



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**1. FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

Área de Oclusión, Departamento de Prótesis

**2. FACULTAD DE MEDICINA**

Instituto de Ciencias Biomédicas, Programa de Genética Humana

**3. FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES**

Departamento de Antropología

# Consecuencias de la deformación craneana intencional en la forma de la base de cráneo, en vista basal: un análisis en poblaciones arqueológicas de Chile.

**Nombre del Alumno**

Andrés Burstein Andaur

Trabajo de investigación  
Requisito para optar al título de  
Cirujano dentista

**TUTOR PRINCIPAL**

Prof. Dr. Juan Carlos Salinas Castro

Área de Oclusión, Departamento de Prótesis

Universidad de Chile

**TUTOR ASOCIADO**

Prof. Dr. Germán Manríquez Soto

ICBM, Programa de Genética Humana

Universidad de Chile

**Santiago - Chile**

**2008**

*Financiado parcialmente por proyecto FONDECYT 1050279 (Inv. Resp. G.M., Co. Inv. J.C.S.)*

## **Agradecimientos**

Quisiera agradecer a todo el laboratorio de morfometría geométrica, en especial a Germán Manríquez y Juan Carlos Salinas por la guía, amistad y apoyo entregado lo largo del desarrollo de esta tesis. Por la visión y oportunidad de compartir a través de una amplia mirada la labor científica, universitaria y de la vida cotidiana, acercando de esta manera el conocimiento y haciéndolo una manera apasionada de vivir.

También quisiera agradecer el apoyo entregado por las personas con que me he formado, ya que han sido un la fuente de mi aprendizaje sobre la vida, “Los cabros”.

A Francisca Díaz por sus sabios consejos científicos y por el cariño entregado a lo largo de este periodo.

Para terminar quisiera agradecer a mi familia por el apoyo incondicional desde que fui concebido. Tanto a mis padres como abuelos y tíos, que han sido el respaldo de todo mí actuar.

# Índice

Introducción.....	3
Antecedentes del problema.....	5
• Relación entre base de cráneo y Sistema Estomatognático.....	5
• Deformación Intencional del Cráneo y su relevancia en el estudio del crecimiento y desarrollo cráneo-facial.....	9
• Contexto cultural en el que se desarrollaban las deformaciones intencionales.....	12
• Morfometría geométrica en el estudio de la forma.....	14
Hipótesis.....	17
Hipótesis Biológica ( $H\beta$ ).....	17
Hipótesis Estadística ( $H\Sigma$ )*.....	18
Objetivos.....	19
Objetivo General:.....	19
Objetivos Específicos:.....	19
Materiales y Métodos.....	20
Resultados	
1. Resultados obtenidos en relación al objetivo específico I: Comparar la variación de la forma en cráneos de individuos no deformados con respecto del grupo de individuos con deformación craneana intencional.....	28
2. Resultados obtenidos en relación al objetivo específico II, “Determinar la variación del ángulo petroso entre grupos de deformados y no deformados” .....	33

3.	Resultados obtenidos en relación al objetivo específico III: Determinar la variación de la forma en base de cráneo producto de la deformación intencional.....	35
4.	Resultados obtenidos en relación al objetivo específico IV: Comparar el patrón general de variación de la forma de base de cráneo con los cambios de estructuras localizadas.....	41
5.	Resultados obtenidos en relación al objetivo específico V: Determinar si la variación de la forma en la base de cráneo es explicable por el sexo o la edad.....	43
6.	Resultados obtenidos en relación al objetivo específico IV: Evaluar la correlación de los resultados obtenidos a través datos angulares con los datos obtenidos por hitos de coordenadas.....	48
	Discusión.....	51
	Conclusiones.....	61
	Resumen.....	63
	Bibliografía.....	65

## Introducción

El crecimiento y desarrollo cráneo-facial es un proceso integrado en el cual regiones de distintos orígenes embrionarios se relacionan morfogénica y funcionalmente, para conformar las estructuras de cara y cráneo. Se ha discutido la independencia relativa del crecimiento de la base de cráneo, la bóveda craneana y la cara, llegando a resultados controversiales. Por un lado, se ha propuesto el crecimiento integrado de las estructuras antes mencionadas (Enlow 1992). Por otro, más recientemente se ha sostenido que estas estructuras poseen un crecimiento independiente (Liebermann 2000). La discusión sobre el tema está abierta, y se sigue investigando para establecer como crece y se desarrolla la cabeza del individuo adulto.

En el caso de los individuos que son sometidos a deformación craneana intencional existe un estímulo ambiente-cultural poderoso que modifica, a través de fuerzas compresivas, estos patrones de crecimiento y desarrollo. Es por ello que cráneos que fueron modificados a través de esta práctica, son un objeto de estudio ideal para establecer el efecto de la cultura en la modificación de los patrones de crecimiento y desarrollo. Sobre la base de estos antecedentes, nos interesa conocer el efecto de esta práctica cultural en la forma de la base de cráneo, una de las

estructuras más conservadas de la anatomía craneana y de esta manera poder alcanzar un conocimiento más acabado de la ontogenia humana.

## **Aspectos teóricos**

### **Relación entre base de cráneo y Sistema Estomatognático.**

El crecimiento y desarrollo cráneo-facial es un proceso integrado en el cual regiones de distintos orígenes embrionarios se relacionan morfogénica y funcionalmente junto con el ambiente para dar origen a las estructuras que conforman cara y cráneo. Existen varios antecedentes sobre las interacciones producidas entre base de cráneo, bóveda craneana y cara. Es así como Enlow (1992) refiriéndose al crecimiento maxilofacial, comenta: “El crecimiento es un proceso diferencial de maduración progresiva. Partes distintas poseen programas diferentes en los cuales se manifiestan velocidades cambiantes de crecimiento en momentos desiguales, cantidades regionales diferentes y en direcciones distintas.”

Por otro lado, cuando lo compara con el desarrollo escribe: “El desarrollo es un proceso encaminado hacia un estado continuo de equilibrio funcional y estructural, compuesto y continuo. El crecimiento comprende cambios constantes en el tamaño, la forma y las relaciones entre todas las partes independientes y los componentes regionales de cada porción”. Es así como el desarrollo de la base de cráneo también se enmarca dentro de esos patrones aunque, teniendo diferencias

significativas con el resto de nuestro esqueleto (Lieberman 2000), a saber:

- i) el crecimiento de la base de cráneo se produce por osificación endocondral, a través de un cartílago precursor derivado del mesoderma y desarrollado *in utero*, que es gradualmente reemplazado por tejido óseo después de nacer;
- ii) la base de cráneo es la primera región de nuestro esqueleto en alcanzar el tamaño adulto y es la plataforma de crecimiento para la arquitectura cráneo facial. Este autor sostiene, además, que el crecimiento en ancho, largo y flexión de la base de cráneo resulta de procesos independientes, ya que ellos no parecen afectarse unos con los otros.

Si bien muchos de los resultados muestran independencia del crecimiento de las partes que conforman la cabeza, los mismos confirman la inmensa suma de interacciones que ocurre entre base de cráneo, neuro-cráneo y cara durante el crecimiento (Fig.1). Así se constata que el ancho del tercio superior del rostro está determinado por el ancho de la fosa craneal anterior y el ancho del tercio medio es determinado por el ancho de la fosa craneal media. Es decir, el crecimiento tiene un carácter independiente pero las diferentes partes se relacionan unas con otras para generar la forma total.

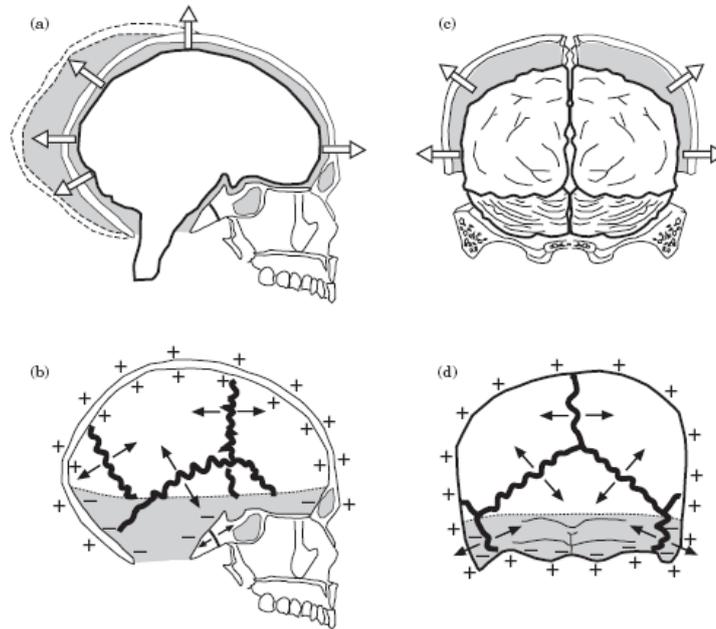


Figura 1: Modelo de crecimiento integrado en el complejo neurobase- cráneo  
(Enlow 1992)

Enlow (1992) también propone la existencia de una relación entre forma de base de cráneo y la prevalencia de maloclusiones. Klocke (2002) propone que esta relación es estable desde los 5 años de edad, ya que al comparar la flexión de base de cráneo y la forma de la mandíbula, se observa una correspondencia a los 5 y 12 años de edad, lo que confirma la estabilidad en el crecimiento de la base de cráneo.

Enlow también agrega que la angulación, las dimensiones y configuración de la base de cráneo condicionan la ubicación antero posterior del maxilar en relación con la mandíbula. En relación al nexo entre la práctica clínica y el desarrollo craneofacial, Singh (1997) compara

la base de cráneo entre sujetos clasificados como clase I y clase III esquelética, encontrando diferencias significativas de forma y tamaño en regiones localizadas de silla turca y base de cráneo posterior. Este autor concluye, además, que alteraciones en el complejo petro-occipital, acompañadas por cambios en las regiones esfenoidal y etmoidal inducen alteraciones que son asociadas con la aparición de maloclusiones clase III. Bastir (2004) señala que la orientación del hueso petroso altera la posición de la mandíbula e influencia el ancho de la rama mandibular. Además, relaciona formas de cara dolicofaciales con bases craneales laterales poco profundas y braquifaciales con pisos de base craneal profundos, concluyendo que existe una alta correlación entre base de cráneo lateral y biotipo facial (Bastir 2006).

## **Deformación Intencional del Cráneo y su relevancia en el estudio del crecimiento y desarrollo cráneo-facial**

La deformación intencional del cráneo es el proceso de modificación de patrones de crecimiento y desarrollo craneanos mediante el uso de aparatos deformadores en los primeros años de vida, (Manríquez 2006). Esto conduce, a su vez, a cambios permanentes de la forma del cráneo en los tres sentidos del espacio (Fig.2) (Antón 1989, Manriquez 2006, Özbek 2001).

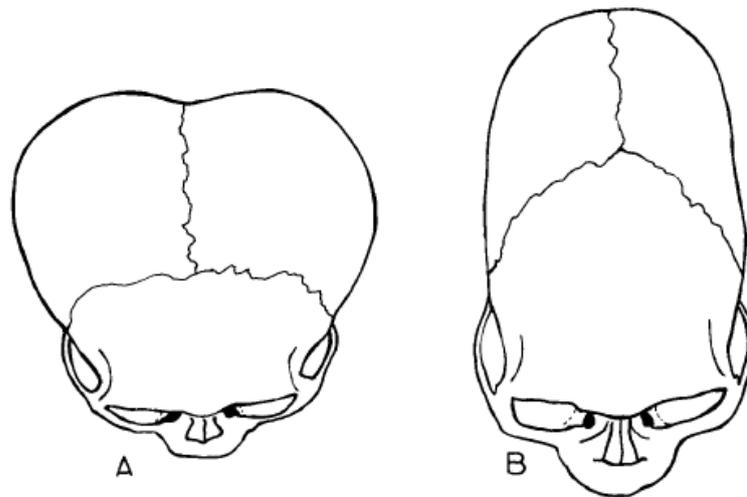


Figura 2: Vista superior de cráneos deformados, A.-Deformación ántero posterior, B.- Deformación Circunferencial. (Anton 1990)

Esta costumbre fue practicada en los 5 continentes, existiendo registros a través de restos antropológicos tanto óseos como culturales (pictóricos y escultóricos), en el antiguo Egipto, Europa, África Central,

India, Oceanía y, especialmente importante por el número de casos, en América andina en general, y Perú, en particular. En palabras de Weiss (1961), Perú es el “cuartel general” de las deformaciones intencionales del cráneo (Dembo, Imbelloni 1938, Weiss 1961). No está claro aún desde cuando se han realizado estas prácticas. Incluso, hay registro de la presencia de deformación intencional del cráneo en el período neolítico europeo (Weiss, 1961; Özbek, 2001). Interesantemente, en Europa, Hipócrates da la referencia bibliográfica más antigua sobre el tema, al mencionar a los “macrocéfalos”, mientras que en América este lugar lo ocupa Fray Bartolomé de las Casas (Weiss 1962).

