centroide de las configuraciones de hitos para comparar el tamaño entre los dos sexos. El tamaño del centroide se utiliza para poder remover las diferencias de escala y se calcula como la raíz de la suma de las distancias al cuadrado de cada hito respecto al centroide de la configuración de hitos (Zelditch et al., 2004).

#### **b.- Prueba de error de las mediciones.**

El error de las mediciones corresponde a la distancia entre el valor de cada una de las mediciones respecto de su valor promedio. Este error puede introducir sesgos en el análisis de una muestra aumentando la varianza real y con ello la posibilidad de cometer un error de tipo II al ejecutar los análisis estadísticos (Arnqvist y Martensson, 1998). Este error puede ser controlado estudiando la precisión y/o repetibilidad de las mediciones: la precisión se estima a partir de las diferencias que hay entre mediciones repetidas en un mismo individuo, mientras que la repetibilidad se estima a partir de mediciones repetidas en varios individuos (Corner et al., 1992). En este último caso, la repetibilidad estima la precisión de las mediciones considerando la variabilidad (biológica u otra) de los individuos.

En esta investigación se presenta el control de la precisión en la digitación de hitos anatómicos en los modelos virtuales de los cráneos que componen la muestra. Para esto se aplicó la metodología propuesta por O'Higgins y Jones (1998) que consiste en el registro de

hitos varias veces para un mismo caso (repeticiones) y luego este conjunto de mediciones es comparada con individuos tomados al azar medidos una sola vez, en condiciones variables para el mismo observador. Con este método, la precisión del registro de hitos que componen un mapa de homologías está dada por la dispersión de los casos con registros repetidos dentro del total de la muestra, una vez aplicados los métodos de Procrustes para el análisis de la forma.

Para esta prueba se hicieron 15 mediciones en distintos días en un cráneo de la muestra de cráneos prehispánicos sin deformación; y las 15 mediciones fueron comparadas con el total de la muestra de cráneos no deformados. Se excluyeron los cráneos deformados dado que la variación morfológica de estos cráneos podría provocar que las mediciones repetidas tiendan a concentrarse aún más dentro de la variabilidad total de la muestra. La precisión se estimó para el total de coordenadas que resumen la forma de las 4 estructuras anatómicas analizadas. Este análisis fue realizado con el programa Morphologika2 v2.5 (O'Higgins y Jones, 1998).

#### **c.- Análisis de la varianza (ANOVA) de la forma de las estructuras anatómicas y Comparación del tamaño del centroide.**

Las coordenadas de Procrustes se utilizaron para contrastar las diferencias de la forma entre individuos masculinos y femeninos mediante el análisis de la varianza de estas coordenadas (ANOVA), prueba estadística descrita para este tipo de datos por Klingenberg y McIntyre (1998). El tamaño del centroide se utilizó para determinar las diferencias de tamaño de estas estructuras entre individuos masculinos y femeninos mediante la prueba de t de Student. Los análisis de morfometría geométrica para obtener las coordenadas de Procrustes, el tamaño del centroide y el ANOVA de las coordenadas de Procrustes se realizaron con el programa MorphoJ v1.05 (Klingenberg, 2011). La prueba de t de Student se realizó en el programa de Microsoft Excel.

#### **d.- Análisis de Componentes Principales para el tamaño y la forma (espacio morfométrico del tamaño y la forma).**

En este análisis se busca explorar, en conjunto, la variabilidad de la muestra respecto al tamaño -a través del logaritmo del tamaño del centroide- y la forma -mediante

las coordenadas de Procrustes. En morfometría geométrica se pueden integrar en un análisis tanto los componentes de forma y tamaño al incluir el logaritmo del tamaño del centroide en la matriz de datos conformada por las coordenadas de Procrustes para luego calcular los componentes principales de estos datos. Este análisis es denominado "Análisis de Componentes Principales en el Espacio de Forma de Procrustes" o "Espacio de Tamaño y Forma" (*PCA in Procrustes form space* o *Size and Shape Space* (Bastir et al., 2007)); y con él se obtiene como resultado que el primer componente principal se encuentra correlacionado positiva y altamente con el tamaño (Mitteroecker et al., 2004). De los componentes principales de tamaño y forma obtenidos para la variación de cada estructura es posible realizar análisis de naturaleza multivariada considerando, al menos, aquellos componentes que resuman el 90% de la varianza de la muestra (Viôarstodir et al., 2002). En nuestro caso se utilizaron los componentes que resumen el 99% de la varianza de la muestra para obtener un alto poder discriminación y por el bajo número de componentes principales que se obtiene de algunas estructuras. Es importante recordar que al introducir el logaritmo del tamaño del centroide en el Análisis de Componentes Principales, esta variable es una más junto a las coordenadas de Procrustes que son analizadas; por lo tanto, en este nivel de análisis se contrastan exploratoriamente diferencias de tamaño y de forma (espacio de tamaño y forma; *Size & Shape Space*). Al mismo tiempo, mediante este análisis y gracias a los puntajes obtenidos en cada uno de los componentes principales resultantes, se puede explorar la variación morfológica al aplicar una aproximación a la función de placa delgada para mapas de homologías de hitos tridimensionales. Estos análisis fueron realizados con el programa Morphologika2 v2.5 (O'Higgins y Jones, 1998).

#### **e.- Correlación entre la magnitud de la deformación y la variación de las estructuras analizadas.**

Para obtener una aproximación a la magnitud de la deformación de los cráneos se aplicó un mapa de homologías para coordenadas en dos dimensiones que se registró en fotografías de la vista lateral y en norma anatómica (plano de Frankfurt) de los cráneos que componen la muestra, deformados y no deformados. Del análisis de Procrustes aplicado a este mapa de homologías se obtiene la distancia de Procrustes de los cráneos deformados respecto a la configuración de consenso de toda la muestra, distancia que se utiliza como

aproximación a la magnitud de la deformación de los cráneos con deformación oblicua y erecta; el análisis exploratorio del mapa de homologías utilizado para estimar esta magnitud indica la mayor inclinación o rectitud en la región posterior de los cráneos con deformación oblicua y erecta respecto a la configuración de consenso de la muestra utilizada en cada caso. La distancia de Procrustes es correlacionada con el primer componente principal de tamaño y forma que se obtiene de cada una de las estructuras, análisis que se aplicó sólo en la muestra de cráneos deformados. Se excluyen los cráneos no deformados de este análisis (subactuales y prehispánicos) dado que la variabilidad de estos cráneos podría distorsionar la correlación que se busca determinar en los cráneos deformados. El cálculo de las distancias de Procrustes para el mapa de homologías de coordenadas registradas en las fotografías de cráneos fue realizado con el programa Thin-plate spline v1.20 (Rohlf, 2004); la correlación entre las variables fue realizada con el programa STATISTICA (StatSoft, 2004).

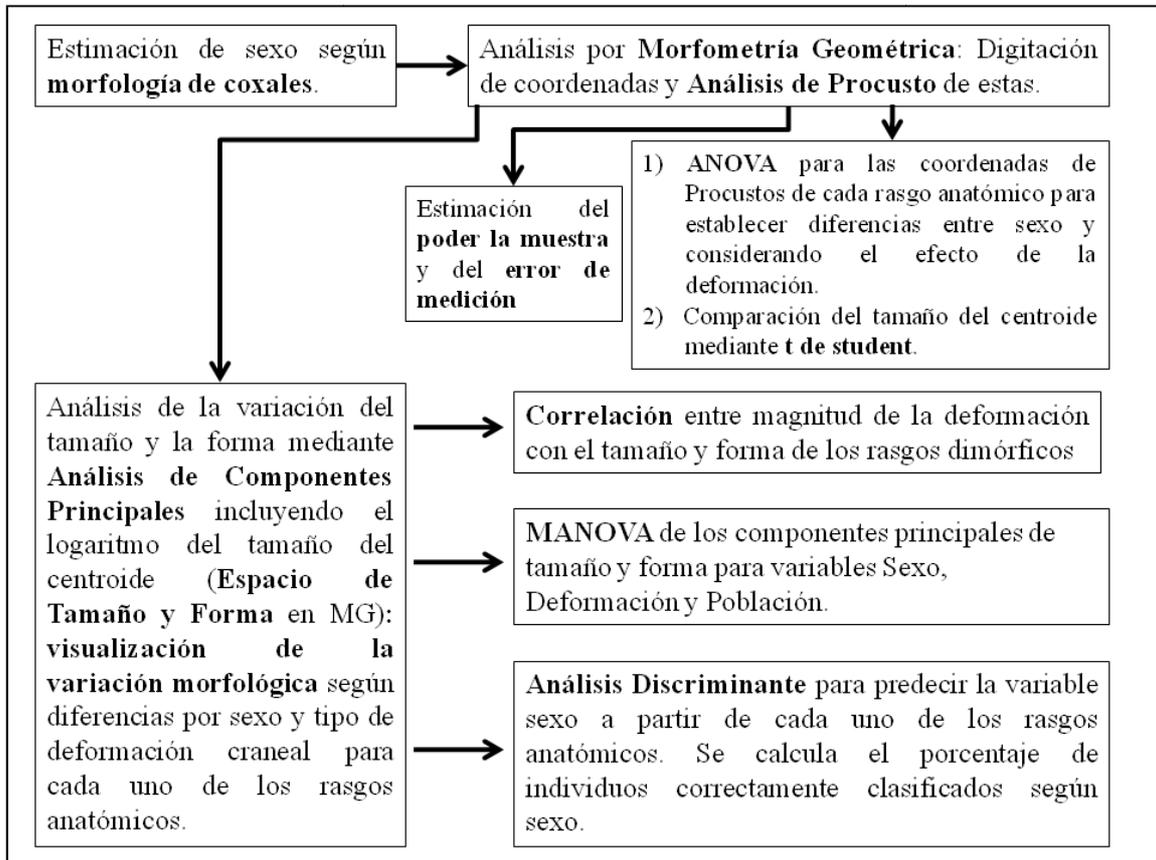
**f.- Análisis Multivariado de la Varianza (MANOVA) para las variables de sexo, deformación y población.**

Con este análisis se busca determinar la dependencia de los componentes principales respecto a las variables sexo (femenino-masculino), deformación (no deformado-deformado), y población (prehispánica-subactual). La distribución normal de los puntajes de componentes principales fue determinada mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Lilliefors aplicada al primer componente principal de tamaño y forma de cada uno de las estructuras analizadas. Este análisis fue realizado con el programa STATISTICA (StatSoft, 2004).

**g.- Análisis Discriminante de los componentes principales de tamaño y forma para predecir la variable sexo.**

Se aplicó este análisis estadístico para evaluar la capacidad de las variables de tamaño y de forma, a través de los componentes principales que resumen el 99% de la varianza, para predecir la variable sexo en cada uno de los casos de la muestra. Este análisis se aplicó con validación cruzada, seleccionando aleatoriamente 12 casos de la muestra que no presentan deformación craneal dado que el principal objetivo de este análisis es

confirmar la correcta clasificación del sexo en cráneos deformados a partir de estas variables. Este análisis fue realizado con el programa STATISTICA (StatSoft, 2004).



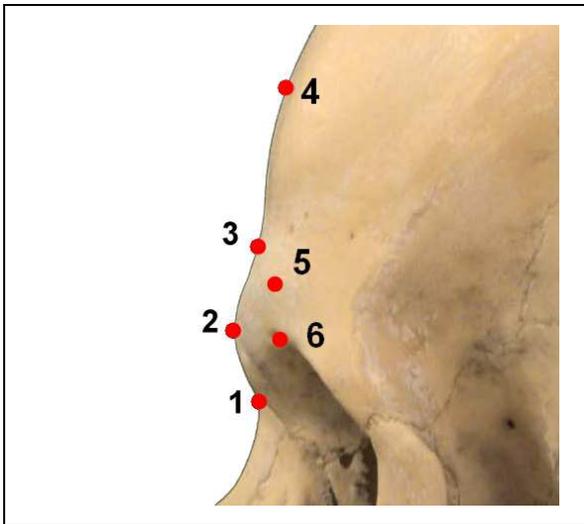
**Figura 4.** Resumen de los pasos metodológicos utilizados.

### 3) Mapas de homologías.

Para los cuatro estructuras anatómicas analizadas se definen los siguientes mapas de homologías de hitos (Díaz, 2010). Este mapa de homologías corresponde a hitos en tres dimensiones.

#### a.- Glabella (figura 5):

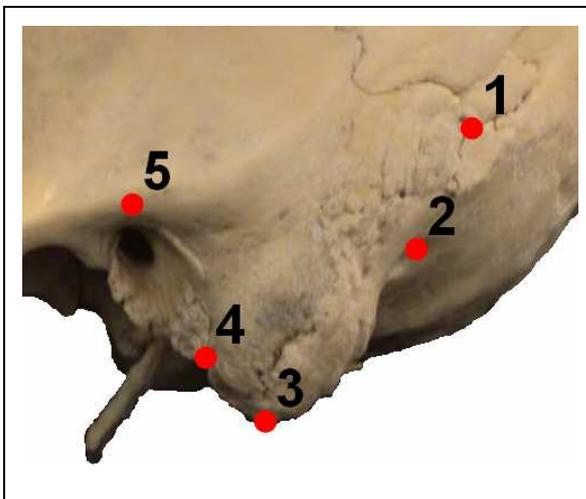
N° hito	Nombre	Definición	Tipo de hito
1	<i>Nasion</i>	Intersección de la sutura frontonasal con el plano medio (Rodríguez, 1994)	I
2	<i>Glabella</i>	Punto más pronunciado en el plano sagital medio, entre los arcos superciliares y arriba de la raíz nasal (Rodríguez, 1994)	II
3	<i>Supraglabelare</i>	Punto más profundo en el plano sagital del cráneo, entre glabella y metopion. (Rodríguez, 1994)	III
4	<i>Metopion</i>	Intersección en plano sagital de la línea que las eminencias frontales (Rodríguez, 1994)	III
5	<i>Eminencia Supraorbital</i>	Punto más sobresaliente de la eminencia supraorbital	II
6	<i>Supraorbital</i>	Punto ubicado en el agujero supraorbital de la porción medial de la orbita	II



**Figura 5.** Mapa de hitos homólogos que resumen la forma de la glabella.

**b.- Proceso mastoidees (figura 6):**

N° hito	Nombre	Definición	Tipo de hito
1	<i>Asterion</i>	Puntos de intersección de las suturas lambda, parietomastoidea y occipitomastoidea. (Rodríguez, 1994)	I
2	<i>Escotadura mastoidea posterior</i>	Ubicado en el extremo más posterior de la escotadura mastoidea	III
3	<i>Mastoides</i>	Punto inferior y de máxima curvatura del proceso mastoidees	II
4	<i>Timpanoescamoso</i>	Punto más lateral e inferior de la porción adherente de la fisura timpanoescamosa con el proceso mastoidees	I
5	<i>Auriculare</i>	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



**Figura 6.** Mapa de hitos homólogos que resume la forma del proceso mastoidees.

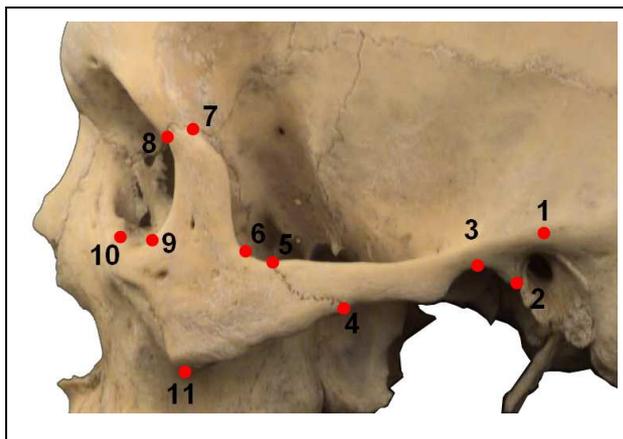
**c.- Hueso cigomático y proceso cigomático del temporal (figura 7):**

N° hito	Nombre	Definición	Tipo de hito
1	<i>Auriculare</i>	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>Cigotemporal superior</i>	Punto más superior de la sutura Cigotemporal .	III
5	<i>Cigotemporal inferior</i>	Punto más inferior de la sutura Cigotemporal.	I

6	<i>Raíz del proceso frontal 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>Cigomaxilar</i>	Punto más inferior de la sutura Cigomaxilar	I
8	<i>Cigorbital</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 más anterior de la sutura frontocigomática	I
11	<i>Frontomalar posterior</i>	Punto más posterior de la sutura frontocigomática.	I

\* La forma del proceso cigomático está resumida por los hitos 1 a 5. La forma del hueso cigomático esta resumida por los hitos 4 a 11.