Los métodos ocupados fueron múltiples pero, por lo general muy simples. Se ejercían fuerzas compresivas constantes a través de bandas, cintas y sogas que comprimían la cabeza o se ataban a una base externa (Dembo, Imbelloni 1938; Weiss 1961; Özbek 2001). Al parecer, estos métodos fueron los que determinaron la clasificación más usada hasta el presente para identificar los distintos tipos de deformación. Es así como Dembo e Imbelloni (1938) separaron los tipos de deformación en 2 grupos (tabulares y circulares) y cada grupo posee 2 variantes (erectos y oblicuos). (Fig.3)

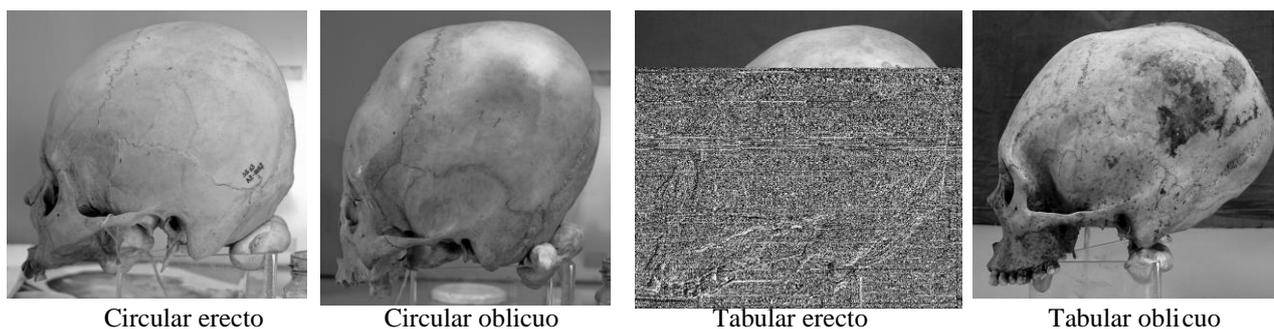


Figura 3: Muestra individuos que presentan los distintos tipos de deformación craneana intencional. Fotografía tomada por Dr. Germán Manríquez en el contexto del proyecto FONDECYT 1050279

El motivo de las deformaciones craneales no está del todo claro. Se ha especulado que fue por motivos estéticos, jerárquicos o de identificación cultural, pero aún no se resuelve este tema. (Dembo, Imbelloni 1938, Weiss 1961, Weiss 1962). Sus eventuales consecuencias también han sido motivo de contradicciones ya que Imbelloni (1938) ha dicho que la deformación del cráneo no trae consecuencias en la capacidad cognitiva, pero también se ha argumentado que esta fue realizada para generar poblaciones más pasivas, e incluso que la deformación exagerada del cráneo generaría “hombres idiotas” (Weiss 1962). En muestras precolombinas de Norteamérica y Sudamérica, se ha observado que como resultado de esta práctica ocurre un aumento en el número de huesos intercalares (Ossenberg 1970) y en la complejidad de las suturas del cráneo, estimada mediante el grado de interdigitación (Anton 1992). Además, se observa una mayor frecuencia en el cierre temprano de la sutura sagital (White 1966) y un incremento de la vascularización endocraneal en la zona afectada por la deformación

(O'Loughlin 1996). Dichos cambios se dan con más frecuencia en las regiones occipital y frontal del cráneo, que reciben la mayor impronta biomecánica de los aparatos deformadores. En el caso de los huesos intercalares, a pesar de que se ha sugerido la participación de un componente hereditario por encontrarse este rasgo presente en el estado fetal (El-Najjar y Dawson 1977), existe consenso en que su mayor frecuencia está asociada a la presión ejercida por la acción de aparatos deformadores aplicados intencionalmente sobre el cráneo (Anton 1992; Benett 1965).

### **Contexto cultural en el que se desarrollaban las deformaciones intencionales**

La costa del norte grande de Chile corresponde al extremo sur del desierto costero Peruano-chileno. Es una franja estrecha con sectores de acantilados y de playas arenosas de breve amplitud, existe vegetación de *lomas*. La zona está aislada, ya que hacia el este se encuentra el desierto absoluto y hacia el oeste el mar. Su extrema aridez se ve interrumpida por algunos valles muy fértiles que forman la costa árida de valles y quebradas en los cuales se establecieron los primeros habitantes del territorio. Estas condiciones ambientales favorecieron la mayor independencia de las culturas litorales favoreciendo el desarrollo propio

(Hidalgo 1993) y también al temprano sedentarismo de las culturas ubicadas en esta zona (Standen 2004). Los primeros habitantes fueron un grupo de cazadores recolectores que venían desde el norte por la costa, poseían economía marítima y tecnología simple (Standen 2004), luego fueron complejizándose en una lenta evolución cultural, en la cual los ritos mortuorios, la tecnología especializada en la pesca y las estrategias adaptativas marítimas, de valles y oasis primaron formando un complejo cultural llamado Chinchorro (Santoro 1985, Mostny 1999, Standen 2004).

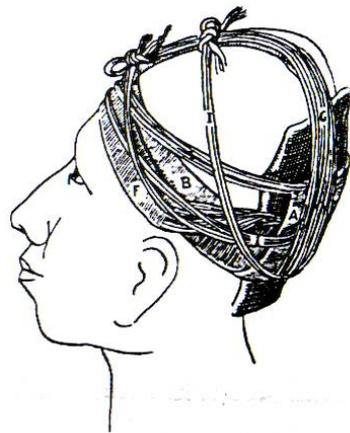


Figura. 4: Muestra la tecnología ocupada para realizar la deformación craneana. (Weiss 1962)

Es en este contexto, durante el periodo arcaico medio (7000 A.P), donde encontramos los primeros antecedentes de que los habitantes de esta zona practicaban la deformación craneana intencional (Aufderheide 1993). También se encontraron cráneos artificialmente deformados mediante la aplicación de vendas durante el periodo intermedio

temprano (3800 A.P.) (Mostny 1999). Se ha observado un incremento en las prácticas deformatorias en el transcurso del periodo agro-alfarero para concluir en una disminución y posterior eliminación de la práctica con la conquista española. Esta práctica de deformación intencional del cráneo es una de las múltiples deformaciones culturales que realizaban estos grupos, ya que también aparecen, aunque en baja frecuencia, aparatos que producen deformaciones faciales, aretes que alargaban las orejas hasta en 6 cm., entre otros (Mostny 1999).

## **Morfometría geométrica en el estudio de la forma**

La morfometría geométrica es una herramienta de análisis biométrico que une la biometría clásica y las técnicas de transformación de grillas cartesianas de D`Arcy Tomphson (1917) (Rohlf y Marcus 1993). Sus fundamentos teórico-conceptuales fueron establecidos inicialmente por Bookstein (1991). Esta técnica permitió eliminar problemas con el manejo de los datos primarios de la morfometría lineal, alguno de los cuales eran; la falta de una adecuada partición entre los componentes de la forma en relación a los componentes del tamaño, la ausencia de una definición para hitos anatómicos homólogos, la pérdida de poder estadístico debido a la sobreposición de mediciones que cubren los ejes anatómicos mayores, así como la incapacidad de reproducir visualmente

en dos o tres dimensiones el patrón de variación de la forma de los objetos biológicos (Bookstein1991, Manríquez 2006).

El estudio de los datos mediante morfometría geométrica se llevó a cabo utilizando la serie de programas TPS (*Thin-plate spline series*). La aplicación de la función de placa delgada (*Thin-plate spline function*) provee una medida altamente efectiva de visualización y una herramienta estadística para el análisis de las diferencias de tamaño y forma (Rosas 2002), en la cual se registran hitos de morfocoordenadas como datos primarios permitiendo la posterior obtención de los componentes de la forma.

Entre todos los especímenes analizados se obtiene una forma consenso (configuración de referencia) y un estimador geométrico de tamaño (centroid size), ortogonal a los componentes de la forma (*shape components*), mediante sobreposición de hitos homólogos.

Para reducir la distancia entre estos hitos los datos se transforman a través de la función de mínimos cuadrados, eliminando al mínimo las diferencias debidas a escala, rotación y traslación, generando así, además del consenso, una nueva matriz para cada individuo, esta vez con los datos "alineados" respecto del consenso. Esta nueva matriz se ve representada en la función de placa delgada, tanto como un cambio en la forma total de los individuos como en estructuras localizadas (cambio uniforme y no uniforme) de las estructuras biológicas estudiadas. Luego

se pone a prueba la hipótesis sobre la significación de las diferencias entre grupos respecto de los componentes de la forma y las variables independientes que eventualmente pudiesen explicar dichas diferencias (O'Higgins 2000, Manríquez 2006).

El estudio del tamaño y la forma a través de la morfometría geométrica hoy es ampliamente difundido y aplicado en las más diversas áreas, así podríamos destacar el uso en la reconstrucción de árboles filogenéticos (Singleton 2001, Bienvenu 2008, Lockwood 2002), estudiar los procesos ontogenéticos (Bastir 2006, Abdel-Rahmana 2008), clasificación de anomalías estructurales en odontología (Singh 1997, 2003, Chang 2005), entre otras muchas aplicaciones

Tomando como base los antecedentes comentados, en este trabajo se pretende estudiar el efecto de los distintos tipos de deformación intencional del cráneo, sobre la forma de las estructuras que conforman la base de cráneo.

## **Hipótesis:**

### Hipótesis Estadística ( $H\Sigma$ )\*

- $H\Sigma 0$ : No hay diferencias estadísticamente significativas en los componentes de la forma de la base de cráneo entre individuos sometidos a deformación intencional y no deformados.
- $H\Sigma 1$ : Hay diferencias estadísticamente significativas en los componentes de la forma de la base de cráneo entre individuos sometidos a deformación intencional y no deformados.
- El método de registro y análisis de datos de morfocoordenadas requiere de hipótesis estadística como requisito.

## Hipótesis Biológica ( $H\beta$ )

• $H\beta_0$ : Los distintos tipos de deformación intencional de la bóveda del cráneo no determinan cambios en la forma de la base de éste, distintos a los esperables por la diferencia de edad y sexo.

• $H\beta_1$ : Los distintos tipos de deformación intencional de la bóveda del cráneo determinan cambios en la forma de la base de éste, distintos a los esperables por la diferencia de edad y sexo.

## **Objetivos**

### **3. Objetivo General:**

Conocer el efecto de los distintos tipos de deformación craneana intencional en la forma de la base de cráneo, en vista basal, en cráneos arqueológicos.

### **4. Objetivos Específicos:**

1. Comparar la variación de la forma en cráneos de individuos no deformados con respecto del grupo de individuos con deformación craneana intencional.
2. Determinar la variación del ángulo petroso entre grupos de deformados y no deformados.
3. Determinar la variación de la forma en base de cráneo producto de la deformación intencional, entre los diferentes grupos de deformaciones craneanas determinadas por Dembo e Imbelloni (1938) y el grupo de no deformados.
4. Determinar cambios de estructuras localizadas de base de cráneo, comparadas con la variación total de la forma.
5. Determinar si la variación de la forma en la base de cráneo es explicable por el sexo o la edad.
6. Evaluar la concordancia de los resultados obtenidos a través de datos

## **Materiales y Métodos:**

Se analizaron 72 cráneos provenientes de 24 cementerios pre hispánicos del valle de Azapa, Camarones y LLuta, XV Región de Arica y Parinacota, Chile, depositados en el Museo Nacional de Historia Natural y en el Museo Arqueológico San Miguel de Azapa. Estos cráneos fueron previamente clasificados por un experto, Oscar Espouey, del Museo Nacional de Historia Natural en 5 grupos distintos según tipo de deformación cefálica cultural, ocupando la clasificación de Dembo-Imbelloni (1938) que divide las deformaciones craneales intencionales en 2 grupos (tabulares y circulares) y cada grupo posee 2 variantes (erectos y oblicuos), por lo tanto nuestros grupos de estudio serán; Tabulares erectos (T.E.), Tabulares oblicuos (T.O.), Circulares erectos (C.E.), Circulares oblicuos (C.O.) y No deformados (N.D.), siendo este último grupo el elegido como control. Cada grupo contó con 14 individuos, excepto el grupo de C.O. y N.D. que poseían 15 individuos. Cada grupo estaba conformado por individuos de ambos sexos, el cual se determinó utilizando indicadores morfoscópicos como el desarrollo de la protuberancia iniana, de las líneas nucales, de la glabella, de la arcada cigomática y de las apófisis mastoideas. Para establecer la edad de estos individuos se analizó el cráneo seco y sus respectivas radiografías en vistas lateral, frontal y panorámica mandibular, considerando la erupción

del tercer molar, el grado de desarrollo radicular, la exostosis del ángulo mandibular y principalmente, la fusión de la sincondrosis esfeno-occipital que se relaciona con el término del crecimiento y desarrollo infantil, el cual se produce antes de los 20 años de edad (Enlow 1992). Los individuos que no tenían un cierre de la sincondrosis esfeno-occipital fueron excluidos de este estudio. A cada uno de estos cráneos se les realizó un registro fotográfico de sus bases craneales, a través de la vista basal, con una cámara digital Fuji FinePix 6900 a distancia y luminosidad fijas, trabajo realizado por el Dr. Germán Manríquez en el contexto del proyecto Fondecyt regular 1050279, del cual es responsable. Los cráneos que poseían restos orgánicos o que hubiesen perdido tejido óseo que impidieran la visualización de alguno de sus hitos fueron excluidos del estudio.

El primer dato registrado fue la orientación de la porción petrosa del hueso temporal con respecto de la línea media. Para esto se midió el valor del ángulo petroso definido operacionalmente por el tutor principal (Dr. Juan Carlos Salinas) como el ángulo formado por la intersección de la línea media sagital, que incluye los puntos: agujero incisivo, espina nasal posterior y basion; y la recta que pasa por los puntos: agujero estilomastoideo y vértice anterior de la porción petrosa del temporal. Esta medición se realizó con el programa tpsDig2 (Rohlf 2001) en cada una de las imágenes de base de cráneo que se digitalizaron (Fig. 5). Luego los

datos obtenidos fueron ordenados en los grupos de estudios y analizados, sacando su media y desviación estándar. Para ver si las diferencias existentes entre los grupos serían significativas ( $p < 0.05$ ) se ocupó Mann-Whitney U test.

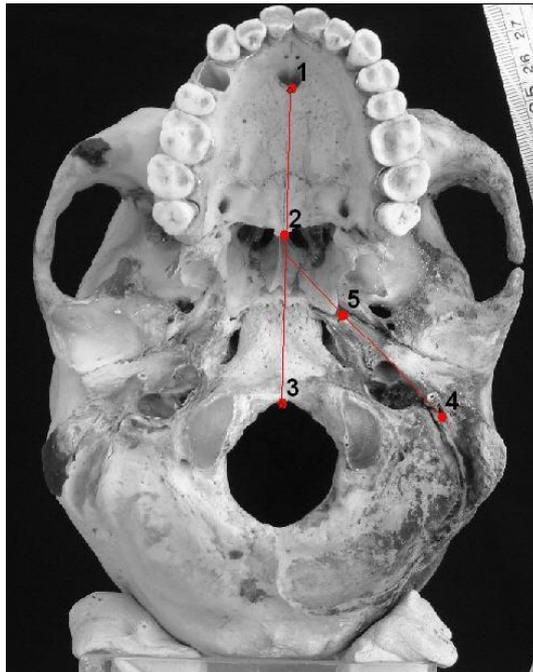


Figura 5: Imagen de la medición del ángulo petroso. Medido en la intersección de la línea media sagital con línea que une los puntos estilo mastoideo y vértice anterior del peñasco 1.- agujero nasopalatino, 2.- espina nasal posterior, 3.-básion, 4.-agujero estilo mastoideo, 5.- vértice anterior de l porción petrosa del temporal.

Posteriormente, se realizó un análisis de los componentes de la forma de la base de cráneo a través de Morfometría Geométrica. Para ello, en las fotografías de base de cráneo se realizó un mapa de homología donde se definieron hitos anatómicos representativos de las

distintas estructuras de base de cráneo (Fig. 6 y Tabla 1). El registro de los hitos en cada una de las 75 imágenes se realizó con el programa tpsDig2 (Rohlf 2001). Las diferencias debidas a rotación, traslación y escala fueron eliminadas mediante análisis de Procrusto según algoritmo del programa tpsRelwarp (v 1.35 Rohlf 2003a). Las matrices resultantes de este análisis serán proyectadas como puntos únicos a un bivariado formado por ejes ortogonales, tangentes al espacio morfométrico de Kendall (1984) (análisis de *relative warps*). Estos ejes (*relative warps*) son análogos a los componentes principales del análisis multivariado, se obtienen de los vectores propios de los componentes de la forma resultante del análisis de Procrusto (*partial warps*) y resumen, en orden decreciente, la varianza total acumulada por dichos componentes. En el punto  $x = 0$ ,  $y = 0$  de estos ejes se localiza la configuración de *consenso* que sirve de referencia para visualizar la dirección y magnitud del cambio morfométrico en los especímenes previamente proyectados desde el espacio de Kendall. La visualización del patrón de variación de la forma se obtendrá aplicando la función de placa delgada (*thin-plate spline*) en los valores extremos positivos y negativos de cada eje, la que se representa como una grilla cartesiana que se contrae o expande según la magnitud y dirección que adopta el vector que afecta la forma del cráneo, tanto en sus ejes mayores (cambio uniforme) como en regiones anatómicas altamente localizadas (cambio no uniforme). En términos coloquiales se puede decir

que; en cada una de las 72 fotografías de base de cráneo se marcaron puntos (hitos) en estructuras anatómicas claramente identificables, la posición de cada hito quedará registrada como una coordenada cartesiana, formando una matriz por cada imagen, la que contiene la posición de cada uno de los hitos, esto es realizado a través del programa *Tpsdig2*. Luego, las matrices de las 72 imágenes de base de cráneo se procesaron en el programa tps Relwarps, este eliminó las diferencias de rotación, la escala y la traslación de las distintas imágenes que se analizaron y así se crearon nuevas matrices que uniforman los criterios para el análisis, esto permite que las imágenes sean comparadas ya que las matrices son estandarizadas y sobrepuestas. Esto también permite separar forma, de tamaño. El tamaño se convierte en un factor independiente llamado tamaño del centroide y la forma pasa a ser representada por una matriz alineada de los individuos que fueron reescalados y ubicados en torno a una forma consenso (Programa Relwarp)

Las nuevas matrices de cada individuo son proyectadas como puntos únicos a un espacio Morfométrico, de Kendal, donde se pudo observar cuales son los componentes de la forma que están generando mayor influencia en el cambio global de ésta (relative warps), luego estos relative warps se ordenan de manera decreciente. Con los dos primeros que son los que concentran la mayor parte del cambio de la forma (partial

warps), se genera una matriz cartesiana donde el punto  $x=0$  e  $y=0$  es la forma *consenso* o promedio, alejándonos de este punto nos muestra una representación gráfica de las variaciones de la forma a través de una grilla a modo de una placa delgada de plata (TPS) que se deforma al aplicar una fuerza de cada vector. Esta grilla muestra la magnitud y dirección que adopta el vector que afecta la forma del cráneo, por la contracción o expansión de sus celdas, suponiendo que existen una cantidad continua de individuos los cuales sufren deformación tanto en sus ejes mayores (cambio uniforme) como en regiones anatómicas altamente localizadas (cambio no uniforme), y representa todas las posibles formas que puede adoptar la base del cráneo, tanto en la variación de forma del cuerpo global como en estructuras específicas.

Los beneficios que presenta el estudio de la forma a través de la morfometría geométrica radica en que podemos lograr un análisis más acabado de la forma, ya que nos permite, separar forma de tamaño, ponderar de manera correcta la importancia relativa que tiene cada hito anatómico, evaluar las variaciones alométricas de los cuerpos y poseer una herramienta gráfica que permita observar de manera continua el patrón de variación de la forma de la base craneal en vista basal.

Para corroborar la hipótesis estadística de nulidad, se puso a prueba mediante la regresión de los componentes de la forma contra vectores de variables categóricas (0, 1, 2...), tipo de deformación, sexo y

edad (programa tpsReg v. 1.28) (Rohlf 2003b), y serán evaluadas con la prueba de F según Goodall. Para verificar la robustez de la clasificación a priori del sexo se realizó un análisis discriminante utilizando los componentes de la forma que explican la mayor varianza acumulada ( $Rw1-15 \leq 90\%$  de la varianza).

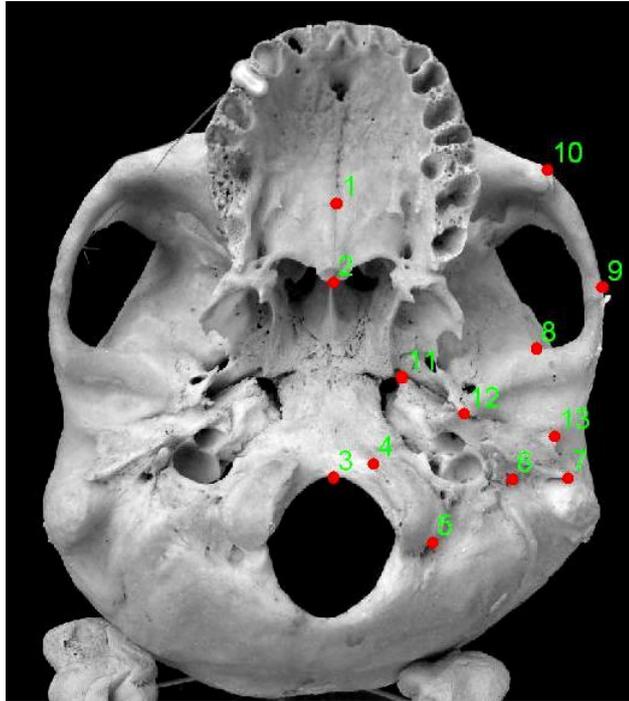


Figura 6: Imagen del mapa de homología definido en los hitos más representativos de la base de cráneo.

HITO	NOMBRE	DEFINICIÓN ANATOMICA	TIPO
1	Palato-maxilar	Intersección entre sutura palatina y palato-maxilar	I
2	Espina nasal posterior	Espina nasal posterior	II
3	Básion	Punto de la línea media del margen anterior del foramen magno	III
4	Cóndilo occipital anterior	Vértice anterior e interno del cóndilo occipital	III
5	Cóndilo occipital posterior	Vértice posterior y externo del cóndilo occipital	III
6	Agujero estilo-mastoideo	Agujero estilo mastoideo	I
7	Timpánico mastoideo	Punto más distal del conducto timpánico externo	III
8	Eminencia articular	Punto más anterior y medial de la eminencia articular del temporal	III
9	Zigomático externo	Punto más externo del arco zigomático	III
10	Témporo-zigomático	Punto más externo de la sutura témporo-zigomática	I
11	Petroso	Vértice antero externo de la porción petrosa del hueso temporal	II
12	Témporo-timpánico-esfenoidal	Unión de sutura témporo-timpánico-esfenoidal	I
13	Timpánico externo	Punto más externo de la sutura témporo-timpánica	I

Tabla 1: Hitos anatómicos definidos para la vista de base de cráneo que se utilizarán en este estudio.

# Resultados

## I

### 1. Resultados obtenidos en relación al objetivo específico I:

Comparar la variación de la forma en cráneos de individuos no deformados con respecto del grupo de individuos con deformación craneana intencional.

#### **Análisis del componente principal en todos los individuos**

##### Aspectos Estadísticos

El análisis exploratorio de los datos mostró que los dos primeros Componentes Principales de la forma (Fig. 7), explican el 34,78% de la varianza total (Tabla II). La principal variación de la forma (primer componente de la forma = RW1) corresponde al 20,33% de la varianza total y se ve representado por el eje x (Fig.7). Este no muestra una ordenación en la que se pueda distinguir nubes (“grupos”) que discriminen según la presencia o ausencia de deformación de los individuos. El segundo componente de la forma, RW2, explicó el 14,44% de la varianza total y tampoco mostró una agrupación de los individuos. El análisis de regresión de todos los componentes de la variación general de la forma contra deformación intencional del cráneo, mostró ausencia de diferencias

significativas  $p = 0.451$  entre grupo de deformados y no deformados, (Fig. 7).