Es importante señalar que la forma del proceso cigomático del temporal y el hueso cigomático serán analizados por separado.



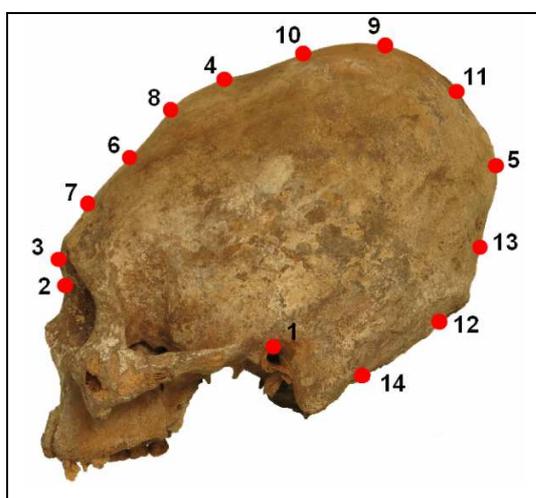
**Figura 7.** Mapa de hitos homólogos que resume la forma del hueso cigomático y del proceso cigomático del temporal.

El mapa de homología que se utilizará para estimar la intensidad de la deformación fue tomado de Roseblatt (2013). Este mapa corresponde a hitos en dos dimensiones.

**d.- Mapa de homología de dos dimensiones para estimar la intensidad de la deformación (figura 8):**

N° hito	Nombre	Definición	Tipo de hito
1	<i>Porion</i>	Punto más alto del meato auditivo externo (Buikstra y Ubelaker, 1994)	II
2	<i>Nasion</i>	Intersección de la sutura frontonasal con el plano sagital (Buikstra y Ubelaker, 1994)	I

3	<i>Glabela</i>	Punto más pronunciado en el plano sagital, entre los arcos superciliares y arriba de la raíz nasal (Rodríguez, 1994)	II
4	<i>Bregma</i>	Intersección de las suturas coronal y sagital (Buikstra y Ubelaker, 1994)	I
5	<i>Lambda</i>	Intersección de las suturas sagital y lambdoidea (Buikstra y Ubelaker, 1994)	I
6	<i>Frontal</i>	Proyección de la perpendicular al punto medio entre glabela y bregma (Manríquez et al., 2006)	Pseudohito
7	<i>Glabela-Frontal</i>	Proyección de la perpendicular al punto medio entre glabela y frontal (Roseblatt, 2013)	Pseudohito
8	<i>Frontal-Bregma</i>	Proyección de la perpendicular al punto medio entre frontal y bregma (Roseblatt, 2013)	Pseudohito
9	<i>Bóveda</i>	Proyección de la perpendicular al punto medio entre bregma y lambda (Manríquez et al., 2006)	Pseudohito
10	<i>Bregma-Bóveda</i>	Proyección de la perpendicular al punto medio entre bregma y bóveda (Roseblatt, 2013)	Pseudohito
11	<i>Bóveda-Lambda</i>	Proyección de la perpendicular al punto medio entre bóveda y lambda (Roseblatt, 2013)	Pseudohito
12	<i>Posterior</i>	Proyección de la perpendicular al punto medio entre lambda y porion (Roseblatt, 2013)	Pseudohito
13	<i>Lambda-Posterior</i>	Proyección de la perpendicular al punto medio entre lambda y posterior (Roseblatt, 2013)	Pseudohito
14	<i>Posterior-Porion</i>	Proyección de la perpendicular al punto medio entre posterior y porion (Roseblatt, 2013)	Pseudohito



**Figura 8.** Mapa de homologías utilizado para calcular la magnitud de la deformación.

#### 4) Estimación del sexo.

La estimación del sexo se hará por la inspección ocular de los rasgos anatómicos de los huesos coxales. Se aplicarán los métodos de Phenice (1969) y Bruzek (2002) en conjunto dado que así es posible cubrir una mayor cantidad de elementos anatómicos del hueso coxal. Según la experiencia del observador, estos métodos alcanzan una precisión de acierto cercana al 95% (Debono y Mafart, 2006; Listi y Bassett, 2006; Ubelaker y Volk,

2002) y se ha observado que no hay diferencias significativas para la presencia de estos rasgos sexualmente dimórficos entre poblaciones prehispánicas y subactuales (Díaz, 2012).

### **5) Registro del material.**

Los cráneos fueron registrados con un escáner láser de superficies portátil marca NextEngine®. El registro se hizo con dos vistas del cráneo, cada una con 10 rotaciones de 36° y con una resolución de 17.000 puntos por pulgada cuadrada. La alineación de cada una de las vistas fue realizada automáticamente; luego, las dos vistas de cada cráneo fueron alineadas manualmente definiendo tres puntos homólogos en ambas. Todo este proceso fue realizado con el programa ScanStudio HD (NextEngine Inc, Malibu, CA).

El registro fotográfico de los cráneos de la muestra se hizo con una cámara Canon EOS Rebel XTi (muestra de cráneos de Cementerio General) y una cámara Canon Power Shot G15 (muestra de cráneos prehispánicos).

Las coordenadas tridimensionales de los mapas de homologías que resumen la forma de las estructuras analizadas fueron registradas sobre los modelos virtuales de los cráneos escaneados; registro que fue realizado con el programa *Landmark 3.0* (Wiley et al., 2005). Las coordenadas bidimensionales del mapa de homologías utilizado para estimar la intensidad de la deformación fueron relevadas con el programa tpsDig v2.14 (Rohlf, 2009).

### **6) Materiales.**

**a) Selección de casos:** La selección de los cráneos se basa en los siguientes criterios de inclusión:

- Esqueletos con cráneos de individuos adultos que serán identificados por el estado de desarrollo de la erupción dental (erupción de los terceros molares) y por el cierre de la sutura esfenoccipital.
- Esqueletos con cráneos en buen estado de conservación y con al menos uno de sus huesos coxales presente y en buen estado de conservación para la estimación del sexo.

**b) Composición de la muestra:** la muestra se compone de 77 cráneos de los que:

- 44 corresponden a casos de poblaciones arqueológicas del área central del Perú, muestra conformada por 20 cráneos no deformados, 7 cráneos con deformación oblicua y 17 con deformación erecta.
- 8 corresponden a cráneos deformados de poblaciones arqueológicas del norte de Chile, con 7 cráneos con deformación oblicua y 1 con deformación erecta.
- 20 cráneos sin deformación de la población chilena subactual de la región metropolitana.

La muestra utilizada se resume en la tabla 1. La contextualización de la muestra en cuanto origen y uso en estudios previos se presenta en los anexos.

**Tabla 1.** Composición de la muestra utilizada en esta investigación.

Institución	Deformación oblicua		Deformación erecta		No deformado	
	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino
MNAAHP*	4	3	7	10	10	10
FACSO**	4	3	1	0	10	10
CCMC***	3	2	0	0	0	0
<i>n</i>	19		18		40	
<i>n Total</i>	77					

\* Museo Nacional de Arqueología, Antropología e Historia del Perú.

\*\* Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile.

\*\*\* Corporación Cultural Municipalidad de Calama.

## V. RESULTADOS.

### 1) Poder estadístico de la muestra.

En esta investigación se ha considerado hacer dos pruebas estadísticas con los datos relevados de la muestra disponible de cráneos: Análisis de la varianza de las coordenadas de Procrusto obtenidas a partir de los análisis realizados por morfometría geométrica y una prueba de las diferencias entre las medias del tamaño del centroide de las estructuras analizadas mediante una prueba de t de Student. Los resultados obtenidos para cada prueba estadística se indican en la tabla 2.

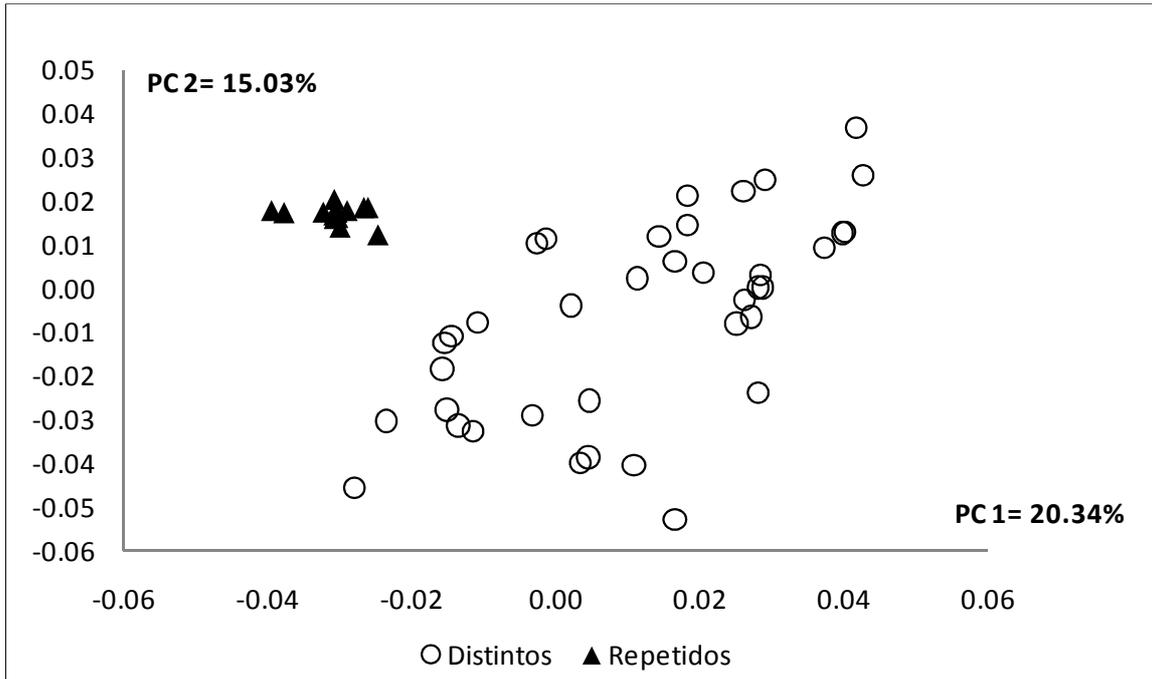
En el ANOVA de las coordenadas de Procrusto los resultados indican el bajo poder estadístico de la muestra para testear la diferencia de las varianzas de dos grupos (individuos de sexo femenino y masculino). Al contrario, para la prueba t de Student la muestra alcanza un gran poder ( $> 0.95$ ) salvo en algunos rasgos anatómicos. Por lo tanto, la muestra utilizada tiene un buen poder para establecer diferencias de tamaño entre los grupos (test de t de student del tamaño del centroide) pero no cuenta con un poder mínimo para testear diferencias atribuidas a la forma (ANOVA de las coordenadas de Procrusto). Dadas las limitaciones del tamaño de la muestra utilizada, los resultados posteriores sugieren más bien tendencias que permiten una aproximación al problema de estudio que se busca responder.

**Tabla2.** Poder estadístico de la muestra para los análisis realizados a partir de los resultados obtenidos por morfometría geométrica.

Muestra de cráneos	Rasgo	n	Poder estadístico ANOVA	Poder estadístico test de t de student
-Prehispánicos Deformación OBLICUA -Prehispánicos no deformados -Subactuales	Hueso cigomático	59	0.117	0.989
	Proceso cigomático	59	0.222	0.925
	Proceso mastoides	59	0.569	0.999
	Glabela	59	0.091	0.902
-Prehispánicos Deformación ERECTA -Prehispánicos no deformados -Subactuales	Hueso cigomático	58	0.066	0.997
	Proceso cigomático	58	0.188	0.870
	Proceso mastoides	58	0.113	0.993
	Glabela	57	0.570	0.992

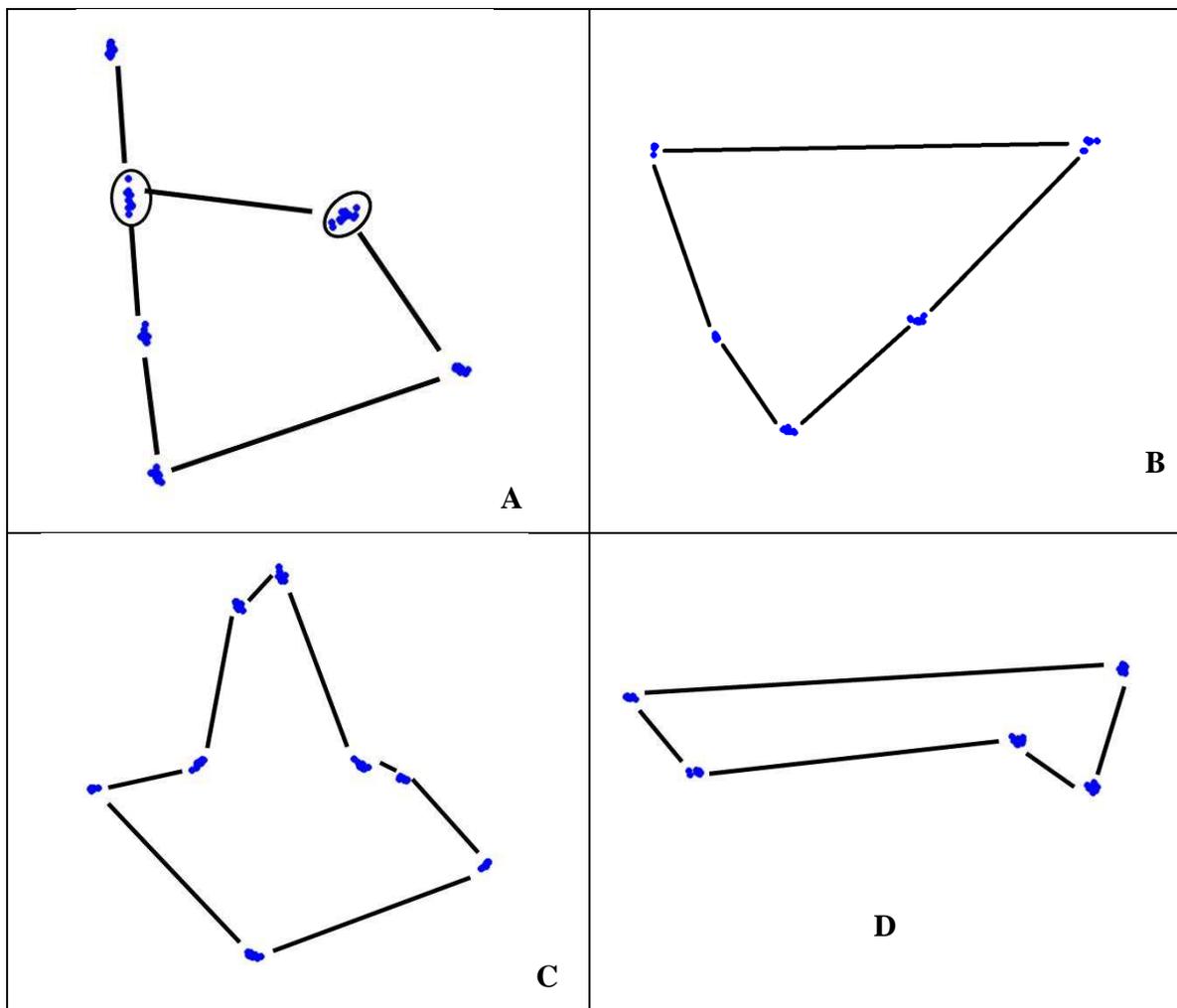
## 2) Prueba de error de las mediciones.