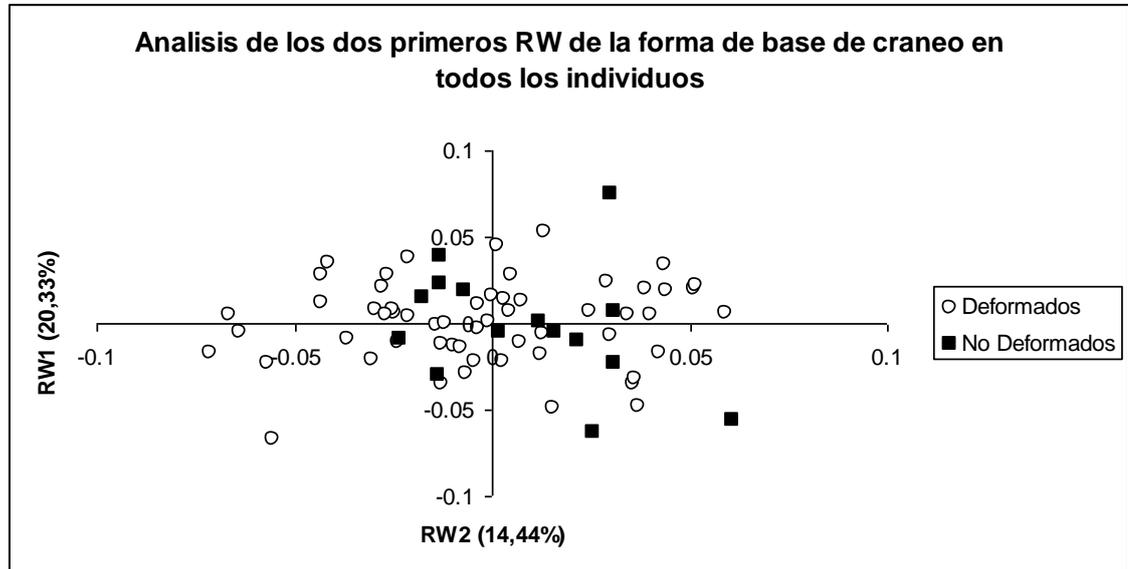


Figura 7: Análisis de torsión relativa de los dos primeros Relative warps (RW) de todos los individuos estudiados, representa el 34,78% de la varianza total. RW1=20,33% y RW2=14,44%. Los individuos fueron separados en deformados (azules) y no deformados (Rojos), no apreciándose diferencias significativas en la forma de base de cráneo entre los dos grupos.

#### Aspectos Morfológicos (RW1)

Al aplicar la función de placa delgada, las matrices generadas por los hitos anatómicos de base de cráneo registraron cambios morfológicos en el eje coronal, principalmente en la zona de la porción petrosa del hueso temporal donde la energía de torsión se hace más intensa (Figs. 8 y 9). Estos cambios se ven representados como un acercamiento a la

línea media del cráneo de los puntos témporo-timpánico-esfenoidal, timpánico anterior, timpánico posterior y arco zigomático.

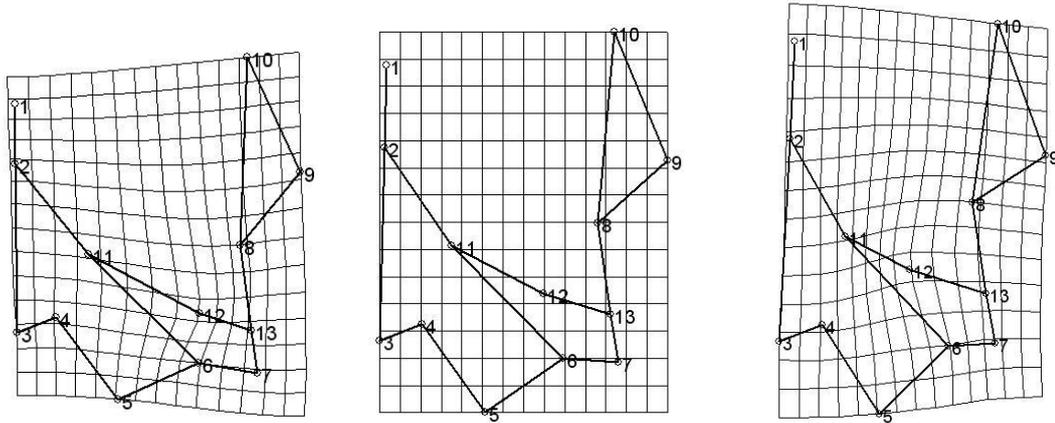


Figura 8: Función de placa delgada correspondiente al primer componente principal de la forma (RW 1) de todos los individuos estudiados. La grilla central representa la forma consenso en el punto  $X=0, Y=0$ . Las grillas laterales representan la magnitud y dirección de la variación de la forma de base de cráneo en los extremos del eje X. (Ver Fig. 7)

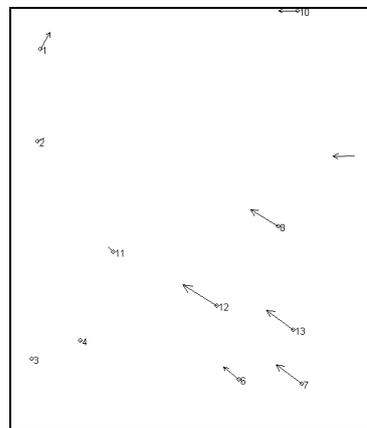


Figura 9: Magnitud y dirección de los vectores generados por el cambio de forma en el RW1 de todos los individuos estudiados.

## Análisis Morfológico (RW2)

El análisis de torsión relativa en el eje Y (RW2), mostró un mayor cambio vectorial en el eje antero posterior de la base de cráneo. Esto se observa como una distalización de los hitos petroso, Témpero-timpánico-esfenoidal y timpánico externo. El hito cóndilo occipital anterior se mesializó estrechando de esta manera la porción petrosa del hueso temporal, al igual que toda la base de cráneo (Fig.10).

La varianza explicada por los restantes 20 (RW3=10,75%, RW4=8,73%, RW5+ RW22=45,84%) componentes de la forma resultó significativamente menor a la de los dos primeros y no fue graficada.

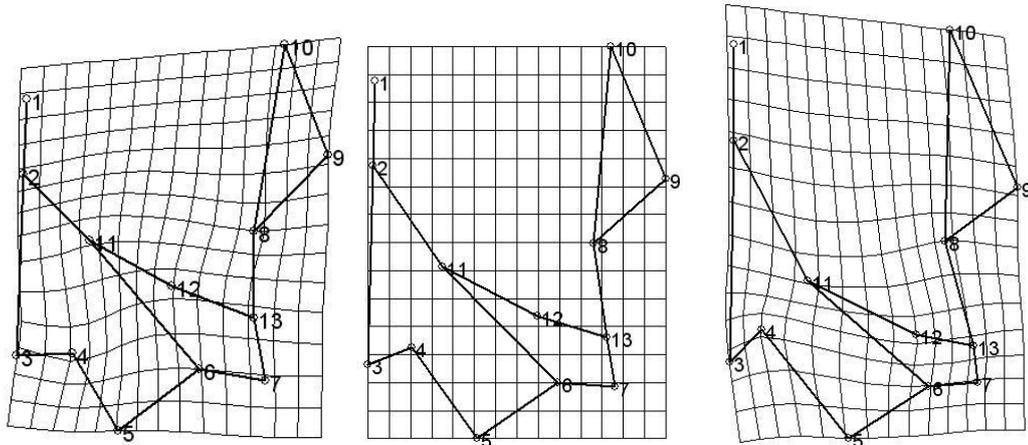


Figura 10: Función de placa delgada correspondiente al segundo componente principal de la forma (RW 2) de todos los individuos estudiados. Representación gráfica de la energía aplicada sobre la grilla de placa delgada por los vectores de cada hito y la torsión ejercida sobre la placa. La grilla central representa la forma consenso en el punto  $X=0$ ,  $Y=0$ . Las grillas laterales representan la magnitud y dirección de la variación de la forma de base de cráneo en los extremos del eje Y (Ver Fig. 7).

No.	SV	%	Cum%
1	0.26373	20.33%	20.33%
2	0.22228	14.44%	34.78%
3	0.19173	10.75%	45.53%
4	0.17184	8.63%	54.16%
5	0.16626	8.08%	62.24%
6	0.14817	6.42%	68.66%
7	0.13288	5.16%	73.82%
8	0.12546	4.60%	78.42%
9	0.10854	3.44%	81.87%
10	0.10324	3.12%	84.99%
11	0.09859	2.84%	87.83%
12	0.09114	2.43%	90.26%
13	0.08445	2.08%	92.34%
14	0.07668	1.72%	94.06%
15	0.07055	1.46%	95.51%

Tabla II: Análisis del componente Principal.

Porcentaje de la varianza total explicada por cada componente principal de la forma y la varianza acumulada.

En resumen: La variación de la forma observada en el grupo de individuos no deformados resultó similar a la existente en el grupo de individuos con deformación craneana intencional, es decir, no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas en la forma de base de cráneo entre ambos grupos. A pesar de esto, se observó un patrón de variación de la forma de todos los individuos expresado principalmente en el eje antero-posterior alcanzándose mayor cuantía en los hitos correspondientes a la porción petrosa del hueso temporal.

## II

2. **Resultados obtenidos en relación al objetivo específico II,**  
“Determinar la variación del ángulo petroso entre grupos de deformados y no deformados”.

Al comparar datos angulares de los distintos individuos agrupados por deformación craneana intencional y sin deformación, encontramos que no existen diferencias significativas en la magnitud del ángulo petroso entre ambos grupos ( $p= 0,786$ ).

Al analizar en conjunto los 5 grupos estudiados (Circulares erectos, Circulares Oblicuos, No deformados, Tabulares erectos, Tabulares oblicuos) encontramos que no existían diferencias significativas, Kruskal-Wallis análisis ( $p= 0,111$ ). Sin embargo, al excluir de los análisis el grupo de No deformados, se observa que existen diferencias significativas entre los individuos deformados ( $p=0,036$ ). Al realizar un análisis para comparar cada grupo por separado (Mann-Whitney U test), se encontraron diferencias significativas entre Erectos ( $133,58^\circ$ ) y Oblicuos ( $134,87^\circ$ ), ( $p=0.026$ ), entre el grupo de Tabulares erectos contra Tabulares oblicuos ( $p= 0,002$ ) y Tabulares erectos contra Circulares oblicuos ( $p=0,04$ ) lo que podría avalar las diferencias encontradas entre todos los cráneos deformados.

Entre circulares y tabulares no hubo diferencias significativas ( $p=0,968$ ). Tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas debido al sexo ( $p=0.797$ ). El resto de los grupos, no mostró diferencias.

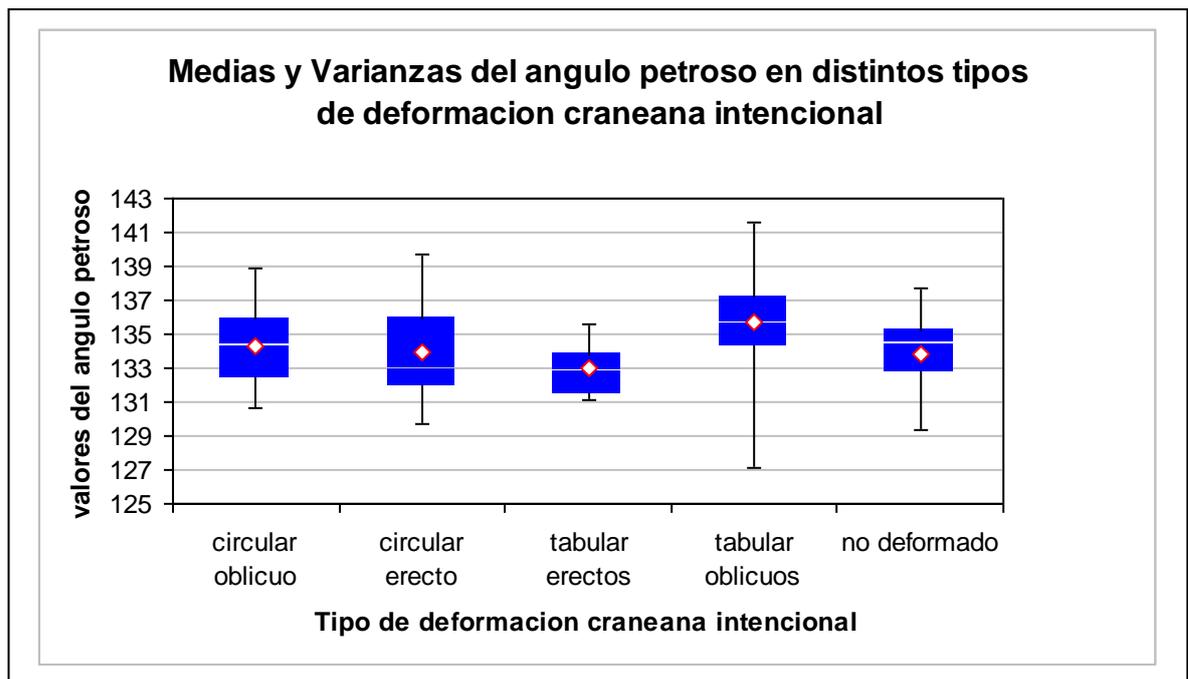


Figura 11: Este gráfico de cajas muestra las medias (punto blanco), medianas (raya blanca horizontal), área entre percentil 25 –75 (área azul) y varianzas (línea negra vertical) del ángulos petrosos registrados en los distintos tipos de deformación craneana intencional.

En resumen: La utilización del ángulo petroso para determinar la variación de la orientación de la porción petrosa del hueso temporal con respecto de la línea media resultó muy sensible para determinar cambios en esta región de la base de cráneo. Es así como apreciamos diferencias significativas entre Erectos y Oblicuos. Sin embargo, estas diferencias eran pequeñas ya que no se expresaban al comparar los dos grupos antes nombrados con el grupo no deformado.

### **III**

#### **3. Resultados obtenidos en relación al objetivo específico III:**

Determinar la variación de la forma en base de cráneo producto de la deformación intencional, entre los diferentes grupos de deformaciones craneanas determinadas por Dembo e Imbelloni (1938).

Dembo y Imbelloni (1938) clasificaron la deformación craneana a partir del tipo de aparato deformador que se ocupaba para realizar dicha deformación y la forma del cráneo que se observaba como consecuencia del uso de este aparato. Según esta clasificación, la deformación craneana intencional se separa en 4 grupos, Circulares Erectos, Circulares Oblicuos, Tabulares Erectos y Tabulares Oblicuos. Tomando

como referencia esta clasificación observamos que no existían diferencias significativas en la forma de base de cráneo entre estos grupos.

#### Aspectos estadísticos

El examen exploratorio de datos mostró que los dos primeros componentes principales de la forma explican el 34,98% de la varianza total (Fig.8). La principal variación de la forma (RW1) corresponde al 22,41% de la varianza total y se ve representado por el eje x. Este no muestra una ordenación en la que se pueda distinguir nubes (“grupos”) que discriminen según tipo de deformación craneana intencional. El análisis de regresión para los componentes de la variación general de la forma contra tipos de deformación intencional del cráneo, mostró ausencia de diferencias significativas ( $p= 0.472$ ). (Fig.12)

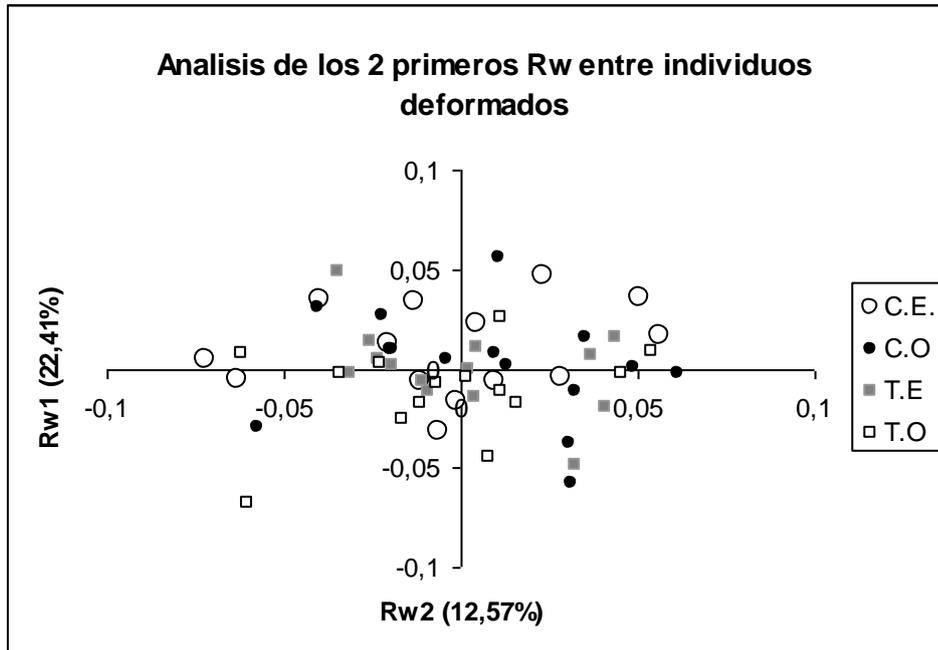


Figura 12: Análisis de torsión relativa de los dos primeros Relative warps (RW) de todos los individuos deformados estudiados, Este gráfico representa el 34,98% de la varianza total. RW1=22,41% y RW2=12,57%. Los individuos fueron separados en Circulares erectos, Circulares oblicuos, No deformados, Tabulares erectos y Tabulares Oblicuos, no apreciando diferencias significativas en la forma de base de cráneo entre estos grupos.

### Aspectos Morfológicos

Al realizar una revisión de la deformación ocurrida en base de cráneo a lo largo del eje x (Fig.12) aplicando la función de placa delgada observamos una variación de la forma, esta se aprecia como un estrechamiento de la base del cráneo, generado principalmente por la compresión de la porción petrosa del hueso temporal con una dirección anterior y medial, un alargamiento de la porción posterior de la base de

cráneo principalmente en la región cercana a la línea media (Fig.13), corroborando los resultados obtenidos en el primer objetivo de este estudio.

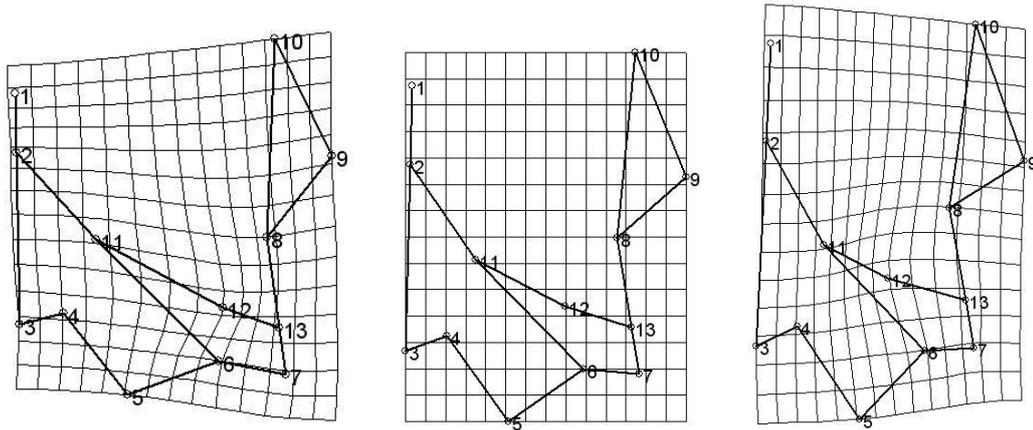


Figura 13: Función de placa delgada correspondiente al primer componente principal de la forma (RW 1) de todos los individuos deformados. Las grillas es la representación gráfica de la energía de torsión aplicada sobre la grilla de placa delgada por los vectores de cada hito, en el centro se encuentra el consenso de la forma, a su lado los extremos en el eje X (Fig.12).

Nº	SV	%	CUM%
1	0.24661	22.41%	22.41%
2	0.18472	12.57%	34.98%
3	0.16939	10.57%	45.55%
4	0.16097	9.55%	55.10%
5	0.14563	7.81%	62.92%
6	0.13384	6.60%	69.52%
7	0.12086	5.38%	74.90%
8	0.1063	4.16%	79.06%
9	0.09818	3.55%	82.61%
10	0.09494	3.32%	85.93%
11	0.08328	2.56%	88.49%
12	0.07978	2.34%	90.83%
13	0.07322	1.98%	92.81%
14	0.06518	1.57%	94.37%
15	0.06353	1.49%	95.86%

Tabla III: Porcentaje de la varianza total explicada por cada componente principal de la forma y la varianza acumulada.

Análisis de los dos primeros RW en individuos deformados separando los individuos por efecto del aparato deformador.

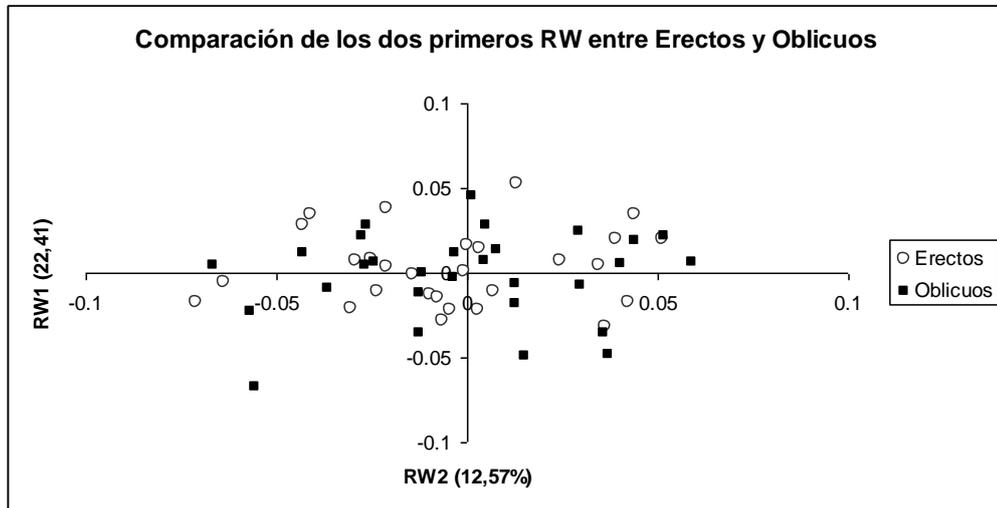


Figura 14: Podemos observar los dos primeros relative warp de los individuos deformados, en este gráfico observamos que no existe separación entre los grupos erectos (círculos) y oblicuos (cuadrados).

Al observar la distribución de los individuos Erectos y Oblicuos en el examen exploratorio de los dos primeros componentes principales de la forma en individuos deformados, no encontramos ninguna separación debido a la forma de base de cráneo entre los grupos, lo que se confirma con el análisis de regresión para componentes de la forma contra Deformación, agrupada en Erectos y Oblicuos ( $p = 0.898$ ).

En resumen, no se apreciaron diferencias significativas en la forma de base de cráneo entre los grupos de deformados intencionales.

## IV

### 4. Resultados obtenidos en relación al objetivo específico IV:

Comparar el patrón general de variación de la forma de base de cráneo con los cambios de estructuras localizadas.

En términos generales existe una concordancia entre el patrón general de variación de la forma con los cambios de estructuras localizadas, es decir no existe cambios en estructuras localizadas significativos entre los individuos estudiados, pero si se observan cambios no significativos en las estructuras pertenecientes a la porción petrosa del temporal. Estas se aprecian como una antero mesialización de esta región y se ven representados como un acercamiento a la línea media del cráneo de los puntos tímpano-timpánico-esfenoidal, timpánico anterior, timpánico posterior y un desplazamiento a medial del arco zigomático, (Fig. 15), estos cambios de forma se asocian al grupo de oblicuos, el grupo de erectos presenta una base de cráneo más amplia y de menor diámetro posteroanterior. Lo anterior se resume en la Tabla V, donde registramos los valores del porcentaje de cambio de la forma incluyendo el componente uniforme de ésta. Estos valores son significativos al comparar los tipos de deformación Erecto y Oblicuo ( $p = 0.035$ ). Al eliminar el componente uniforme de la forma, estas diferencias se hacen no

significativas. Es decir los cambios en la forma registrados entre los grupos erectos y oblicuos de deformación intencional, se deben al componente uniforme de ésta y tiene una explicación de un 0,3% de los cambios globales de la forma (Tabla V). El componente uniforme de la forma explica cambios ocurridos en los dos ejes principales de la grilla de deformación y están asociados al tamaño.