Los resultados de la prueba de error de las mediciones grafican las figuras 9 y 10. En la figura 3 se observa que los 15 registros repetidos en un sólo cráneo se agrupan en un extremo de la distribución de la muestra total; agrupación que por lo demás es de baja dispersión salvo por tres mediciones que tienden a separarse.



**Figura 9.** Precisión del registro de hitos anatómicos. Las 15 mediciones repetidas se muestran en negro y el resto de la muestra de cráneos no deformados se muestra en blanco

En la figura 10 se muestra la dispersión de hitos para cada rasgo anatómico en el grupo de mediciones repetidas. En general se observa una baja dispersión de los hitos de cada mapa de homologías salvo en caso de la glabella (figura 4, A) donde se observa una mayor dispersión de los hitos 3 y 5 (supraglabela y eminencia supraorbital). De los resultados presentados en las figuras 9 y 10 podemos concluir que el error de medición, dado por la precisión del registro repetido de hitos homólogos en un mismo cráneo, es bajo dada la dispersión de mediciones repetidas observadas en la figura 9, dispersión que no estaría comprometida por la variabilidad observada en la colocación de los hitos 3 y 5 en glabella.



**Figura 10.** Dispersión de hitos que resumen la forma de las estructuras analizadas en los casos de mediciones repetidas: A. glabella; B. proceso mastoide; C. hueso cigomático; D. proceso cigomático del temporal.

### 3) Forma y tamaño en el dimorfismo sexual de rasgos anatómicos en cráneos deformados intencionalmente.

En primer lugar se analizaron, por separado, la forma y el tamaño de las estructuras craneales. Para analizar la forma se aplicó un análisis de la varianza (ANOVA) por separado a comparaciones entre cráneos sin deformación y cráneos con deformación oblicua o erecta. Estas comparaciones se hicieron entre cráneos subactuales y prehispánicos (deformados y no deformados) y luego sólo considerando a los cráneos prehispánicos. Esta última distinción de análisis se hace para observar si la presencia o ausencia de cráneos subactuales afectaría a la varianza de los cráneos prehispánicos. Según Manríquez (com.

pers.) al comparar cráneos arqueológicos, deformados y no deformados, con cráneos de poblaciones subactuales se observa la separación de estos últimos respecto a los primeros: estas diferencias se podrían atribuir a la geneticidad de las poblaciones dihíbridas subactuales en comparación con las poblaciones originarias de América. Teniendo en cuenta este antecedente, se podría dar la posibilidad de que la inclusión de la varianza observada en cráneos subactuales distorsionaría la varianza atribuida al dimorfismo sexual que se espera observar entre cráneos deformados y no deformados de origen prehispánico.

En comparaciones que incluyeron cráneos con deformación oblicua, considerando cráneos subactuales con prehispánicos (deformados y no deformados), se observaron diferencias significativas en la forma del proceso mastoides y de la glabella ( $p < 0.01$ ) entre ambos sexos; las mismas diferencias se observaron al comparar solamente los cráneos prehispánicos deformados con los no deformados. En comparaciones que incluyeron cráneos con deformación erecta, los resultados obtenidos entre cráneos subactuales y prehispánicos (deformados y no deformados) arrojaron diferencias significativas en la forma del proceso mastoides y la glabella ( $p < 0.01$ ) entre individuos femeninos y masculinos; la comparación entre cráneos prehispánicos deformados y no deformados arrojó diferencias significativas para la forma del hueso cigomático, el proceso mastoides y la glabella ( $p < 0.02$ ). El detalle de estos resultados se muestra en las tablas 3 y 4.

**Tabla 3.** Análisis de la varianza para diferencias por sexo en la forma de rasgos craneales para estimar sexo en cráneos no deformados y con **deformación oblicua**.

<b>Muestra</b>	<b>Rasgo</b>	<b>n</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b>Pillai's Tr</b>	<b>P</b>
- Subactuales -Prehispánicos (deformados y no deformados)	Hueso cigomático	59	17	1.16	0.287	0.43	0.054
	Proceso cigomático	59	8	0.82	0.582	0.26	0.044
	Proceso mastoides	59	8	2.77	<b>0.005</b>	0.37	0.001
	Glabela	59	11	6.58	<b>&lt;0.001</b>	0.72	<0.001
- Prehispánicos (deformados y no deformados)	Hueso cigomático	39	17	1.29	0.192	0.50	0.32
	Proceso cigomático	39	8	0.84	0.566	0.35	0.07
	Proceso mastoides	39	8	3.40	<b>&lt;0.001</b>	0.42	0.02
	Glabela	39	11	4.19	<b>&lt;0.001</b>	0.74	<0.001

**Tabla 4.** Análisis de la varianza para diferencias por sexo en la forma de rasgos craneales para estimar sexo en cráneos no deformados y con **deformación erecta**.

Muestra	Rasgo	n	df	F	p	Pillai's Tr	p
- Subactuales -Prehispánicos (deformados y no deformados)	Hueso cigomático	58	17	1.58	0.062	0.53	0.005
	Proceso cigomático	58	8	1.21	0.290	0.26	0.051
	Proceso mastoides	58	8	2.72	<b>0.006</b>	0.38	0.001
	Glabela	57	11	9.77	<b>&lt;0.001</b>	0.73	<b>&lt;0.001</b>
- Prehispánicos (deformados y no deformados)	Hueso cigomático	38	17	1,90	<b>0.015</b>	0.59	0.128
	Proceso cigomático	38	8	1.09	0.371	0.34	0.101
	Proceso mastoides	38	8	2.80	<b>0.005</b>	0.39	0.046
	Glabela	37	11	7.47	<b>&lt;0.001</b>	0.74	<b>&lt;0.001</b>

Para el análisis de tamaño del centroide se aplicaron los mismos criterios para definir las comparaciones a realizar, esta vez, mediante el test de t de student. Este test se aplicó considerando varianzas iguales entre individuos masculinos y femeninos, con valores de p significativos para una cola dado que al comparar el tamaño del centroide está el supuesto implícito de alometría que indica que las estructuras óseas de individuos masculinos serán más grandes en comparación a las de individuos femeninos de acuerdo al patrón de dimorfismo sexual observado en homínidos (Mitteroecker et al., 2004; Schaefer et al., 2004). Con esta prueba estadística se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para los promedios del tamaño de todas las estructuras analizadas en ambos sexos. Estas diferencias se dieron tanto en comparaciones que incluyeron cráneos con deformación oblicua como erecta, considerando poblaciones subactuales o sólo considerando poblaciones prehispánicas. Los resultados de esta prueba estadística se muestran en las tablas 5 y 6.

**Tabla 5.** Diferencias entre sexos para del promedio del tamaño del centroide de rasgos craneales usados en la estimación del sexo en cráneos no deformados y con **deformación oblicua**.

Muestra	Rasgo	n	$\bar{x}$ femeninos	$\bar{x}$ masculinos	Valor de t	p
- Subactuales -Prehispánicos (deformados y no deformados)	Hueso cigomático	59	56.88	60.61	-4.66	<b>&lt;0.001</b>
	Proceso cigomático	59	44.47	46.78	-3.40	<b>&lt;0.001</b>
	Proceso mastoides	59	47.14	53.68	-7.71	<b>&lt;0.001</b>
	Glabela	59	38.13	40.41	-2.98	<b>0.002</b>
- Prehispánicos (deformados y no deformados)	Hueso cigomático	39	58.09	61.38	-3.79	<b>&lt;0.001</b>
	Proceso cigomático	39	44.33	46.84	-3.14	<b>&lt;0.001</b>
	Proceso mastoides	39	47.48	52.93	-5.32	<b>&lt;0.001</b>
	Glabela	39	38.31	40.04	-1.78	<b>0.041</b>

**Tabla 6.** Diferencias entre sexos para del promedio del tamaño del centroide de rasgos craneales usados en la estimación del sexo en cráneos no deformados y con **deformación erecta**.

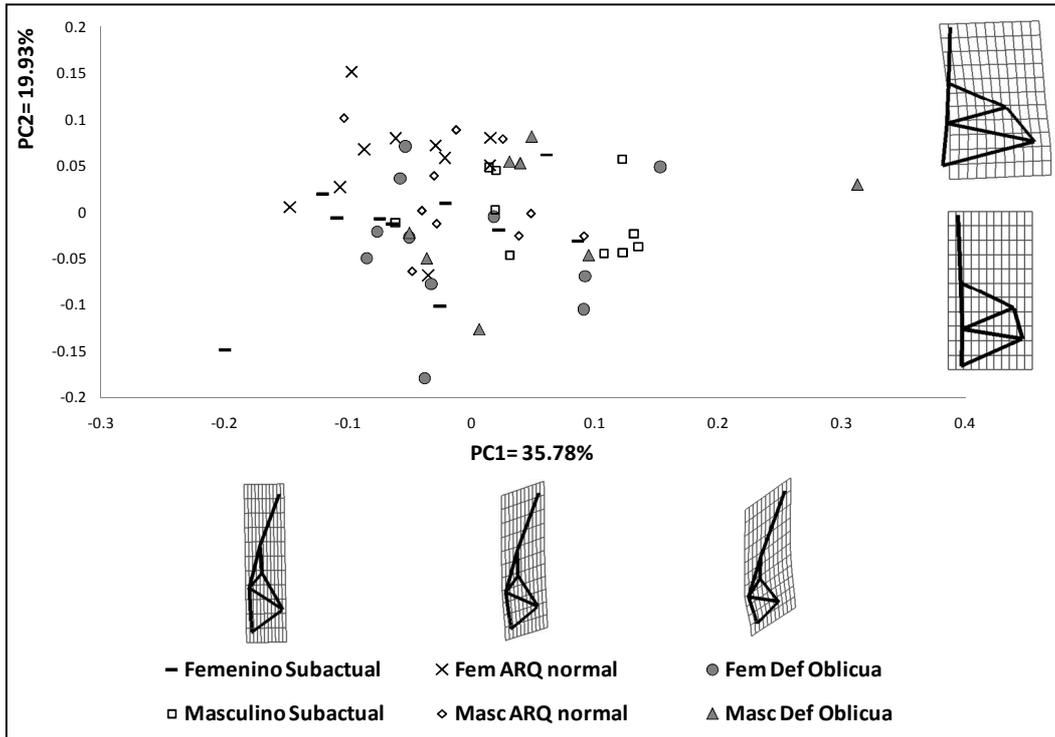
Muestra	Rasgo	n	$\bar{x}$ femeninos	$\bar{x}$ masculinos	Valor de t	p
- Subactuales -Prehispánicos (deformados y no deformados)	Hueso cigomático	58	55.89	59.81	-5.65	<0.001
	Proceso cigomático	58	44.46	46.41	-3	0.002
	Proceso mastoides	58	47.78	53.66	-6.38	<0.001
	Glabela	57	37.34	40.64	-4.92	<0.001
- Prehispánicos (deformados y no deformados)	Hueso cigomático	38	56.75	60.11	-4.31	<0.001
	Proceso cigomático	38	44.28	46.28	-2.71	0.005
	Proceso mastoides	38	48.53	52.97	-3.9	<0.001
	Glabela	37	37.12	40.42	-4.13	<0.001

#### 4) Análisis de Componentes Principales de Tamaño y Forma (*Size and Shape Space*).

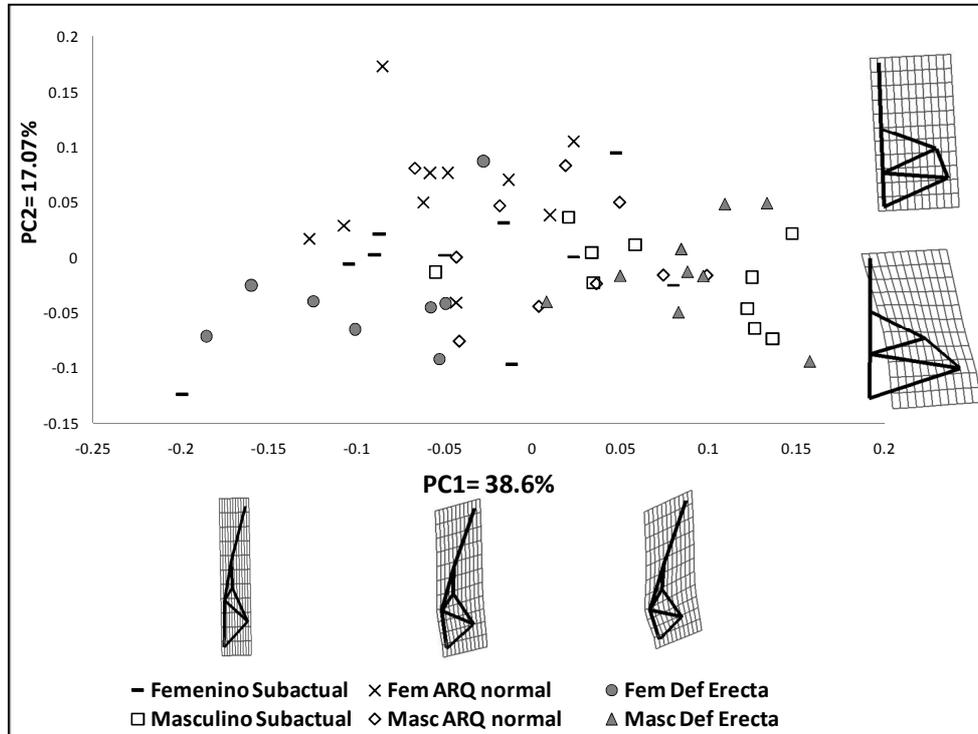
Con este análisis se pueden apreciar la variación de tamaño y de forma de las estructuras analizadas y apreciar la distribución de los cráneos deformados respecto de los cráneos no deformados.

En la glabela (figuras 11 y 12) se observa que la variación separa cráneos femeninos de masculinos, diferencias que son más evidentes en comparaciones con cráneos con deformación erecta (figuras 12). En ambas comparaciones se aprecia que, de acuerdo al primer componente principal (PC1), la variación de la glabela se da tanto por el tamaño de esta estructura como por la forma, en donde se puede apreciar como los hitos que enmarcan esta estructura en la línea sagital se expanden a media que se aumenta de tamaño y con ello cambia la forma de esta estructura con la característica proyección hacia anterior que caracteriza a individuos de sexo masculino. Respecto al segundo componente principal (PC2) no se observa la misma separación por sexo descrita para el PC1, y la variación morfológica que describe da cuenta de la expansión o alejamiento de la eminencia supraorbitaria respecto a la línea sagital. En ambas comparaciones, los PC 1 y PC 2 resumen aproximadamente el 55% de la varianza de la muestra.

En el caso del proceso mastoides también se observa la separación por sexo de acuerdo a los valores del PC1 en ambas comparaciones (deformación oblicua y erecta, figuras 13 y 14) pero con los cráneos femeninos erectos agrupados en torno al eje central indicando el mayor tamaño de estos en comparación a cráneos femeninos no deformados; esta tendencia no se observa en los casos con deformación oblicua. En ambos casos se da

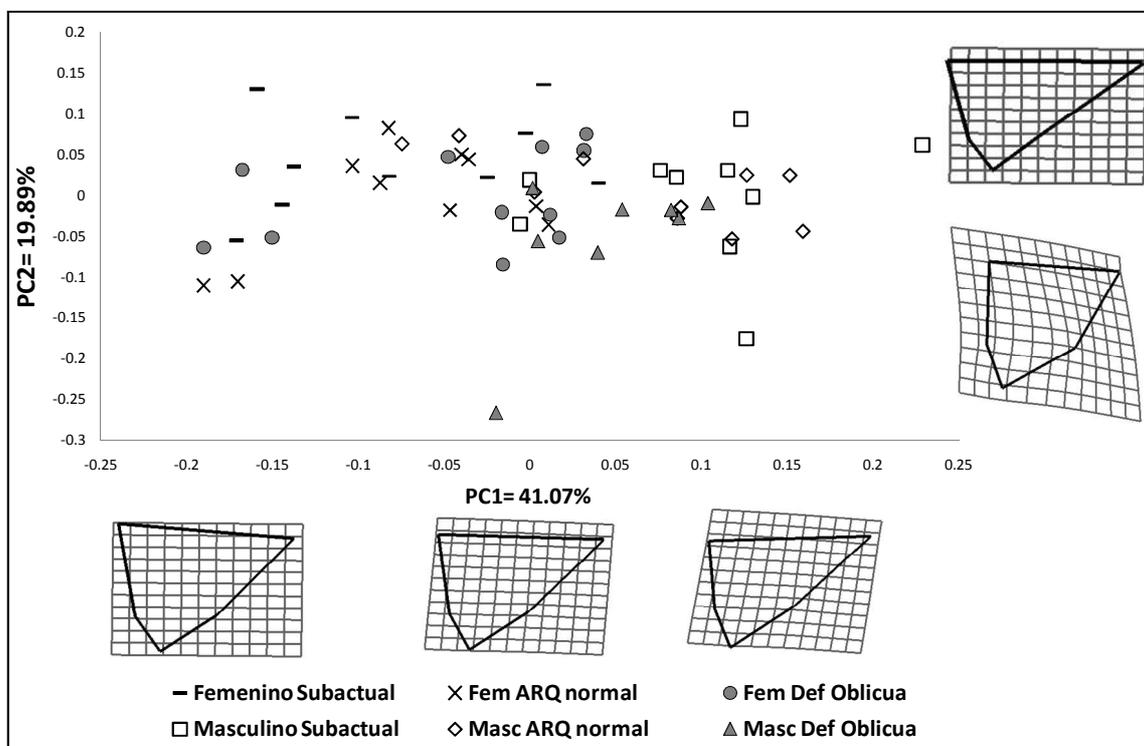


**Figura 11.** Variación en de la forma de la glabella en comparaciones que incluyen cráneos con deformación oblicua.

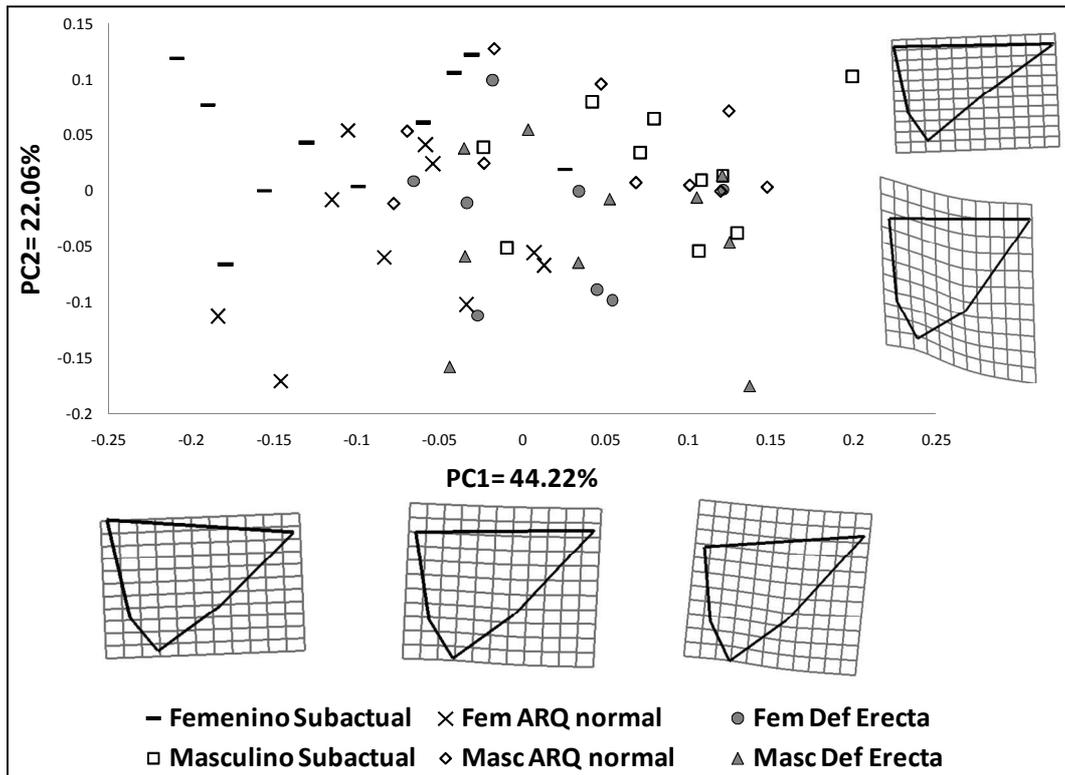


**Figura 12.** Variación en de la forma de la glabella en comparaciones que incluyen cráneos con deformación erecta

que la variación en torno al PC1 indica principalmente el aumento de tamaño de esta estructura junto con una ligera variación de la forma asociada a la expansión que definen los hitos de la región posterior del mastoides (asterion y escotadura mastoidea posterior), variación de forma que es un poco más acentuada en la comparación con cráneos con deformación erecta (figura 14). En el PC2 se puede apreciar un patrón de variación similar al del PC1 pero mucho más acentuado, según lo indica la deformación de las grillas de la placa delgada. En ambos casos, los PC1 y PC2 resumen aproximadamente el 60% de la varianza de la muestra.

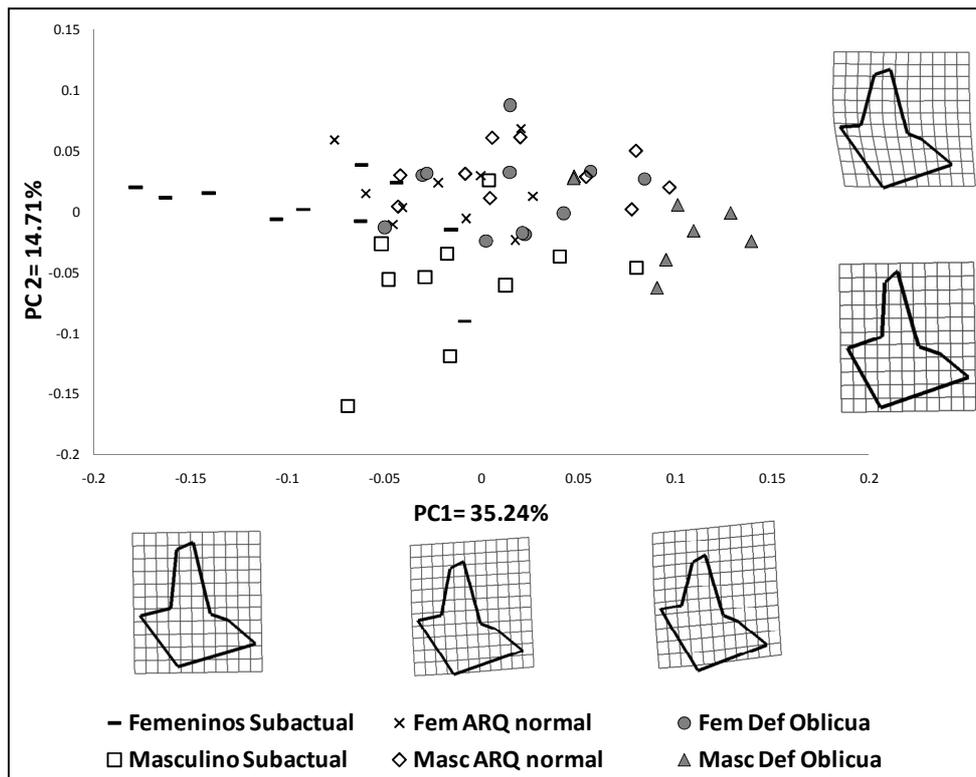


**Figura 13.** Variación en de la forma del proceso mastoides en comparaciones que incluyen cráneos con deformación oblicua.

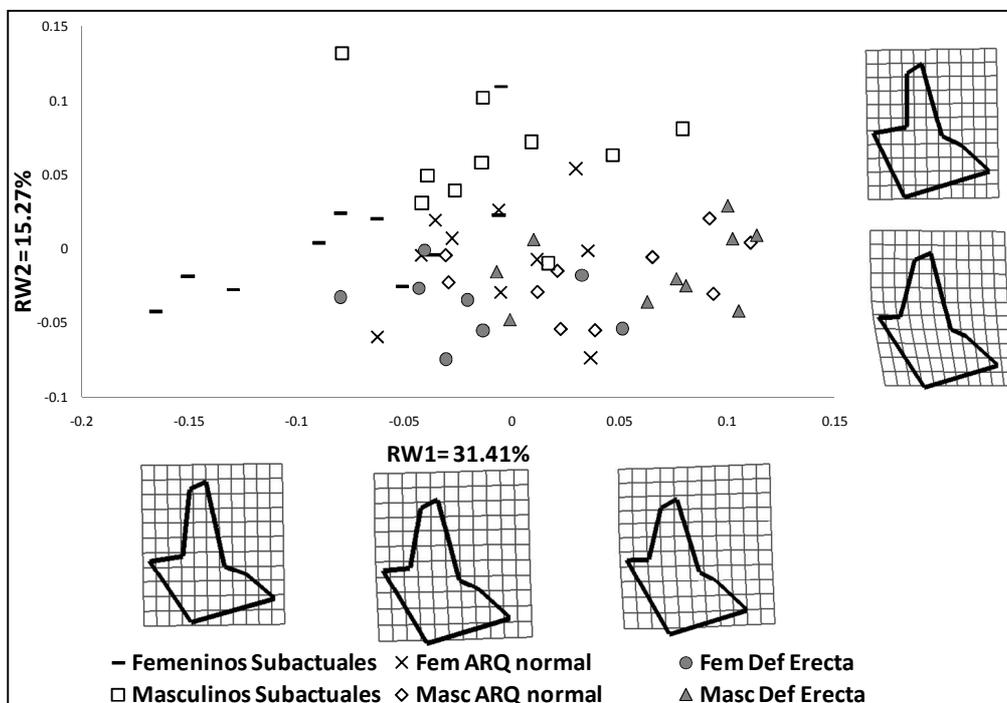


**Figura 14.** Variación en de la forma del proceso mastoides en comparaciones que incluyen cráneos con deformación erecta.

En el hueso cigomático se puede apreciar que, en las dos comparaciones, la variación a lo largo del PC1 indica principalmente el aumento de tamaño y una ligera deformación asociada a la expansión de los hitos que definen el cuerpo del cigomático y la base del proceso frontal a media que aumenta el tamaño (figuras 15 y 16). En ambas comparaciones se da la separación entre ambos sexos pero se destaca que los individuos femeninos prehispánicos (no deformados y deformados) son mucho más robustos en comparación a los femeninos subactuales. En el PC2 se observa variación de la forma asociada principalmente a la expansión de la base del proceso frontal del cigomático, lo que se asocia preferentemente a las poblaciones prehispánicas. En conjunto, el PC1 y PC2 resumen aproximadamente más del 46% de la varianza de la muestra.

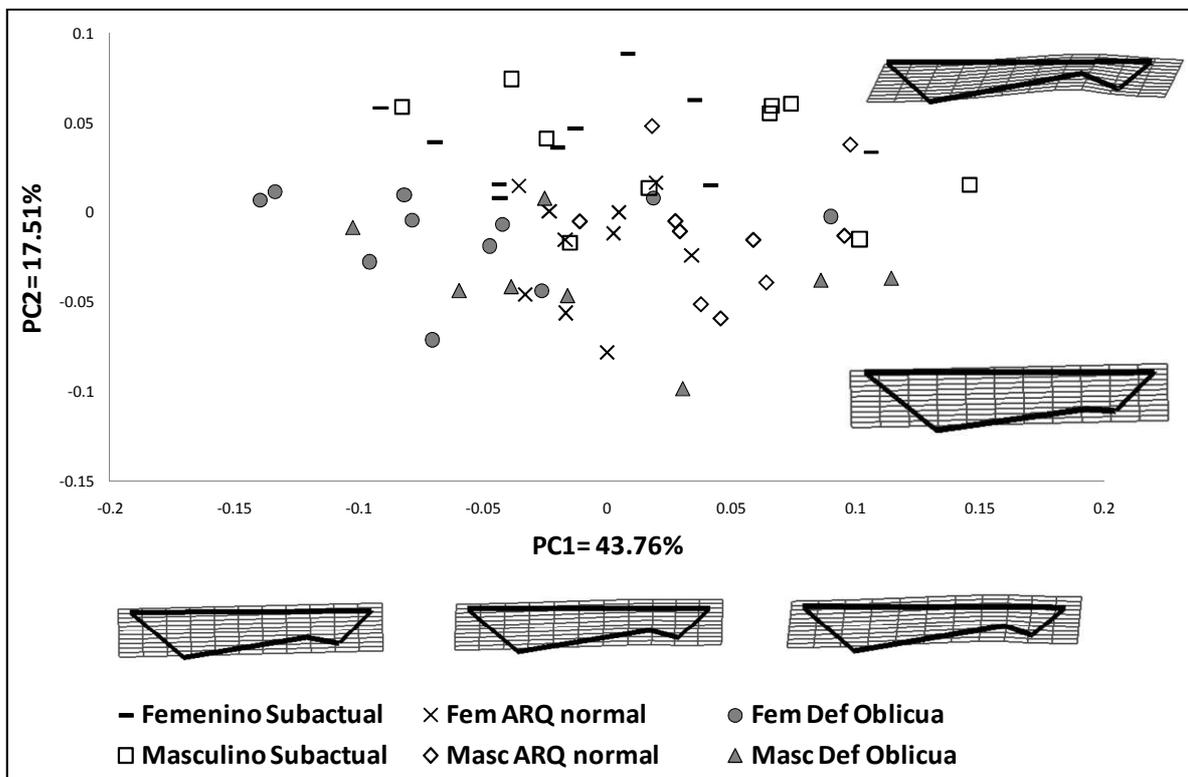


**Figura 15.** Variación en de la forma del hueso cigomático en comparaciones que incluyen cráneos con deformación oblicua.