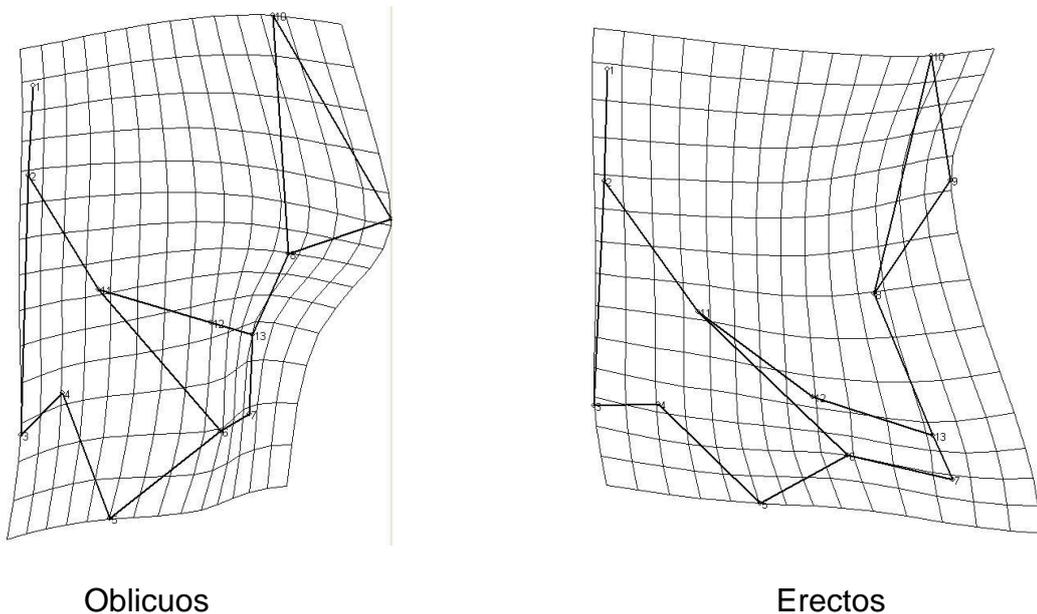


Figura 15 : Función de placa delgada correspondiente a la deformación craneana intencional llevada al extremo por la función TPS de los grupos Erecto y Oblicuo. Representando la deformación producida en base de cráneo al aplicar fuerzas compresivas extremas. Se puede observar que existen cambios en el componente no uniforme de la forma en los puntos distales de la porción petrosa del temporal, al igual que en el tercio distal del arco zigomático. Estos cambios no son significativos y pueden ser explicados por los cambios referentes al tamaño en la muestra estudiada.

En resumen: Los cambios en el patrón general de la forma, sugieren un estrechamiento de la base del cráneo en el eje coronal y un alargamiento ántero posterior. Los cambios en estructuras localizadas de la base de cráneo son de poca significancia y se observan como una compresión de la porción petrosa del hueso temporal con una dirección anterior y medial, a demás de, un alargamiento de la porción posterior de la base de cráneo principalmente en la región cercana a la línea media

## V

### 5. **Resultados obtenidos en relación al objetivo específico V:**

Determinar si la variación de la forma en la base de cráneo es explicable por el sexo o la edad.

Los resultados obtenidos a través del análisis de regresión de todos los componentes de la forma de base de cráneo contra el sexo resultaron ser significativos ( $p= 0.001$ ). Es decir, existen diferencias en la base de cráneo entre hombres y mujeres, estas diferencias son explicables por la variación ocurrida en el componente uniforme de la forma y se asocian al tamaño. Esto lo sabemos ya que al eliminar del análisis el componente uniforme de la forma, las diferencias resultan no significativas ( $p = 0.125$ ) (Fig.16). En otras palabras las diferencias observadas se pueden atribuir a la variación en los ejes anatómicos mayores debido al dimorfismo sexual.

El componente uniforme de la forma está explicando las diferencias entre los diferentes sexos de los individuos analizados y se expresan como diferencias de tamaño de bases de cráneo entre hombres y mujeres, debido a que el hombre posee una base de cráneo más amplia que la mujer. Para estimar el peso relativo del componente uniforme en la variación general de la forma se siguió el algoritmo de Loy 1998  $\%u= 1,18$ , (Loy 1998) el cual explico el 1,1% de los cambios morfológicos observados. Estos resultados concuerdan con los obtenidos al comparar los valores del ángulo petroso en hombres y mujeres donde no fueron significativas las diferencias ( $p=0,791$ ).

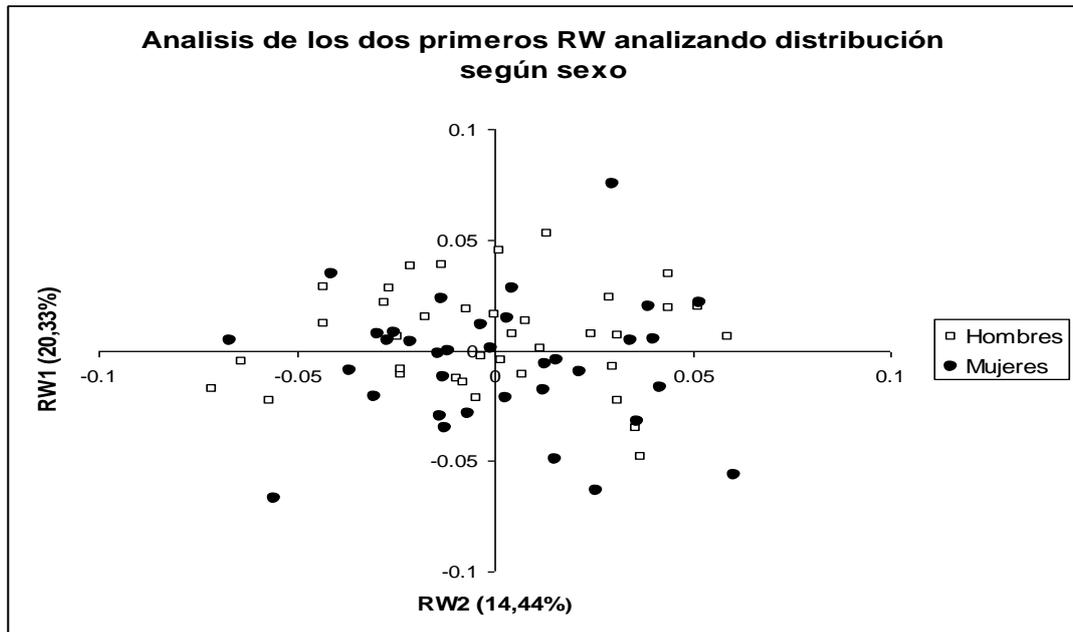


Figura 16: Análisis de torsión relativa de los dos primeros Relative Warps (RW) de todos los individuos estudiados. Los dos primeros Relative warps son los que representan el mayor porcentaje de la varianza total del componente no uniforme de la forma. En esta figura se representan a los hombre (cuadrados) y las mujeres (círculos), no se observan diferencias en la forma de base de cráneo entre distintos sexos.

Estos resultados fueron corroborados por análisis discriminante, observando una gran homogeneidad de los grupos a analizar (femenino, masculino) ( $p=0,05$ ). Es decir, no observamos diferencias entre los grupos ya que existía sobreposición de individuos (Tabla IV), posiblemente por la feminización del cráneo producto de la deformación.

### Análisis discriminante de sexo en toda la muestra

	%	mujeres	hombres
	Correct	p=,51389	p=,48611
hombre	78.3783798	29	8
mujeres	74.2857132	9	26
Total	76.3888855	38	34

Tabla IV: Análisis discriminante comparando la clasificación a priori y a posteriori del sexo de los individuos estudiados.

Al estudiar la edad como posible variable que explique los cambios en la forma de base de cráneo, esta variable no mostró significancia ( $p=0,571$ ), no influyendo el componente uniforme de la forma en esta  $\%u=0,13$  (Tabla V), lo cual era esperable ya que son todos cráneos adultos.

No deformados, deformados	N	UNI+PW	F de Goodall	p	%VAR	%UNI
	72	Sexo	2.2182	<b>0.001</b>	96.94%	<b>1,1%</b>
	72	Tamaño c.	1.1408	0.2944	98.40%	0,6%
	72	Deformación	1.0075	0.451	98.59%	0,3%
	72	Tipo	1.5325	0.0543	97.86%	0,8%
	57	ER/OB	1.6172	<b>0.0356</b>	97.15%	0,3%
		PW				
	72	Sexo	1.3724	0.1255	98.08%	
	72	Tamaño c.	0.7123	0.8168	98.99%	
	72	Deformación	0.7484	0.7774	98.95%	
	72	Tipo	0.971	0.4954	98.64%	
	57	ER/OB	1.4459	0.0922	97.45%	

Tabla V: Análisis del efecto de las variables biológicas (sexo, tamaño) y culturales (deformación, tipo de deformación) sobre los componentes de la variación de la forma del cráneo en individuos deformados y no deformados

En resumen: No existen diferencias significativas en la forma de base de cráneo entre hombres y mujeres, las diferencias observadas son explicables por la variación ocurrida en el componente uniforme de la forma que se asocian al tamaño. La edad tampoco fue un factor modificador de la forma de base de cráneo en individuos adultos.

## VI

### 6. Resultados obtenidos en relación al objetivo específico VI.:

Evaluar la correlación de los resultados obtenidos a través datos angulares con los datos obtenidos por hitos de coordenadas, los hitos escogidos fueron Agujero Nasopalatino, espina nasal posterior, vértice anterior del peñasco y agujero estilo mastoideo

#### Aspectos estadísticos

El examen exploratorio de datos pertenecientes a los hitos que representan al ángulo petroso, mostró que los dos primeros Relatives warp explican el 72,23% (Tabla VI) de la varianza total de la forma (fig.16).

La principal variación de la forma (RW1) corresponde al 38,20% de la varianza total y se ve representado por el eje x. Este no muestra una ordenación en la que se pueda distinguir nubes (“grupos”) que discriminen según variación del ángulo petroso en los distintos tipos de deformación de los individuos estudiados. El segundo componente de la forma, RW2, explicó el 34.08% de la varianza total y tampoco mostró una agrupación de los individuos. El análisis de regresión para los componentes de la variación general de la forma de la base de cráneo, representada por los

hitos del ángulo petroso contra tipos de deformación intencional del cráneo, mostró ausencia de diferencias significativas ( $p = 0.716$ ) confirmando lo observado en la figura 16. Al igual que en el objetivo específico número 5 se observan diferencias significativas entre componente principal de la forma y sexo ( $p = 0.042$ ) que son atribuibles a la variación del componente uniforme y no al cambio de estructuras localizadas, esta variación se observa de manera evidente en la función de palca delgada (Fig. 14), en la cual no se aprecian cambios en estructuras localizadas, más bien existe un cambio uniforme de la grilla. Al estimar el peso relativo del componente uniforme en la variación general de la forma en los distintos tipos de deformación para los hitos correspondientes al ángulo petroso encontramos que un 13,94% correspondía al cambio uniforme (Tabla VI).

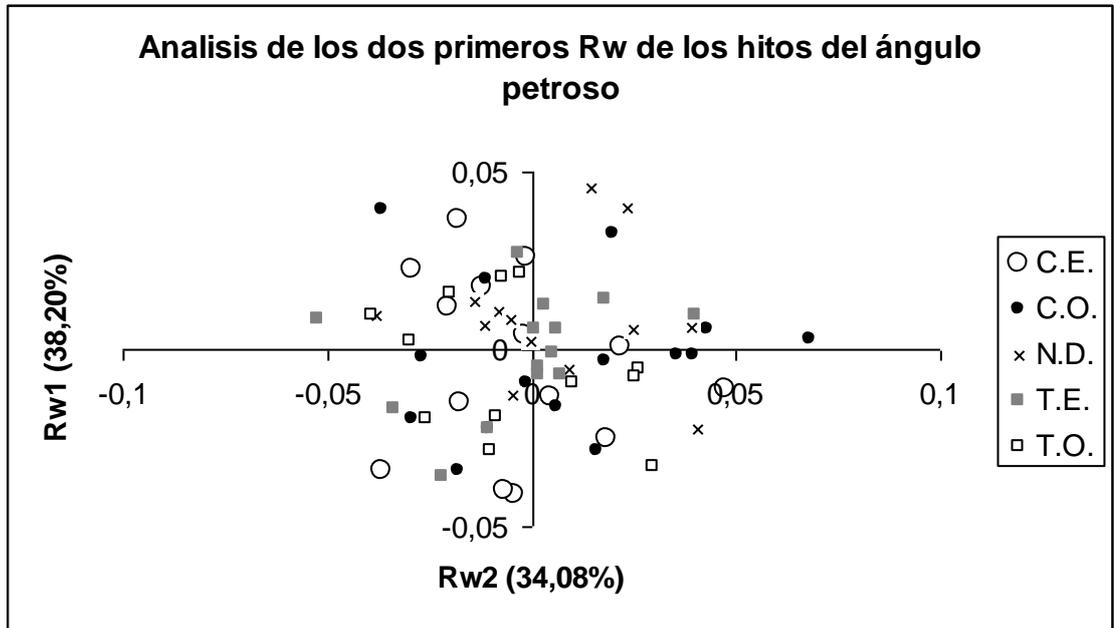


Figura 17: Análisis de torsión relativa de los dos primeros Relative warps (RW) de los hitos correspondientes al ángulo petroso de todos los individuos estudiados. El patrón de dispersión de los individuos en torno al consenso no muestra agrupamiento.

### Aspectos Morfológicos

Al observar los cambios ocurridos en los hitos correspondientes al ángulo petroso a lo largo del eje x que representa el RW1, apreciamos una variación de la forma que se localiza en el vértice anterior del peñasco que genera una distalización de éste hito anatómico, una posición más anterior de la espina nasal posterior y una posición posterior y distal del agujero estilomastoideo. Estos cambios se pueden explicar casi en su totalidad por los cambios del componente uniforme, gráficamente las celdas mantienen su paralelismo avalando dicha afirmación (Fig.18).