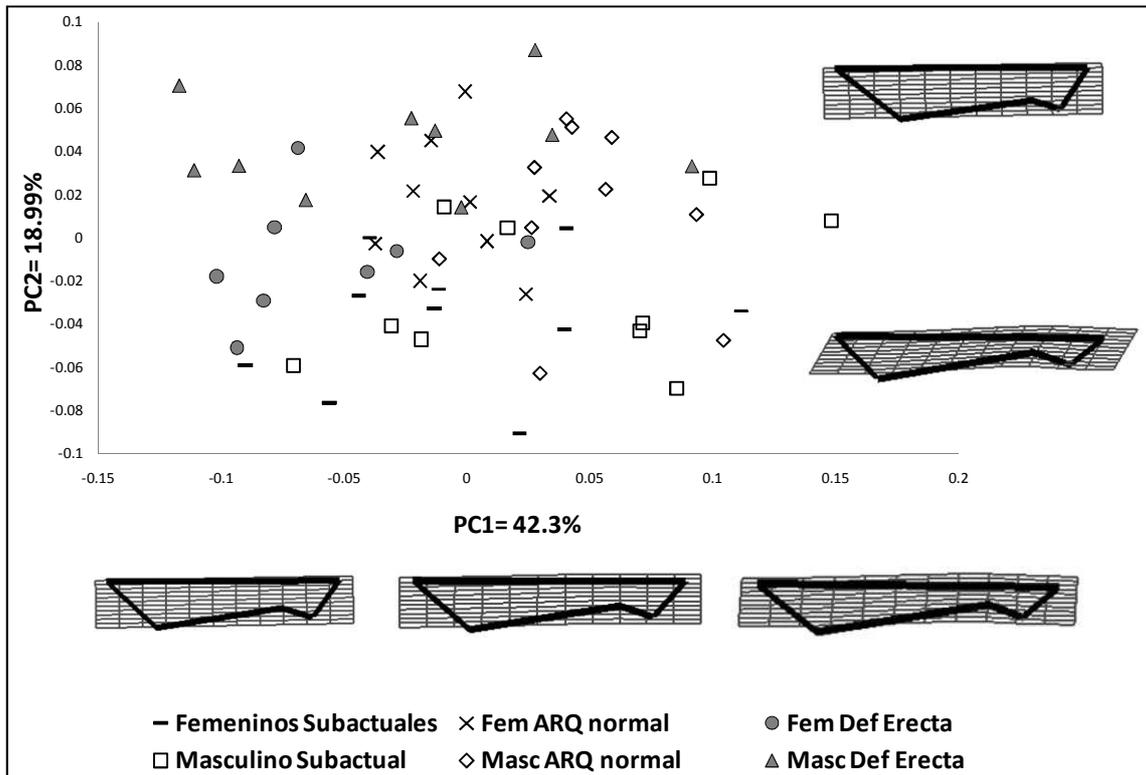


**Figura 16.** Variación en de la forma del hueso cigomático en comparaciones que incluyen cráneos con deformación erecta.

En el proceso cigomático del temporal se observa que a lo largo del PC1 varia solamente por el tamaño, alargándose este proceso hacia los valores más positivos de este componente principal. En ambos casos, se aprecia que los cráneos deformados se agrupan en torno a los valores negativos del PC1, lo que indica que en estos casos el proceso cigomático del temporal es mucho más corto en comparación a los cráneos no deformados. El PC2 indica la variación en el grosor de esta estructura, separando a los cráneos subactuales de los prehispanicos (deformados y no deformados), teniendo estos últimos procesos más gruesos a nivel de la fosa mandibular (figuras 17 y 18). La variación resumida por el PC1 y el PC2 se aproxima al 60%.



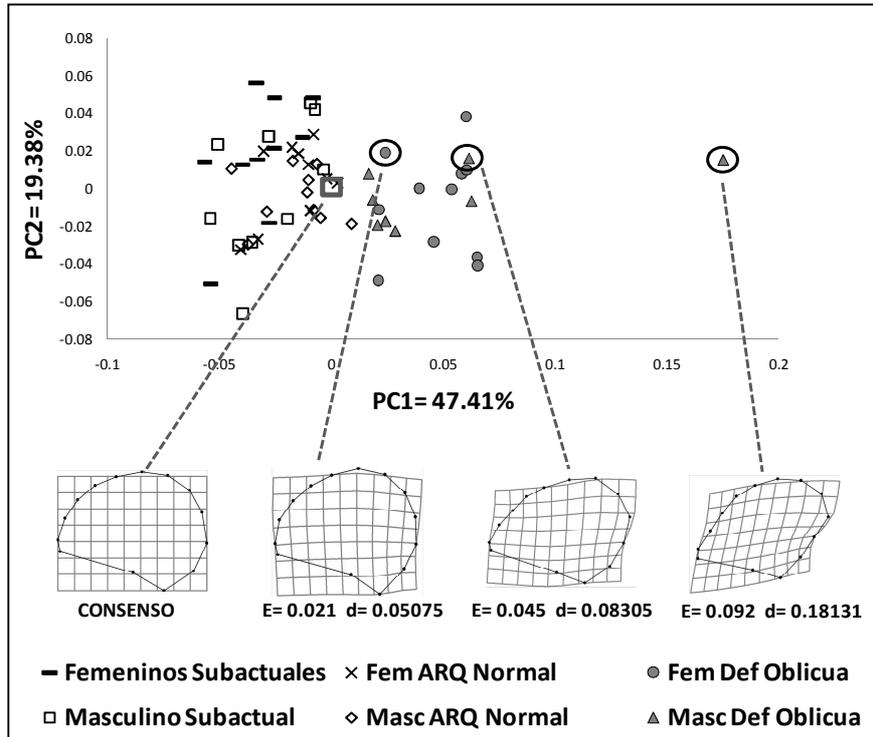
**Figura 17.** Variación en de la forma del proceso cigomático del temporal en comparaciones que incluyen cráneos con deformación oblicua.



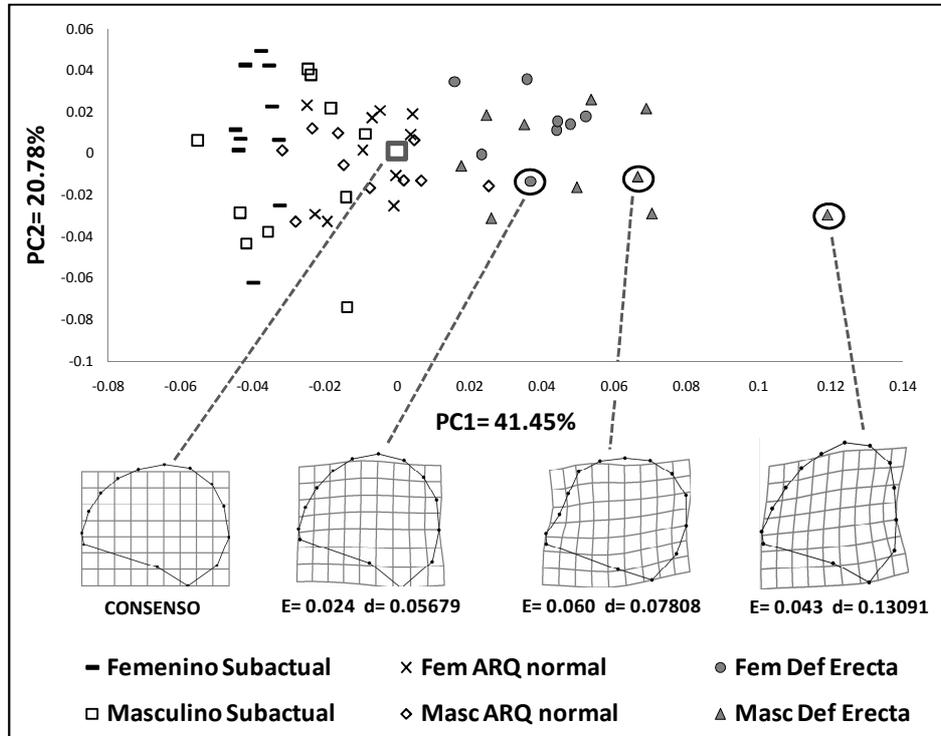
**Figura 18.** Variación en de la forma del proceso cigomático del temporal en comparaciones que incluyen cráneos con deformación erecta.

### 5) Relación entre magnitud de la deformación y la forma de los rasgos anatómicos analizados.

Los resultados del análisis de componentes principales aplicado al mapa de homologías utilizado para estimar la intensidad de la deformación se muestran en las figuras 19 y 20, para comparaciones con cráneos con deformación oblicua y erecta, respectivamente. En estas figuras la variación de los cráneos se muestra en torno al PC1 y PC2 y se incluyen muestras de las grillas de placa delgada cuyas contracciones y expansiones permiten observar la intensidad de la deformación en cráneos deformados según los cambios observados en la región posterior de la bóveda craneal; cambios que están asociados al aumento de las distancias de Procusto según los valores indicados en las figuras 19 y 20.



**Figura 19.** Intensidad de la deformación en cráneos con deformación oblicua (E, Energía de torsión; d, distancia de Procrusto)..



**Figura 20.** Intensidad de la deformación en cráneos con deformación erecta (E, Energía de torsión; d, distancia de Procrusto).

Los resultados de la correlación entre la distancia de Procrustes de los cráneos deformados respecto a la configuración de consenso de la muestra total y el PC1 de la variación de tamaño y forma de las estructuras se muestran en la tabla 7. Con estos resultados se confirman algunas de las tendencias descritas en el análisis de componentes principales de tamaño y forma que fue planteado en el punto anterior. En cráneos con deformación erecta, la intensidad de la deformación tiene una correlación media y positiva con la variación de la forma y tamaño del proceso mastoideo, lo que fue observado en la tendencia en el aumento del tamaño de esta estructura en cráneos femeninos con esta deformación observada en la figura 14.

En cráneos con deformación oblicua, se observa que la intensidad de la deformación tiene una correlación media y positiva con la variación de tamaño y forma de la glabella; y una correlación media y negativa con la variación del proceso cigomático del temporal. Respecto a la glabella, en la figura 11 se observa que los individuos femeninos tienen mostrar valores más elevados en relación a cráneos femeninos no deformados; también se observa que hay un valor masculino extremo que se aleja de la distribución de la muestra, lo que estaría aumentando la fuerza de la correlación entre estas dos variables. En tanto con el proceso cigomático del temporal se estaría confirmando la tendencia ya observada en la figura 17, que indica que los cráneos con deformación oblicua tendrían procesos cigomáticos más cortos en relación a los cráneos no deformados.

**Tabla 7.** Resultados de la correlación entre la distancia de Procrustes de los cráneos deformados y el PC1 de la variación de tamaño y forma de los rasgos anatómicos analizados. \* indica correlación significativa ( $p < 0.05$ )

Muestra de cráneos	Rasgo	n	Correlación
Cráneos con deformación OBLICUA	Hueso cigomático	19	-0.01
	Proceso cigomático	19	<b>-0.52*</b>
	Proceso mastoideo	19	-0.13
	Glabela	19	<b>0.57*</b>
Cráneos con deformación ERECTA	Hueso cigomático	18	0.06
	Proceso cigomático	18	0.08
	Proceso mastoideo	18	<b>0.51*</b>
	Glabela	17	0.42

**6) Análisis Multivariado de la Varianza (MANOVA) para las variables de sexo, deformación y población.**

Los resultados del MANOVA aplicado a las variables sexo, población y deformación se resumen en la tabla 8. Con este análisis se observa, en las dos comparaciones realizadas, que para el hueso cigomático, proceso mastoides y glabella, la variable "sexo" da cuenta de diferencias significativas y, según el F ratio, resume la mayor varianza de las variables dependientes. Para el proceso cigomático, en las dos comparaciones, la variable "población" resume la mayor cantidad de la varianza de las variables dependientes, seguida por la variable sexo.

**Tabla 8.** MANOVA de los componentes principales del Size and Shape Space. Se indica el número de componentes principales utilizados en cada caso y las variables independientes significativas ( $p < 0.05$ ) ordenadas de mayor a menor según el F ratio de estas entre paréntesis.

Muestra de cráneos	Rasgo	n	n° de componentes principales utilizados (% varianza resumida)	Variables independientes significativas (F ratio)
-Prehispánicos Deformación OBLICUA -Prehispánicos no deformados -Subactuales	Hueso cigomático	59	16 (99.41% de la varianza)	Sexo (8.25) y Deformación (3.35)
	Proceso cigomático	59	9 (100% de la varianza)	Población (4.5), Sexo (2.75) y Deformación (2.28)
	Proceso mastoides	59	8 (99.23% de la varianza)	Sexo (10.5)
	Glabela	59	9 (99.51% de la varianza)	Sexo (11.64) y Deformación (4.81)
-Prehispánicos Deformación ERECTA -Prehispánicos no deformados -Subactuales	Hueso cigomático	58	15 (99.08% de la varianza)	Sexo (5.28) y Población (5.02)
	Proceso cigomático	58	9 (99% de la varianza)	Población (4.91), Sexo (3.16) y Deformación (2.65)
	Proceso mastoides	58	8 (99.32% de la varianza)	Sexo (7.83)
	Glabela	57	9 (99.54% de la varianza)	Sexo (13.23), Deformación (4.09) y Población (2.19)

**7) Análisis Discriminante de los componentes principales de tamaño y forma para predecir la variable sexo.**

El análisis discriminante aplicado a las comparaciones con cráneos oblicuos y erectos arrojó clasificaciones significativas del sexo a partir de los componentes principales de tamaño y forma de las estructuras. Para la muestra en la que se comparan cráneos con deformación oblicua y cráneos no deformados, el porcentaje de clasificaciones correctas más alto se obtuvo con los componentes principales del hueso cigomático (100% de los

casos con el sexo correctamente clasificado), seguido por la glabella (97.87% de casos correctamente clasificados, y por el proceso mastoides (93.62% de casos correctamente clasificados). En el caso de las comparaciones entre cráneos con deformación erecta y cráneos no deformados, tanto el hueso cigomático como la glabella arrojaron el porcentaje más alto de casos correctamente clasificados (93.48% y 93.33%, respectivamente) seguidos por el proceso mastoides (89.13% de casos correctamente clasificados). Tanto en las comparaciones con cráneos oblicuos como erectos el proceso cigomático del temporal arrojó los valores más bajos con un 78.72% y 82.61% de casos correctamente clasificados, respectivamente. Las tablas 9 y 10 resumen los resultados del análisis discriminante para los componentes principales que resultaron ser significativos en el proceso de la clasificación. Al utilizar los componentes principales de glabella, proceso mastoides y del hueso cigomática que clasificaron significativamente el sexo se logró un 97.87% de casos correctamente clasificados en la muestra que compara cráneos con deformación oblicua con cráneos no deformados; y un 97.78% de acierto al clasificar el sexo en la muestra de cráneos con deformación erecta y cráneos no deformados.

**Tabla 9.** Resultados del análisis discriminante para las variables independientes (Relative Warps, RW) utilizadas en el modelo para comparaciones con cráneos con **deformación erecta**.

<b>Estructura anatómica</b>	<b>PC</b>	<b>Wilks' Lambda</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<i>Glabela</i>	1	0.333755	69.8675	<0.0001
	3	0.853935	5.9867	0.019578
	5	0.815987	7.8929	0.008068
	7	0.822707	7.5425	0.009453
<i>Mastoides</i>	1	0.552065	30.0211	<0.0001
	3	0.596934	24.9834	<0.0001
	5	0.861230	5.9618	0.019520
<i>Hueso cigomático</i>	1	0.536033	25.96671	<0.0001
	8	0.772931	8.81331	0.005830
	13	0.845219	5.49374	0.025902
<i>Proceso cigomático</i>	2	0.831458	7.29742	0.010462
	5	0.896817	4.14198	0.049246
	8	0.867107	5.51736	0.024436

**Tabla 10.** Resultados del análisis discriminante para las variables independientes (Relative Warps, RW) utilizadas en el modelo para comparaciones con cráneos con **deformación oblicua**.

<b>Estructura anatómica</b>	<b>PC</b>	<b>Wilks' Lambda</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<i>Glabela</i>	1	0.579577	26.8397	<0.0001
	3	0.515319	34.8002	<0.0001
	6	0.820349	8.1028	<0.0001
	7	0.715236	14.7312	<0.0001
	9	0.707510	15.2961	<0.0001
<i>Mastoides</i>	1	0.382961	61.2269	<0.0001
	2	0.853157	6.5404	0.014659
	3	0.864534	5.9543	0.019456
	5	0.632607	22.0689	<0.0001
<i>Hueso cigomático</i>	1	0.481096	32.3576	<0.0001
	3	0.455145	35.9131	<0.0001
	6	0.779762	8.4733	0.006735
	7	0.665810	15.0579	<0.0001
	9	0.632936	17.3982	<0.0001
	10	0.805752	7.2323	0.011579
	12	0.854877	5.0927	0.031469
<i>Proceso cigomático</i>	1	0.829611	7.59922	0.009013
	9	0.886016	4.75999	0.035556

## VI. DISCUSIÓN.

En este estudio se aborda el efecto de la deformación intencional del cráneo en la expresión del dimorfismo sexual de los rasgos anatómicos del cráneo mediante técnicas métricas que rescatan las variables de tamaño y forma de las estructuras analizadas. Mediante técnicas de análisis por morfometría geométrica se ha podido analizar, métricamente, estructuras anatómicas del cráneo que carecen de un conjunto de medidas lineales estandarizadas y se han identificado patrones de variación asociados al dimorfismo sexual del cráneo humano y que constituyen patrones de variación de la forma (y tamaño) altamente localizados dado que se circunscriben en estructuras acotadas del cráneo; pero no por ello no se ha podido explicar su variabilidad en función de los patrones de variación mayores que se producen en virtud de la deformación intencional del cráneo.

Los resultados obtenidos en esta investigación nos indican que la deformación craneal intencional y la magnitud de ésta se encuentran relacionadas con la variación de tamaño y forma de la glabella y el proceso cigomático del temporal en cráneos con deformación oblicua, y con la variación del proceso mastoides en cráneos con deformación erecta. Tanto en la glabella como el proceso mastoides se observa que el efecto de la deformación, oblicua y erecta respectivamente, es el de aumentar el tamaño de esta estructuras, especialmente en individuos femeninos. El aumento de tamaño de la glabella podría estar relacionado con la mayor proyección hacia anterior de esta estructura, la que se desarrolla a expensas del crecimiento hacia anterior del esqueleto facial. Estudios previos han mostrado que la deformación de tipo oblicuo provoca la elevación del maxilar anterior que se traduce en la mayor proyección del esqueleto facial hacia anterior (Manríquez et al., 2006). El aumento de tamaño de proceso mastoides en cráneos con deformación erecta podría estar asociado a los efectos de este tipo de deformación en el contorno del hueso occipital y en las inserciones musculares en la línea nuchal. Plagiocefalias asimétricas que afectan al hueso occipital -de manera análoga a la deformación erecta- provocan el desarrollo disfunciones a nivel de la musculatura de cuello producto de la deformación sufrida por el cráneo en la escama occipital (Hutchison et al., 2009; Rekate, 1998; Teichgraeber et al., 2002), y al mismo tiempo se ha reportado el mayor desarrollo del proceso mastoides del lado donde ocurre la plagiocefalia (Kreiborg y Björk, 1981).

Posiblemente, este tipo de deformación debilitaría la musculatura nugal; por esta razón los esfuerzos musculares se trasladarían a los elementos más laterales de este paquete muscular, a los músculos esplenio de la cabeza y la porción mastoidea del músculo esternocleidomastoideo, ambos con inserciones en el proceso mastoideo. Respecto al proceso cigomático del temporal, la deformación intencional de tipo oblicuo provocaría la disminución del largo de esta estructura, lo que estaría asociado al aumento de las dimensiones mediolaterales del cráneo producto de la deformación craneal, fenómeno que se ha reportado en estudios previos (Cheverud et al., 1992). Finalmente respecto a la variación de tamaño y forma del hueso cigomático, no se observó relación entre esta y la magnitud de la deformación del cráneo, sea de tipo oblicua o erecta debido, posiblemente, a que el hueso cigomático participa del aparato masticatorio al ser parte de las inserciones del músculo masetero, quedando su variación sujeta más bien a las constricciones impuestas por la biomecánica del aparato masticatorio más que a las del crecimiento y desarrollo neurocraneal.

Pese a los efectos de la deformación intencional del cráneo ya descritos, se pudo constatar diferencias significativas en el tamaño y forma de la glabella, el proceso mastoideo y el hueso cigomático debidas al sexo según los resultados del MANOVA aplicado. En el caso del proceso cigomático del temporal se observó que la variación de esta estructura se debe principalmente al origen de la muestra, i.e., si el cráneo es de origen prehispánico o subactual. Estos resultados fueron similares a los obtenidos en el análisis discriminante aplicado, donde las clasificaciones del sexo arrojaron los mejores resultados en el hueso cigomático, la glabella y el proceso mastoideo (porcentajes de aciertos sobre el 89% en una muestra que incluye cráneos no deformados y deformados. El proceso cigomático del temporal arrojó porcentajes más bajos para la correcta clasificación del sexo en cráneos con deformación oblicua y erecta (78% y 82% de los casos, respectivamente). El uso de la glabella, el hueso cigomático y el proceso mastoideo para la estimación del sexo arrojó un 97% de casos con el sexo correctamente clasificado en comparaciones que incluyeron cráneos con deformación oblicua y erecta; sólo un cráneo femenino con deformación oblicua fue clasificado como masculino.

Estudios previos han establecido la relación que tienen el sexo y el tamaño del cráneo con la forma de éste utilizando como técnica de análisis la morfometría geométrica.

Rosas y Bastir (2002) establecen que el tamaño explica el 53% de la varianza de la forma del cráneo y el sexo da cuenta de 37%, y que los individuos masculinos tienen un mayor tamaño del centroide en relación a los individuos femeninos; los autores sugieren la existencia de una alometría positiva en el cráneo humano que explicaría el cambio en las proporciones del neurocráneo y el esqueleto facial. Schaefer y colaboradores (2004) confirman esta relación entre alometría y dimorfismo sexual en homínidos que se va estableciendo durante la ontogenia del cráneo; principalmente, y en magnitud decreciente, en orangutanes, gorilas y humanos.

A partir de estos análisis, distintos estudios por morfometría geométrica analizan el dimorfismo sexual a nivel del cráneo han destacado que la posibilidad de acierto en la estimación del sexo del cráneo a partir de las variables de forma de este aumentan cuando se agrega a estas las variables de tamaño como el tamaño del centroide, arrojando porcentajes de acierto para la estimación del sexo entre el 76% al 100% (Bigoni et al., 2010; Franklin et al., 2006; Garvin y Ruff, 2012; Gonzáles et al., 2011; Green y Curnoe, 2009; Kimmerle et al., 2008). En general, varios de estos estudios se enfocan en el estudio del dimorfismo sexual del cráneo en general (Franklin et al., 2006; Gonzales et al., 2011; Green y Curnoe, 2009; Kimmerle et al., 2008), arrojando resultados en los que la variación asociada al dimorfismo sexual se describe en función de la forma del neurocráneo y el esqueleto facial en general más que en estructuras específicas de este. Si bien estas investigaciones se benefician de las bondades métricas y cuantitativas de la morfometría geométrica, estos resultados sólo pueden aplicarse en casos donde el cráneo se encuentra completo y en buen estado. Por ejemplo, González y colaboradores (2011) aplican un mapa de homologías que describe en conjunto la forma de la glabella, el hueso cigomático, el proceso cigomático del temporal y el proceso mastoideo, estructuras que se usan en procedimientos antroposcópicos para estimar el sexo a partir del cráneo y descritos en la literatura (Ascadi y Nemeskeri, 1970; Buikstra y Ubelaker, 1994; Walrath *et al.*, 2004; Walker, 2005 y 2008) utilizando como muestra una colección de cráneos de poblaciones subactuales de Portugal. Sus resultados, considerando variables de tamaño y de forma, arrojan porcentajes de acierto para la estimación del sexo equivalentes al 72%, porcentaje bajo en relación a otros que solamente analizan un mapa de homologías que se basa en, o incluye, la descripción de la forma de la glabella (Bigoni et al., 2010; Garvin y Ruff, 2011)

y que superan el 90% de casos correctamente clasificados solo por analizar o incluir en el análisis a esta estructura en la forma del neurocráneo. Quizás el problema con este tipo de mapas de homologías radica en que el dimorfismo sexual no se expresa por igual a nivel intraindividual pudiéndose encontrar, en un mismo cráneo, rasgos de distintos tamaños y de distinta forma dado que expresan la variabilidad continua de estos. Bigoni y colaboradores (2010) descomponen su mapa de homologías para analizar el contorno de la bóveda craneal, el esqueleto facial superior, las orbitas, la apertura nasal y el techo del paladar encontrando distintos niveles de acierto en la estimación del sexo para la forma de cada estructura; desde 70% de acierto para la forma del paladar a un 99% y 100% para el contorno de la bóveda craneal y el esqueleto facial superior, respectivamente, según la variación de la forma de estas estructuras en poblaciones de Europa Central. Garvin y Ruff (2011) analizan la variabilidad del tamaño y la forma en la glabella y la eminencia mentoniana, en poblaciones de blancos y negros de Estados Unidos, a partir de modelos virtuales de cráneos y aplicando mapas de homologías basados en semihitos. Sus resultados permitieron visualizar la variabilidad de tamaño y forma de estas estructuras y lograron porcentajes de acierto de 91% para la glabella y 74% en la eminencia mentoniana. De todos modos, y en general, todos estos estudios coinciden en destacar el uso de la morfometría geométrica como herramienta de análisis objetivo y métrico para describir el dimorfismo sexual de estructuras craneales. En nuestra investigación coincidimos con estos planteamientos, junto con afirmar la utilidad de esta herramienta para analizar estructuras discretas del cráneo mediante la definición de hitos anatómicos precisos y registrables con un nivel de precisión aceptable; además de analizar el dimorfismo sexual no sólo en función de una determinada población sino que también en función de una prácticas culturales como la deformación intencional que modifican la forma del cráneo.

Diversos estudios han abordado la deformación intencional en el cráneo detallando sus distintos efectos en la morfología del esqueleto facial y en la base del cráneo a través de medidas lineales (Anton, 1989; Cheverud y Midkiff, 1992; Jimenez et al., 2012; Kohn et al., 1993; McNeill y Newton, 1965; Rhode y Arriaza, 2006) o mediante morfometría geométrica (Frieß y Baylac, 2003; Khonsari et al., 2013; Manríquez et al., 2006; Püschel, 2013; Salinas, 2008; Toro, 2010). En estos estudios se observa el efecto que tiene la deformación del cráneo en la variabilidad de estructuras craneales, enfatizando las

precauciones que se deben tener al incluir cráneos deformados en modelos de análisis de distancias biológicas (Manríquez et al., 2006; Püschel, 2013; Rhode y Arriaza, 2006). En ninguno de los estudios mencionados se plantea el posible efecto de la deformación intencional del cráneo en la expresión del dimorfismo sexual de la estructuras utilizadas para estimar, visualmente, el sexo. Más aún, estudios que bordan el estudio de la deformación intencional del cráneo desde una perspectiva bioarqueológica no consideran o plantean la posibilidad de que pueda tener un efecto en la variabilidad de estas estructuras y con ellos incidir en los resultados finales de sus análisis respecto a identidad o interacciones sociales (Püschel, 2013; Torres-Rouff, 2002 y 2006; Torres-Rouff y Yablonsky, 2005). En esta investigación hemos considerado el efecto que tienen dos tipos de deformación intencional, oblicua y erecta, ampliamente descritos en la literatura (Dembo e Imbelloni, 1938) y que se consideran por resumir la mayor parte de la variación morfológica observada en este tipo de cráneos (Manríquez et al., 2006; Toro, 2010). **Nuestros resultados nos permiten sugerir que, aunque la magnitud de la deformación oblicua y erecta influyen en la variabilidad de tamaño y forma de la glabella y el proceso mastoides, respectivamente, esta influencia no altera el plan de dimorfismo sexual establecido en el desarrollo morfológico del cráneo. Esto nos permitiría indicar que el tamaño y la forma de rasgos como la glabella, el proceso mastoides y el hueso cigomático permitirían poder estimar el sexo mediante métodos visuales o métricos - aplicando morfometría geométrica en el último caso-; rasgos que por lo demás están debidamente descritos en protocolos estandarizados que se utilizan en el campo de la bioantropología y la antropología forense (Ascadi y Nemeskeri, 1970; Ferembach *et al.*, 1980; Buikstra y Ubelaker, 1994; Walrath *et al.*, 2004; Walker, 2005 y 2008). Los resultados parciales de esta investigación nos permiten sugerir que si bien la deformación intencional del cráneo opera modificando los vectores de crecimiento normal de la bóveda del cráneo (Manríquez et al., 2006), y con ello incrementando la modularidad, integración y canalización del crecimiento y desarrollo de estructuras de basicráneo y esplanocráneo (Püschel, 2013) durante la ontología postnatal inicial de un individuo, este "terremoto morfológico" no estaría influyendo significativamente en procesos morfológicos de la ontología posterior asociados a la pubertad y al desarrollo de los principales caracteres sexuales secundarios a nivel de la morfología craneal y que son propios del establecimiento**

del dimorfismo sexual en humanos (Rosas y Bastir, 2002; Schaefer et al., 2004). Al respecto, nuevas preguntas sobre la relación entre la deformación intencional del cráneo y la variación morfológica de éste podrían plantearse: ¿puede la deformación intencional del cráneo modificar, morfológicamente, al conjunto de proporciones e hitos faciales del cráneo que definen la forma del rostro? ¿Es capaz la deformación intencional del cráneo de imponerse, morfológicamente, sobre los efectos de mecanismos genéticos heredados que definen y controlan el crecimiento y desarrollo de un rostro y sus proporciones faciales?.