Nº	SV	%	Cum%
1	0.20283	38.20%	38.20%
2	0.19145	34.03%	72.23%
3	0.14129	18.54%	90.77%
4	0.09972	9.23%	100.00%

Tabla VI:

Porcentaje de la varianza total explicada por cada componente principal de la forma y la varianza acumulada

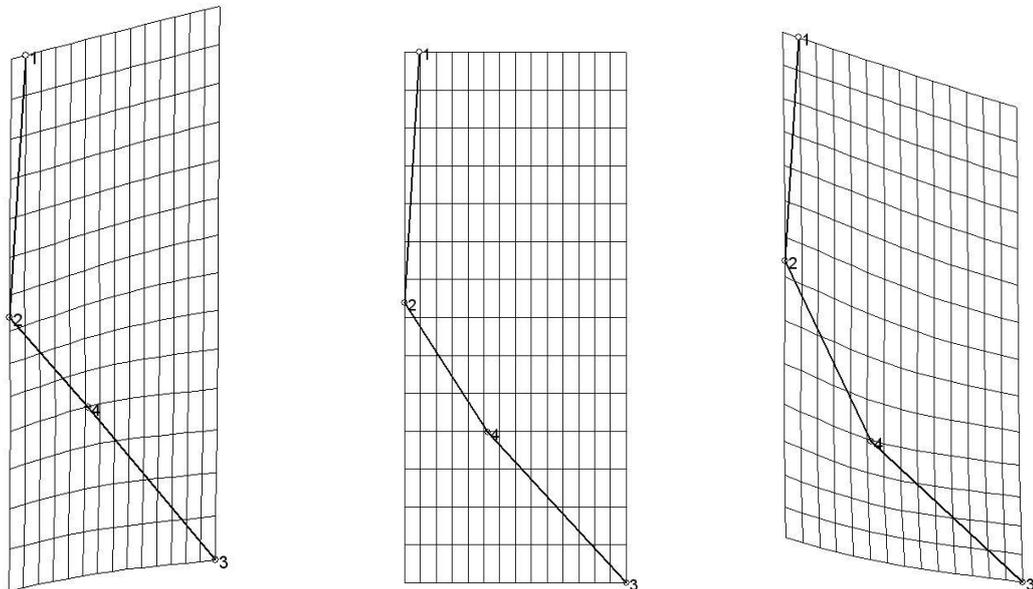


Figura 18: Función de placa delgada correspondiente al primer componente principal de la forma (RW 1) de todos los individuos analizando los hitos correspondientes al ángulo petroso. Las grillas son la representación gráfica de la energía de torsión aplicada sobre ésta por los vectores de cada hito. En el centro se encuentra el consenso de la forma, a su lado los extremos en el eje X. (Fig.17)

## Análisis Morfológico (RW2)

El análisis de torsión relativa en el eje Y (RW2), mostró un mayor cambio vectorial en el eje ántero posterior, principalmente en el vértice anterior del peñasco con un componente de la fuerza más distal y anterior que en el eje x. Las mediciones angulares de los consensos en los dos extremos de los valores del eje X son  $137^{\circ}$  y  $128^{\circ}$ , correspondiendo a los rangos observados en las mediciones lineales.

La varianza explicada por los dos restantes componentes de la forma (RW 3+ RW 4=27,77%) resultó significativamente menor a la de los dos primeros.

Angulo Todos los individuos	N	UNI+PW	F de Goodall	p	%VAR	%UNI
	72	Sexo	2.5017	<b>0.042</b>	96.5543%	0,12%
	72	Tamaño c.	3.3906	<b>0.009</b>	95.3873%	<b>2,62%</b>
	72	Deformación	2.0642	0.085	97.1412%	2,56%
	72	Tipo	0.5261	0.716	99.2555	0,44%
	57	ER/OB/ND	1.5634	<b>0.049</b>	87.4058%	<b>13,94%</b>
		PW				
	72	Sexo	2.410	0.093	96.67%	
	72	Tamaño c.	1.511	0.224	97.88%	
	72	Deformación	0.255	0.774	99.63%	
	72	Tipo	0.212	0.808	99.69%	
	57	ER/OB/Nd	0.287	0.750	99.59%	

Tabla VI: Análisis del efecto de las variables biológicas (sexo, tamaño) y culturales (deformación, tipo de deformación) sobre los componentes de la variación de la forma del cráneo en individuos deformados y no deformados

El análisis de correlación entre los ángulos medidos en cada individuo y toda la matriz de hitos de coordenadas mostró baja correlación entre éstas ( $r=0,416$ ) y al realizar la comparación de todos los datos angulares v/s la matriz de hitos pertenecientes al ángulo petroso tampoco hubo correlación entre los datos ( $r= 0,153$ ), es decir, existe una muy baja correlación entre los registros angulares y los morfométricos

Los resultados obtenidos al comparar el promedio de mediciones angulares de cada grupo de deformados y las mediciones angulares de los consensos de los distintos grupos para los hitos del ángulo petroso

(Fig. 19), si bien, no existe correlación estadística entre las medidas, podemos observar alta similitud entre los datos obtenidos.

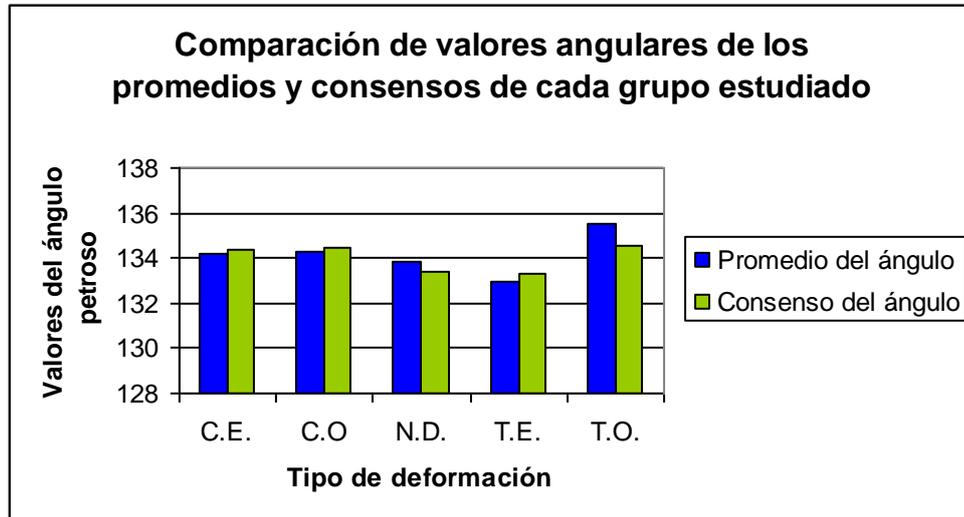


Figura 19: Gráfico de barras que presenta las diferencias observadas en las mediciones del ángulo petroso al comparar los promedios y los consensos morfométricos de dicho ángulo.

En resumen, el registro del mapa de homología correspondiente al ángulo petroso fue tan sensible como el mapa de toda la base de cráneo para registrar cambios de forma de los distintos cráneos. A pesar de esto, existe una muy baja correlación entre los registros angulares y los morfométricos.

## **Discusión**

### **Estabilidad morfológica de la base de cráneo**

Los resultados obtenidos a través del estudio de la variación total de la forma de base de cráneo realizando un análisis en vista basal, a través del uso de morfometría geométrica como herramienta de análisis, encontramos que las diferencias existentes en la forma de base de cráneo no son significativas entre el grupo de deformados y no deformados, corroborando de esta manera que base de cráneo es una estructura anatómica que se caracteriza por su estabilidad morfológica, conservada ontogénicamente. Incluso cuando es sometida a cambios culturales tan severos como la deformación craneana intencional.

Tradicionalmente se ha utilizado para el estudio de base de cráneo el análisis de vista sagital, registrando el ángulo NSBa como predictor de cambios morfológicos. Antes de que este estudio fuera realizado, se ha señalado que aquellos individuos que tienen deformación craneana circular presentan un ángulo base de cráneo más obtuso que los que no poseen deformación craneana (Antón 1989). También se ha registrado en trabajos anteriores un alargamiento del ángulo NSBa en el grupo con deformación craneana circular antero-posterior (Mikinori 2006). Manríquez et al., 2006, observan que el principal componente de la forma varía en la secuencia erectos-no deformados-oblicuos registrando un aumento en los valores del ángulo base de cráneo con el mismo orden, en vista sagital.

Este estudio utiliza el ángulo petroso como predictor de los cambios producidos en la orientación del hueso temporal y a través de éste determinar la existencia de diferencias en la forma de base de cráneo. Los registros obtenidos al realizar mediciones del ángulo petroso poseen la misma distribución que los obtenidos en el trabajo antes citado, por lo que podríamos inferir que el ángulo petroso es tan descriptivo como el ángulo base de cráneo para registrar las variaciones de la forma ocurridas en ésta, con el aporte de ser un ángulo medido externamente sin necesidad de contar con una telerradiografía lateral y señalando que los cambios ocurridos en base de cráneo se ven reflejados tanto en la porción petrosa del temporal como en la porción basilar del esfenoides, faltando estudios de covariación de las dos estructuras.

Así también, creemos que es necesario realizar un estudio de covariación entre el ángulo base de cráneo y el ángulo petroso. La disminución del valor del ángulo petroso en el orden Oblicuos-no deformados- erectos corrobora el cambio morfológico que ocurre en el eje ánteroposterior del cráneo producto de la deformación craneana intencional y que esta variación se aprecia tanto en vista sagital como basal. También indica que el ángulo petroso puede ser un buen predictor de los cambios que ocurren en la base de cráneo en el eje sagital.

Al igual que la morfometría lineal, los estudios de los cambios de forma en la base de cráneo a través de morfometría geométrica se han

orientado a capturar la variación de ésta, a través de análisis de forma en vista sagital. Se ha descrito un estrechamiento en el sentido coronal y vertical, además de un aumento en la longitud en el eje sagital de la base de cráneo en poblaciones norteamericanas que presentaban deformación Anular (Luci Ann 1993). Así también, Manríquez et. al. 2006 sostienen que en las muestras arqueológicas las modificaciones del ectocráneo covarían en dirección y magnitud con los cambios que ocurren en la base de cráneo.

El presente estudio complementó éste análisis registrando la forma y tamaño externo en vista basal de individuos deformados y no deformados, llegando a resultados que concuerdan de una manera descriptiva con los trabajos anteriores. Se observó que el principal componente de la forma varía desde una base de cráneo más estrecha y alargada a una base de cráneo ancha y elongada en el eje sagital. Estos resultados no se asocian a un grupo de deformación particular ya que las diferencias no son significativas entre los grupos de deformados y no deformados, como tampoco entre los distintos grupos de deformados.

Las diferencias observadas entre los distintos estudios se podrían deber a que el ángulo NSBa integra dos estructuras de distinto origen (base de cráneo y ectocráneo), por lo que puede recuperar parte de la información registrada en estructuras como la cara y bóveda en el punto n. Es por esto que aceptamos que la base de cráneo es una

estructura independiente ontogénicamente y su desarrollo no es influenciado de manera significativa por el resto de las estructuras que conforman la cabeza del individuo adulto (Liebermann 2000). Asimismo, el estudio de la vista sagital a través de morfometría geométrica utilizando la función de mínimos cuadrados para generar la forma y tamaños centroides genera una covariación propia de la función lo cual podría estar explicando los cambios de forma ocurridos. Acogiéndonos a estos supuestos la estabilidad morfológica de la base de cráneo entre los grupos de deformados y no deformados evidenció diferencias no significativas (Figs. 3, 7, 10, 12 y 13).

La morfometría geométrica ha resultado una herramienta adecuada para el estudio de la forma de las estructuras del cráneo y más sensible que los registros angulares al separar forma y tamaño. Estas diferencias se deben fundamentalmente a la influencia del tamaño sobre los registros angulares y a la disminución del error en la toma de registros. La fuerte relación encontrada entre el mapa de homología total de base de cráneo y el que sólo incluye los valores del ángulo petroso, nos indica que el mapa que contenía los hitos del ángulo petroso entrega información de los cambios observados en base de cráneo y podrían ser esta estructura, la porción petrosa del temporal, la que guía el crecimiento y desarrollo del resto de las estructuras de base de cráneo. Además, podría sugerir una variación de toda la estructura en conjunto y que existiese un crecimiento

regional integrado por lo cual la reducción de hitos analizados entregaría la información necesaria para ver la variación total de toda la estructura. Ello se ve reforzado al observar en la función de placa delgada que los cambios de estructuras localizadas más importantes se observan en la porción petrosa del hueso temporal. Lo que podría dar pie para realizar estudios de covariación entre estructuras que conforman base de cráneo.