## VII. CONCLUSIONES.

Los resultados generados en esta investigación han permitido proponer sugerencias y precauciones necesarias a futuras investigaciones en las que se deba estimar el sexo en cráneos deformados intencionalmente con formas oblicuas o erguidas. Aun cuando se observa una relación entre el tipo de deformación y el tamaño y forma de la glabella y el proceso mastoides, estas estructuras conservan el plan de dimorfismo sexual establecido para el cráneo humano.

El hueso cigomático fue la única estructura del cráneo cuya variabilidad se debió al dimorfismo sexual y no a la forma e intensidad de la deformación craneal. La deformación de tipo oblicua y su magnitud si influyó en la variabilidad de tamaño y forma del proceso cigomático del temporal, feminizando este rasgo en la muestra y con ello distorsionando el plan de dimorfismo sexual esperado en esta estructura; en cráneos con deformación erguida este fenómeno se observo como una tendencia de carácter parcial.

Por lo tanto, la glabella, el proceso mastoides y el proceso cigomático del temporal permiten estimar el sexo en cráneos con deformación oblicua o erguida, logrando grandes niveles de acierto si es que se aplican análisis métricos como los de morfometría geométrica; método de análisis que demostró ser una herramienta de gran utilidad no sólo por sus prestaciones de análisis cuantitativo, sino que también por la posibilidad de desarrollar análisis métricos a partir de estructuras que carecían de un protocolo de relevamientos de medidas métricas establecido formalmente. El mapa de homologías definido para cada estructura permitiría aplicar este tipo de análisis en muestras de otras poblaciones para efectos comparativos.

Finalmente, es de esperar que con una muestra más grande de cráneos deformados, y que alcance un mayor poder estadístico, estas sugerencias puedan contar con un sustento más empírico y estructurado que permita mejorar los métodos implementados para la estimación del sexo en investigaciones bioarqueológicas; dado que en muchas instituciones con colecciones esqueléticas, nacionales e internacionales, existe una alta frecuencia de esqueletos que están solamente representados por el cráneo, siendo esta estructura el único referente para controlar variables tan básicas como el sexo.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA.

Abarca V. 2011. Efectos de la nutrición sobre el Dimorfismo Sexual expresado en la Estatura (SSD) de una muestra de población Chilena Subactual. Memoria para optar al Título Profesional de Antropóloga Física; Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile.

Adams; DC; Rohlf. FJ; y Slice, DE. 2004. "Geometric Morphometrics: Ten Years of Progress Following the "Revolution". Italian Journal of Zoology, 71: 5-16.

Anton SC. 1989. Intentional cranial vault deformation and induced changes of the cranial base and face. American Journal of Physical Anthropology 79(2):253-267.

Ascadi, G., y Nemeskeri, J. 1970. "History of human lifespan and mortality", Akademiai Kiado. Budapest.

Arqvist G, y Martensson T. 1998. Measurement error in geometric morphometrics: Empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape. Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae, 44(1-2): 73-96.

Baab KL, y McNulty KP. 2009. Size, shape, and asymmetry in fossil hominins: the status of the LB1 cranium based on 3D morphometric analyses. Journal of Human Evolution 57(5):608-622.

Bastir M, O'Higgins P, and Rosas A. 2007. Facial ontogeny in Neanderthals and modern humans. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 274(1614):1125-1132.

Bernal, v.; Perez, I., y Gonzalez, P. 2006. "Variation and Causal Factors of Craniofacial Robusticity in Patagonian Hunter-Gatherers from the Late Holocene". American Journal of Human Biology, 18:748-765

Bigoni L, Velemínská J, y Brůžek J. 2010. Three-dimensional geometric morphometric analysis of cranio-facial sexual dimorphism in a Central European sample of known sex. HOMO - Journal of Comparative Human Biology 61(1):16-32.

Bookstein, F. 1991. Morphometric tools for landmark data: geometry and biology. Cambridge Univ. Press: New York.

Brothwell, D. 1987. Desenterrando Huesos. La Excavación, Tratamiento y Estudio De Restos Del Esqueleto Humano. Fondo de Cultura Económica.

Bruzek, J. 2002. "A Method for Visual Determination of Sex, Using the Human Hip Bone". Am J Phys Anthropol, 117(2):157-68.

Bulygina, E.; Mitteroecker, P., y Aiello, L. 2006. "Ontogeny of Facial Dimorphism and Patterns of Individual Development Within One Human Population". American Journal of Physical Anthropology, 131:432-443.

Buikstra JE, y Ubelaker. 1994. Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains: Proceedings of a Seminar at The Field Museum of Natural History. Arkansas Archeological Survey.

Cheverud JM, Kohn LAP, Konigsberg LW, and Leigh SR. 1992. Effects of fronto-occipital artificial cranial vault modification on the cranial base and face. *American Journal of Physical Anthropology* 88(3):323-345.

Cheverud JM, y Midkiff JE. 1992. Effects of fronto-occipital cranial reshaping on mandibular form. *American Journal of Physical Anthropology* 87(2):167-171.

Corner BD, Lele SL, y Richtsmeier JT. 1992. Measuring precision of three-dimensional landmark data. *Journal of Quantitative Anthropology*. 3 (4): 347-359.

Debono L, y Mafart B. 2006. "Sex determination from fragmented hip bones using the Bruzek method: Experience in a historic necropolis in provence (france)". *Anthropologie*. XLIV(2):167-172.

Dembo A, e Imbelloni J. 1938. *Deformaciones Intencionales del Cuerpo Humano de Carácter Étnico*. Humanior (Buenos Aires), Sección A, Tomo 3:1-348.

Díaz, P. 2010. *Valor Predictivo de los Rasgos Anatómicos del Cráneo Utilizados en la Estimación Visual del Sexo en Población Chilena: un Análisis de Morfometría Geométrica*. Tesis de Grado para optar al Título profesional de Antropólogo Físico. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile.

----- 2012. *Análisis de la Expresión de Rasgos Dimórficos del Hueso Coxal para la Validación y Aplicación de dos Métodos de Estimación del Sexo en Colecciones Bioantropológicas de Sexo Desconocido*. Manuscrito unidad de investigación para el laboratorio de morfometría geométrica morfología. Escuela de Postgrado de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

Dingwall EJ. 1931. *Artificial Cranial Deformation: A Contribution to the Study of Ethnic Mutilations*. John Bale, Sons and Danielsson, Ltd. London.

Dryden, I.L., y Mardia, KV. 1998. "Statistical Shape Analysis", Jon Wiley and Sons. New York.

El-Najjar MY, y Dawson GL. 1977. The effect of artificial cranial deformation on the incidence of wormian bones in the lambdoidal suture. *American Journal of Physical Anthropology* 46(1):155-160.

Faul F, Erdfelder E, Lang A-G, y Buchner A. 2007. G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods* 39(2):175-191.

Fehren-Schmitz L, Reindel M, Cagigao ET, Hummel S, y Herrmann B. 2010. Pre-Columbian population dynamics in coastal southern Peru: A diachronic investigation of mtDNA patterns in the Palpa region by ancient DNA analysis. *American Journal of Physical Anthropology* 141(2):208-221.

Fehren-Schmitz L. 2010. Dinámica poblacional y desarrollo cultural prehispánicos en la costa sur del Perú: lo que revelan los análisis de ADN antiguo. *Boletín de Arqueología PUCP* 14: 329-353.

Ferembach, D.; Schwidetzky, I.; y Stloukal, M. 1980. "Recommendations for age and sex diagnoses of skeletons". *Journal of Human Evolution*, 9:517-549.

- FitzSimmons E, y Prost JH, Peniston S. 1998. Infant head molding: a cultural practice. *Arch Fam Med* 7:88–90.
- Franklin D, Freedman L, Milne N, y Oxnard CE. 2006. A geometric morphometric study of sexual dimorphism in the crania of indigenous southern Africans : research article. p p.229-238
- Frieß M, and Baylac M. 2003. Exploring artificial cranial deformation using elliptic Fourier analysis of procrustes aligned outlines. *American Journal of Physical Anthropology* 122(1):11-22.
- Garvin HM, y Ruff CB. 2012. Sexual dimorphism in skeletal browridge and chin morphologies determined using a new quantitative method. *American Journal of Physical Anthropology* 147(4):661-670.
- Gonzalez PN, Bernal V, y Perez SI. 2011. Analysis of sexual dimorphism of craniofacial traits using geometric morphometric techniques. *International Journal of Osteoarchaeology* 21(1):82-91.
- Gonzales C, y Westfall C. 2006. Cementerio Regimiento Chorrillos de Calama: testimonios funerarios formativos en el Loa medio, Región de Antofagasta. *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena*, tomo I. Universidad Austral de Chile. pp 95-105.
- Gottlieb K. 1978. Artificial cranial deformation and the increased complexity of the lambdoid suture. *American Journal of Physical Anthropology* 48(2):213-214.
- Green H, y Curnoe D. 2009. Sexual dimorphism in Southeast Asian crania: A geometric morphometric approach. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology* 60(6):517-534.
- Hoshower LM, Buikstra JE, Goldstein PS, y Webster AD. 1995. Artificial cranial deformation at the Omo M10 site: A Tiwanaku complex from the Moquegua Valley, Peru. *Latin American Antiquity* 6(2): 145-164.
- Hoyme LE, e Iscan MY. 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.
- Hutchison BL, Stewart AW, y Mitchell EA. 2009. Characteristics, head shape measurements and developmental delay in 287 consecutive infants attending a plagiocephaly clinic. *Acta Pædiatrica* 98(9):1494-1499.
- Jimenez P, Martinez-Insua A, Franco-Vazquez J, Otero-Cepeda XL, y Santana U. 2012. Maxillary changes and occlusal traits in crania with artificial fronto-occipital deformation. *American Journal of Physical Anthropology* 147(1):40-51.
- Kaulicke P. 1997. Contextos funerarios de Ancón: esbozo de una síntesis analítica. Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial.
- Kendall, D. 1984. Shape Manifolds, Procrustean Metrics and Complex Projective Spaces. *Bulletin of London Mathematical Society*, 16:81-121.
- Khonsari RH, Friess M, Nysjö J, Odri G, Malmberg F, Nyström I, Messo E, Hirsch JM, Cabanis EAM, Kunzelmann KH et al. . 2013. Shape and volume of craniofacial cavities in intentional skull deformations. *American Journal of Physical Anthropology* 151(1):110-119.

- Kimmerle E, Ross A, y Slice D. 2008. "Sexual dimorphism in America: Geometric Morphometric analysis of the craniofacial region". *Journal of Forensic Science* 53:54-57
- Klingenberg CP. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources* 11(2):353-357.
- Klingenberg C, y McIntyre G. 1998. Geometric morphometrics of developmental instability: analyzing patterns of fluctuating asymmetry with procrustes methods. *Evolution* 52 (5): 1363-75.
- Kohn LAP, Leigh SR, Jacobs SC, y Cheverud JM. 1993. Effects of annular cranial vault modification on the cranial base and face. *American Journal of Physical Anthropology* 90(2):147-168.
- Konigsberg, L. y Hens, S. 1998. "Use of ordinal categorical variables in skeletal assessment of sex from the cranium". *American Journal of Physical Anthropology*, 107:97-112. 1998
- Kreiborg S, y Björk A. 1981. Craniofacial asymmetry of a dry skull with plagiocephaly. *The European Journal of Orthodontics* 3(3):195-203.
- Larsen, C. 1999. *Bioarchaeology: Interpreting Behavior from the Human Skeleton*. Cambridge University Press.
- Lieberman D. 2011. *The Evolution of the Human Head*. Harvard University Press.
- Listi GA, y Bassett HE. 2006. "Test of an alternative method for determining sex from the os coxae: applications for modern Americans". *J Forensic Sci.* 51(2):248-52.
- Manríquez, G., González-Bergás, F., Salinas, J., y Espouey, O. 2006. Deformación intencional del cráneo en poblaciones arqueológicas de Arica, Chile: análisis preliminar de Morfometría Geométrica con uso de radiografías craneofaciales. *Chungará (Arica)* 38:13-34.
- Martínez F, Díaz P, y Manríquez G. 2009. Deformación intencional del cráneo e identidad social en poblaciones arqueológicas del norte de Chile. Libro de resúmenes XVIII Congreso Nacional de Arqueología Chilena. Sociedad Chilena de Arqueología. pp 53-54.
- McNeill WR, y Newton GN. 1965. Cranial base morphology in association with intentional cranial vault deformation. *American Journal of Physical Anthropology* 23(3):241-253.
- Mitteroecker, P.; Gunz, P; Bernhard, M; Schaefer, K; y Bookstein, FL. 2004. "Comparison of cranial ontogenetic trajectories Among great apes and humans". *Journal of Human Evolution*, 46:679-698.
- Mitteroecker, P.; Gunz, P., y Bookstein, FL. 2005. "Heterochrony and geometric morphometrics: a comparison of cranial growth in *Pan paniscus* versus *Pan troglodytes*". *Evolution & Development*, 7(3):244-258.
- Mitteroecker P, y Gunz P. 2009. *Advances in Geometric Morphometrics*. *Evolutionary Biology*, 36:235-247.
- Munizaga J. 1987. Deformación craneana intencional en América. *Revista Chilena de Antropología* 6:113-147.

Neumann G.K. 1942. Types of Artificial Cranial Deformation in the Eastern United States. *American Antiquity* 3:306-310.

Núñez L. 1976. Registro regional de fechas radiocarbónicas del norte de Chile. *Estudios Atacameños* 4: 69-111.

Obladen, M. 2012. In God's Image? The Tradition of Infant Head Shaping. *Journal of Child Neurology* 27(5): 672-680.

O'Higgins P, y Jones N. 1998. Facial growth in *Cercocebus torquatus*: an application of three-dimensional geometric morphometric techniques to the study of morphological variation. *Journal of Anatomy* 193(2):251-272.

O'Loughlin, V. 1996. Comparative endocranial vascular changes due to craniosynostosis and artificial cranial deformation. *American Journal of Physical Anthropology* 101(3):369-385.

----- 2004. Effects of different kinds of cranial deformation on the incidence of wormian bones. *American Journal of Physical Anthropology* 123(2):146-155.

Pacheco A. 2011. BIOARQUEOLOGÍA DE LA ESTRATIFICACIÓN SOCIAL EN UNA COMUNIDAD PRECOLOMBINA DEL NORTE DE CHILE. Colección de restos humanos "PICA-8", Complejo Pica-Tarapacá, Intermedio Tardío. Tesis para optar al grado de Magíster en Antropología Forense y Bioarqueología; Escuela de Graduados, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Phenice, T. 1969. "A Newly Developed Visual Method of Sexing the Os Pubis". *Am J of Phys Anthropol*, 30(2):297-301.

Pretorius, E., Steyn, M, y Scholtz, Y. 2006. "Investigation Into the Usability of Geometric Morphometric Analysis in Assessment of Sexual Dimorphism". *American Journal of Physical Anthropology*, 129:64-70.

Proulx D. 2008. Paracas and Nasca: Regional Cultures on the South Coast of Peru. En "The Handbook of South American Archaeology", Silverman H, e Isbell W, eds. Springer New York. p 563-585.

Pucciarelli HM. 1978. The influence of experimental deformation on craniofacial development in rats. *American Journal of Physical Anthropology* 48(4):455-461.

Püschel, T. 2013. Deformación Intencional del Cráneo en los Oasis de San Pedro de Atacama: un Enfoque Morfométrico Geométrico. Tesis para optar al título profesional de Antropólogo Físico. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile.

Rekate HL. 1998. Occipital plagiocephaly: a critical review of the literature. *Journal of Neurosurgery* 89(1):24-30.

Retamal, R y Manríquez G. 2006. Efectos de la deformación craneana intencional sobre la expresión del dimorfismo sexual en cráneos adultos: un análisis morfométrico geométrico. *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena*, tomo II. Universidad Austral de Chile. pp 801-811.

Rhode MP, y Arriaza BT. 2006. Influence of cranial deformation on facial morphology among prehistoric South Central Andean populations. *American Journal of Physical Anthropology* 130(4):462-470.

Rocco P, Morales C, Moraga M, Miquel J, Nervi F, Llop E, Carvallo P, y Rothhammer F. 2002. Composición genética de la población chilena: Distribución de polimorfismos de DNA mitocondrial en grupos originarios y en la población mixta de Santiago. *Revista médica de Chile* 130:125-131.

Rodríguez, JV. 1994. "Introducción a la Antropología Forense, análisis e identificación de restos óseos humanos". Departamento de Antropología, Universidad Nacional de Colombia. Santa Fé de Bogotá.

Rohlf JF. 2004. Thin-plate spline v1.20. *Ecology & Evolution*, SUNY at Stony Brook.

----- 2009. tpsDIG v2.14. *Ecology & Evolution*, SUNY at Stony Brook.

Rohlf JF, y Marcus LF. 1993. A revolution morphometrics. *Trends in Ecology & Evolution* 8(4):129-132.

Rosas A, and Bastir M. 2002. Thin-plate spline analysis of allometry and sexual dimorphism in the human craniofacial complex. *American Journal of Physical Anthropology* 117(3):236-245.

Roseblatt, M. 2013. Criterios de Clasificación de la Deformación Intencional del Cráneo en Poblaciones del Área Centro-Sur Andina: un Análisis Crítico de Casos con uso de Morfometría Geométrica. Tesis para optar a grado de Magister en Ciencias Biológicas con mención en Morfología. Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

Rouvière H, y Delmas A. 2005. Anatomía humana: descriptiva, topográfica y funcional. Editorial Masson, España.

Saavedra de Paiva, LA, y Segre, M. 2003. "Sexing the human skull through the mastoid process". *Revista do Hospital das Clínicas*, 58:15-20.

Salinas JC. 2008. EFECTO DE LA DEFORMACIÓN INTENCIONAL DEL CRÁNEO SOBRE LA ARQUITECTURA ÓSEA CRÁNEO-FACIAL EN POBLACIONES PREHISPÁNICAS DEL NORTE ÁRIDO DE CHILE. ANÁLISIS DE MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA EN TELERRADIOGRAFÍA LATERAL. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias Odontológicas con mención en Fisiología y Patología del Crecimiento y Desarrollo Máxilo-Facial. Universidad de Chile

Sanchez-Lara PA, Graham JM, Hing AV, Lee J, y Cunningham M. 2007. The morphogenesis of wormian bones: A study of craniosynostosis and purposeful cranial deformation. *American Journal of Medical Genetics Part A* 143A(24):3243-3251.

Schaefer K, Mitteroecker P, Gunz P, Bernhard M, , y Bookstein FL. 2004. "Craniofacial sexual dimorphism patterns and allometry among extant hominids". *Annals of Anatomy*, 136:471-478

Slice, D. 2007a. Geometric Morphometrics. *Annual Review of Anthropology* 36:261-281.

- Small, C. 1996. *The Statistical Theory of Shape*; Springer-Verlag. New York.
- StatSoft, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Teichgraber JF, Ault JK, Baumgartner J, Waller A, Messersmith M, Gateño J, Bravenec B, and Xia J. 2002. Deformational Posterior Plagiocephaly: Diagnosis and Treatment. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal* 39(6):582-586.
- Toro V. 2010. EFECTO DE LA DEFORMACIÓN ARTIFICIAL DEL CRÁNEO EN EL EJE DE SIMETRÍA BILATERAL : UN ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO MEDIANTE ESTIMACIÓN DE ASIMETRÍA FLUCTUANTE. Tesis para optar a grado de Magister en Ciencias Biológicas con mención en Morfología. Facultad de Medicina, Universidad de Chile.
- Torres-Rouff C. 2002. Cranial Vault Modification and Ethnicity in Middle Horizon San Pedro de Atacama, Chile. *Current Anthropology* 43 (1): 163-171.
- Torres-Rouff C. 2006. La deformación craneana en San Pedro de Atacama. *Estudios Atacameños* 33: 25-38.
- Torres-Rouff C, y Yablonsky LT. 2005. Cranial vault modification as a cultural artifact: a comparison of the Eurasian steppes and the Andes. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology* 56 (1):1-16.
- Trinkaus E. 1982. Artificial cranial deformation in the Shanidar 1 and 5 Neander-tals. *Current Anthropology* 23:198-199.
- Ubelaker, D. 1978. *Human Skeletal Remains: Excavation, Analysis, Interpretation*. Aldine. Chicago.
- Ubelaker DH, y Volk CG. 2002. "A test of the Phenice method for the estimation of sex". *J Forensic Sci.* 47(1):19-24.
- Unkel I, Kromer B, Reindel M, Wacker L, y Wagner G. 2007. A Chronology of the Pre-Columbian Paracas and Nasca Cultures in South Peru Based on AMS 14C Dating. *Radiocarbon* 49(2): 551-564.
- Uribe M. 2006. Acerca de complejidad, desigualdad social y el complejo cultural Pica-Tarapacá en los Andes Centro-Sur (1000-1450 DC). *Estudios Atacameños* 31: 91-114.
- Valenzuela C, Acuña P, y Harb Z. 1987. Gradiente sociogenético en la población chilena. *Revista Médica de Chile* 115:195-299.
- Van Arsdale AP, y Clark JL. 2012. Re-examining the relationship between cranial deformation and extra-sutural bone formation. *International Journal of Osteoarchaeology* 22(1):119-126.
- Viôarstodir US, O'Higgins P, y 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; Turner, P; y Bruzek J. 2004. Reliability test of the visual the visual assessment of cranial traits for sex determination. Am J Phys Anthropol.125(2):132-7.

Weiss, P. 1961. Osteología cultural: prácticas cefálicas. 2da parte. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Wilczak CA, y Ousley SD. 2009. Test of the relationship between sutural ossicles and cultural cranial deformation: Results from Hawikuh, New Mexico. American Journal of Physical Anthropology 139(4):483-493.

Wiley, D. F.; Amenta, N; Alcantara, d.; Ghosh, D.; Kil, Y.; Delson, E.; Harcourt-Smith, W.; Rohlf, F.; St. John, K.; y Hamann, B. 2005. "Evolutionary morphing". Proceedings of the IEEE Visualization 2005 (VIS'05):431-438.

Yépez R. 2009. El simbolismo de la modificación cultural de la cabeza en la cultura andina de Paracas del antiguo Perú. Estudios de Antropología Biológica XIV(2): 523-545.

Zelditch M, Swiderski D, Sheets D, Fink W. 2004. Geometric Morphometrics for biologists: A primer. Elsevier Academic Press.

## **IX. ANEXOS.**

### **1) Contextualización de la muestra utilizada.**

A continuación se ofrece una breve reseña contextual de las colecciones arqueológicas de las que se relevaron los datos.

**1.- Colección "Necrópolis de Ancón":** Este cementerio se ubica en la costa, 42 km al norte de la ciudad de Lima, en la bahía de Ancón. Forma parte de un conjunto de sitios arqueológicos consistentes en basurales, construcciones y talleres líticos dispersos en esta bahía (Kaulicke, 1997). La cronología de este cementerio abarca desde el Horizonte Temprano (1000 a.C.) hasta el Horizonte Tardío (1534 d.C.), rango de tiempo en el cual se pueden identificar la sucesión de distintas influencias culturales correspondientes a Chavín (Horizonte Temprano), Huara-Chimú (Horizonte Medio) y Chancay (Periodo Intermedio Tardío), influencias vinculadas a contextos sociales de intercambio a gran escala a lo largo de la costa y que eran articulados en esta bahía (Kaulicke, 1997). De este sitio sólo se tienen cronologías relativas definidas por los estilos cerámicos que se han registrado en los contextos funerarios. En estos contextos abundan los entierros en cámaras mortuorias de distintas formas y con los cuerpos envueltos en fardos. Esta colección se ha estudiado para determinar el impacto que tiene la deformación intencional en la morfología del cráneo, estudios que en su mayoría utilizan colecciones que se alojan en museos y universidades extranjeras (Anton, 1989; Cheverud et al., 1992; Cheverud y Midkiff, 1992). Se registraron individuos no deformados y deformados, los deformados se caracterizan por tener las modificaciones en el frontal y occipital que generan deformaciones oblicuas o de tipo bilobado.

**2.- Colección "Paracas" y "Nazca":** Estas colecciones fueron obtenidas de sitios arqueológicos de las costas y valles de la región de Ica, Perú. La colección Paracas se obtuvo de los sitios Cerro Colorado, Arena Blanca y Warikayan, todos ubicados en la península de Paracas, en la costa; la colección Nazca se obtuvo del sitio Las Trancas Sur

ubicado en el valle Las Trancas (Prolux, 2008). Arqueológicamente, estas manifestaciones culturales constituyen una continuidad cultural en el área (Fehren-Schmitz, 2010; Fehren-Schmitz et al., 2010; Prolux, 2008) que es iniciada por la cultura Paracas entre los años 800 a 200 a.C. y que luego es continuada por la cultura Nazca desde los 200 a.C. (circa) a los 650 d.C. (Unkel et al., 2007); lamentablemente, los sitios referidos no disponen de dataciones absolutas. Esta continuidad cultural se ha manifestado en aspectos religiosos, políticos y en la cultura material (Prolux, 2008). En cuanto a las poblaciones también se ha reconocido esta continuidad cultural como una continuidad biológica según estudios de mtDNA antiguo (Fehren-Schmitz, 2010; Fehren-Schmitz et al., 2010). Los contextos funerarios, en ambos casos, se caracterizan por entierros en cámaras mortuorias con los cuerpos envueltos en fardos textiles y con distintos tipos de ofrendas en estos (Prolux, 2008). Siendo las deformaciones craneales practicadas por estas culturas tan llamativas, particularmente la cultura Paracas, llama la atención que no existan estudios sistemáticos sobre la deformación craneal aplicados en estas poblaciones. Los pocos estudios en que se describe la deformación de estas poblaciones aluden a estudios asociados a la identidad y jerarquización de estas poblaciones (Yépez, 2009; Weiss, 1960). En la cultura Paracas las deformaciones se caracterizan por ser de tipo circular con variantes oblicuas o erectas y obtenidas por la aplicación de vendajes o almohadillas semirrígidas según observaciones realizadas en momias infantiles (Munizaga, 1987; Yépez, 2009; Weiss, 1960). En la cultura Nazca se puede observar un patrón de deformación similar.

**3.- Colección Pica 8:** Esta colección fue obtenida del cementerio homónimo ubicado en el Oasis de Pica, al interior de la región de Tarapacá, Chile, a unos 80 km de la costa. Se adscribe al Periodo Intermedio Tardío (1000 al 1400 d.C.). Los contextos mortuorios se caracterizan por entierros individuales en fosas con el cuerpo amarrado (Pacheco, 2011). Esta población correspondería a una comunidad de carácter local y jerarquizada que mantenía relaciones de intercambio con distintos grupos foráneos (Uribe, 2006). Las deformaciones craneales se caracteriza por ser de tipo tabular o anular (Pacheco 2011), para la muestra seleccionada de esta colección predominan las formas oblicuas del cráneo. Los estudios de la deformación craneal de esta muestra se han limitado al estudio del impacto de la deformación craneal en el dimorfismo sexual del cráneo y esqueleto facial

(Retamal y Manríquez, 2006), o a establecer su vínculo relaciones jerárquicas la interior de estas comunidades (Pacheco, 2011).

**4.- Colección Chorrillos:** Corresponde a un cementerio del Periodo Formativo (850 a 190 a.C.) ubicado en el margen este de la ciudad de Calama. Culturalmente se adscribe a una comunidad agropastoril que practicó el intercambio de bienes con grupos costeros y del altiplano boliviano, y que practicaba deformaciones craneales de tipo circular oblicuo (González y Westfall, 2006). El estudio de la deformación craneal de esta población a permitido sugerir su práctica como una marca de identidad en el contexto de las distintas comunidades formativas que se desarrollaron en la cuenca media y alta del río Loa (Martínez et al., 2009), deformación que distingue a los contextos funerarios de Chorrillos respecto a los de San Pedro de Atacama.

**5.- Colección Cementerio General:** Corresponde a individuos exhumados del cementerio homónimo y que falleció entre los años 1960 a 1986 (Abarca, 2010). Las exhumaciones fueron realizadas en patios y nicho periféricos del cementerio, sectores creados para satisfacer la explosión demográfica vivida en la ciudad de Santiago durante la década de 1950, época en la que la ciudad recibió un significativo aporte de inmigrantes de área rurales. Con estos antecedentes, estas tumbas habrían recibido a individuos de poblaciones periféricas del norte de Santiago y pertenecientes a grupos socioeconómicos bajos (Abarca, 2010), población de carácter mestizo y con un importante componente de poblaciones aborígenes del área centro y sur del país (Rocco et al., 2002; Valenzuela et al., 1987).

**6.- Otras colecciones:** Las muestra actual se completa con aportes discretos de colecciones del centro del Perú: Cerro Culebras y Rinconada Ata, adscritas a los periodos Intermedio Temprano (200 a.C. al 550 d.C.) y Tardío (1440 d.C.) respectivamente (Lizbeth Tepo, comunicación personal). También se incluyen 3 casos de la costa norte de Chile obtenidos de los sitios Caleta Huelen 10 (370 a.C. a 250 d.C.; Núñez, 1976) y Cñaño 3 (760 d.C.; Núñez, 1976).