### **Dimorfismo sexual en base de cráneo**

Los resultados de este estudio revelan una gran estabilidad en la forma de base de cráneo tanto intra como interpoblacionalmente (entre ambos sexos). Los cambios encontrados se deben principalmente a los cambios producidos en el componente uniforme de la forma y se ven representados en parte como una diferencia de tamaño entre cráneo de hombres y mujeres, (Fig.12, Tabla III). Además, hay que recalcar que existió poca robustez en la discriminación de los individuos según sexo. La concordancia de la clasificación *a priori* y la obtenida al ocupar variables de morfometría geométrica (Relative warps) fue poco significativa ( $p=0,5$ ) lo que muestra la ausencia de diferencias significativas entre ambos sexos.

Se ha sugerido en trabajos anteriores la presencia de dimorfismo sexual en base de cráneo de mamíferos (Abdel-Rahman 2008, Schaefer 2004). No obstante, un estudio recientemente realizado por Amaral

(2008) en base de cráneo de delfines utilizando vista basal, muestra lo contrario. Sugiriendo de este modo que lo observado en vista basal, muestra patrones de crecimientos diferentes a aquellos observados en vista sagital. Por otra parte, en humanos se ha descrito un desplazamiento anterior de la porción posterior de la fosa hipofisiaria en el grupo de hombres comparado con las mujeres (Lestrel 2005). Además, se describió una rotación vertical de la porción basilar del clivus del occipital en hombres (Rosas 2002). Cabe destacar que los estudios citados anteriormente corresponden a análisis ocupando vista sagital del cráneo por lo cual, la comparación con este trabajo puede ser sesgada por este factor.

## Conclusiones

La base de cráneo es una unidad morfológica estable, la cual no es modificada por la deformación craneana intencional.

La utilización del ángulo petroso para determinar la variación de la orientación de la porción petrosa del hueso temporal con respecto de la línea media es muy sensible para determinar cambios en esta región de la base de cráneo. Es así como observamos diferencias significativas entre Erectos y Oblicuos. Sin embargo, estas diferencias eran pequeñas ya que no se expresaban al comparar los dos grupos antes nombrados con el grupo No deformado.

La variación de la forma observada en el grupo de individuos no deformados es similar a la existente en el grupo de individuos con deformación craneana intencional, es decir, no se apreciaron diferencias significativas en la forma de base de cráneo entre los dos grupos. Tampoco se apreciaron diferencias significativas en la forma de base de cráneo entre los grupos de deformados intencionales. A pesar de esto, se observan cambios en el patrón general de la forma de todos los individuos, expresados como un estrechamiento de la base del cráneo en el eje coronal y un alargamiento ántero posterior. Los cambios de estructuras localizadas de

base de cráneo son de una magnitud relativamente baja y se visualizan como una compresión de la porción petrosa del hueso temporal con una dirección anterior y medial. Además, se aprecia un alargamiento de la porción posterior de la base de cráneo, principalmente en la región cercana a la línea media.

Respecto del dimorfismo sexual, no se registraron diferencias significativas en la variación altamente localizada de la forma de base de cráneo entre hombres y mujeres, aunque sí se observaron diferencias estadísticamente significativas en el componente uniforme de la forma, asociado con la variación en el tamaño. La edad tampoco fue un factor modificador de la forma de base de cráneo en individuos adultos.

El registro del mapa de homología correspondiente al ángulo petroso fue tan sensible como el mapa de toda la base de cráneo para registrar cambios de forma de los distintos cráneos. A pesar de esto, existe una muy baja correlación entre los registros angulares y los morfométricos

## Resumen

La deformación craneana intencional es una práctica de origen cultural realizada durante aproximadamente 5000 años por la Cultura Arica, esta costumbre biocultural causa la alteración permanente de la forma externa del cráneo humano a través de la modificación de sus patrones de crecimiento y desarrollo.

Objetivo: Conocer el efecto de los distintos tipos de deformación craneana intencional en la forma de la base de cráneo, en vista basal, de cráneos arqueológicos.

Materiales y Métodos: Se analizaron las vistas basales de 72 cráneos pertenecientes a la Cultura Arica. Estas fueron separadas en cinco grupos, según tipo de deformación craneana intencional que presentaban, de acuerdo a los criterios de clasificación de Dembo-Imbelloni (1938): Tabular erecto, Tabular oblicuo, Circular erecto, Circular oblicuo y No deformados. El grupo de estudio fue analizado usando morfometría geométrica 2D para establecer las diferencias de forma y tamaño entre los distintos grupos, usando un mapa de homología que incluía los hitos más representativos de las estructuras pertenecientes a base de cráneo. Además en cada uno de

los individuos se determinó el valor del ángulo petroso y se compararon los resultados en cada uno de los grupos estudiados.

Resultados: No se encontraron diferencias significativas en la forma de la base del cráneo en vista basal entre los cráneos deformados y no deformados ( $p = 0.451$ ), Las diferencias encontradas entre los distintos grupos de deformaciones craneanas intencionales (Erectos-Oblicuos-No deformados) y entre sexos son explicables por la variación del componente uniforme de la forma que se relaciona con las diferencias de tamaño entre los grupos.

Conclusiones: Los resultados corroboran que distintos tipos de deformación intencional de la bóveda del cráneo no determinan cambios en la forma de la base de éste, tampoco existen variaciones debido al sexo o la edad de los individuos, en un análisis de base de cráneo en vista basal.

Palabras Claves: Deformación craneana intencional, base de cráneo, Crecimiento y desarrollo máxilo facial.

## Bibliografía

Abdel-Rahmana E. et al 2008 Geometric craniometric analysis of sexual dimorphism and ontogenetic variation: A case study based on two geographically disparate species, *Aethomys ineptus* from southern Africa and *Arvicanthis niloticus* from Sudan (Rodentia: Muridae) *Mammalian Biology* (article in press, accepted 27 June 2008)

Amaral Ana et. al. (2008) Cranial shape differentiation in three closely related delphinid cetacean species: Insights into evolutionary history *Zoology* (Article in press accepted 6 March 2008)

Anton, S. 1989 Intentional cranial vault deformation and induced changes of the cranial base and face. *American Journal of Physical Anthropology* 79:253-267

Anton, S.C., C.R. Jaslow y S.M. Swartz 1992 Sutural complexity in artificially deformed human (*Homo sapiens*) crania. *Journal of Morphology* 214:321-332.

Aufferheide A., I. Muñoz y B. Arriagada 1993 Seven Chionchorro mummies and the prehistory of northern Chile *Am J Phys Anthropology* 91(2):189-201

Bastir, M., Rosas A. y Kuroe K. 2004 Petrosal orientation and mandibular ramus breadth: evidence for integrated petroso-mandibular developmental unit. *American Journal of Physical Anthropology* 123:340-350

Bastir, M., Rosas, A. 2006 Correlated variation between the lateral basicranium and the face: A geometric morphometric study in different human groups. *Archives oral Biology*. Sep;51(9):814-24

Bastir M, et.al 2008. Human craniofacial sphericity: A simultaneous analysis of frontal and lateral cephalograms of a Japanese population using geometric morphometrics and partial least squares analysis *Archives of Oral Biology*, Volume 53:295-303

Bienvenu T., Charles C., Guy F., Lazzari V., Viriot L. 2008 Diversity and evolution of the molar radicular complex in murine rodents (Murinae, Rodentia) *Archives of Oral Biology* vol. 53:1030 – 1036

Bookstein, F. 1991 Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology. *Cambridge University Press*, Cambridge.

Chang H.P., et al 2005 Maxillofacial Growth in Children with Unilateral Cleft Lip and Palate following Secondary Alveolar Bone Grafting: An Interim Evaluation *Plastic and Reconstructive Surgery*, March, Vol. 115, No. 3. pp 687-695

Dembo, A., J. Imbelloni 1938 Deformaciones intencionales del cuerpo humano de carácter étnico. J. Anesi, Buenos Aires. 339 p., p.229-339

Enlow, D. 1992 Crecimiento Maxilofacial. Editorial McGraw-Hill Interamericana, México 575p., p. 109, 240-258.

Harvati K. 2003 Quantitative Analysis of Neanderthal Temporal Bone Morphology Using Three-Dimensional Geometric Morphometrics. *American Journal of Physical Anthropology* 120p., p. 323–338

Hidalgo, J. Et. Al. Ed. 1993 Culturas de Chile, Prehistoria. *Editorial Andres Bello Chile*. 460p., p.1-220.

Lestrel P.E., et. Al 2005 Sexual Dimorphism in the Japanese Cranial Base: A Fourier-Wavelet Representation *American Journal of Physical Anthropology* vol. 128, nº3, pp. 608-622 [

Lieberman, D., Pearson, O. y Mowbray, K. 2000 Basicranial influence on overall cranial shape *Journal Human Evolution* 38(2):291-315

Lockwood C., Lynch J., Kimbel W. 2002 Quantifying temporal bone morphology of great apes and humans: an approach using geometric morphometrics *Journal Anatomy* 201, pp447-464

Loy A., L. Mariani, M. Bertelletti y L. Tunesi 1998 Visualizing allometry: geometric morphometrics in the study of shape changes in the early stages of the two-banded sea bream, *Diplodus vulgaris* (Perciformes, Sparidae). *Journal of Morphology* 237:137-146.

Luci Ann et. al 1993 Effects of Annular Cranial Vault Modification on the Cranial Base and Face *American Journal of Physical Anthropology* 90:147-168

Manriquez, G., Gonzales-Bergaz, F., Salinas, J.C. *et al.* 2006 Deformación intencional del craneo en poblaciones arqueológicas de Arica, Chile: Análisis preliminar de morfometría geométrica con uso de radiografías craneofaciales. *Chungará (Arica)*, vol.38, no.1, p.13-34.

Mikinori O. 2006 Relationship between anteroposterior cranial vault deformation and mandibular morphology in a pre-Columbian population *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 130 :535-539

Mostny, Grete. 1999 Pre-historia de Chile. Editorial Universitaria, Santiago Chile. 184p. p.11-19, 74-107

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

O'Higgins, P. 2000 The study of morphological variation in the hominid fossil record: biology, landmarks and geometry. *Journal of Anatomy* 197:103-120.

Özbek, M. 2001 Cranial deformation in a subadult sample from Degirmentepe Chalcolithic, Turkey. *American Journal of Physical Anthropology* 115:238-244.

Rhode M. 2002 Cranial deformation and measurement stability among prehistoric south central Andean populations. Anthropology Dept., *University of Missouri, Columbia, Columbia, MO 65211, Columbia, MO, 65203, USA.*

Rohlf, F.J. y L. Marcus 1993 A revolution in morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution* 8:129-132.

Rosas A., Bastir M. 2002 Thin-Plate Spline Analysis of Allometry and Sexual Dimorphism in the Human Craniofacial Complex *American Journal of Physical Anthropology* 117:236–245 (2002)

Santoro, Calogero y Liliana Ulloa. 1985. Culturas de Arica. Santiago: *Universidad de Tarapacá, Instituto de Antropología y Arqueología. Ministerio de Educación, Departamento de Extensión Cultural*, 104 p.

Schaefer K., Mitteroecker P., Gunz P., Bernhard M, Bookstein F. 2004. Craniofacial sexual dimorphism patterns and allometry among extant

hominids

*Annals of Anatomy, Volume 186, Pages 471-478,*

Singh GD, McNamara JA Jr. Losanoff S. 1997 Finite element analysis of the cranial base in subjects with Class III malocclusion. *Br. Journal Orthodontics* 24(2):103-12

Singh G.D., Rivera-Robles J, Jesus-Vinas J, Longitudinal 2004. Craniofacial Growth Patterns in Patients With Orofacial Clefts: Geometric Morphometrics *Cleft palate-craniofacial journal* . 41(2):136-43

Singleton M. 2001 Patterns of cranial shape variation in the Papionini (Primates: Cercopithecinae). *Journal of Human Evolution* 42, 547-578

Weiss, Pedro. Tipología de las deformaciones cefálicas de los antiguos peruanos, según la osteología cultural. *Revista del Museo Nacional.-tomo XXXII/ Lima / 15-42. 1962*

Standen, V., Santoro, C. y Arriaza, B. 2004 Síntesis y propuestas para el periodo arcaico en la costa del extremo norte de Chile *Chungará (Arica)*, vol.36 supl, p.201-212.

Weiss, P. 1961 Osteología Cultural. Prácticas cefálicas, Segunda Parte. *Anales de la Facultad de Medicina (Lima)* 140p., p.1-55 101-113.

White, C.D. 1996 Sutural effects of fronto-occipital cranial modification. *American Journal of Physical Anthropology* 100:397-410

