



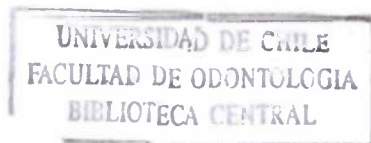
UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
ESCUELA DE GRADUADOS
PROGRAMA DE MAGISTER EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS
FISIOLOGÍA Y PATOLOGÍA DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO MÁXILO FACIAL

**“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”**

(FINANCIADO PARCIALMENTE POR PROYECTO FONDECYT N° 1050279)

JUAN CARLOS SALINAS CASTRO

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGISTER EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS



TUTOR RESPONSABLE:
PROF. DR. GERMÁN MANRÍQUEZ SOTO (PhD)
Programa de Genética Humana
Instituto de Ciencias Biomédicas (ICBM)
Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

8476

SANTIAGO – CHILE
2010

Con todo amor...

A Iris, mi flor amada,
A María Paz y Pablo Andrés, mis regalos de Dios,
A Mima Irma, mi guía sabia de los primeros años,
A Esmeralda y Rubén, mis ángeles custodios.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer en forma muy especial a mi tutor y amigo, el Prof. Dr. Germán Manríquez Soto, por su profundo compromiso académico y la confianza depositada en mí para dirigir esta tesis, pues sin su rigurosidad, paciencia y vastos conocimientos en una variedad de temas, muchos de ellos lejanos y nuevos para mí, este trabajo jamás podría haberlo realizado. Además, le agradezco la oportunidad de participar como Co-investigador en un proyecto Fondecyt que dirigió, y ahora como Investigador Asociado en su proyecto ANILLOS, ambas experiencias muy valiosas que me han enseñado cómo se hace, realmente, Investigación Científica en la práctica.

Agradezco también a mis queridos colegas, los Drs. Fermín González, Alejandro Díaz y Viviana Toro, quienes también se entusiasmaron con la morfometría geométrica y que directa e indirectamente, no sólo me ayudaron en la realización de este trabajo, sino que juntos con los aprendizajes y discusiones, hemos posicionado el tema odontológico como objeto de estudio dentro del Laboratorio de Morfometría Geométrica del Departamento de Genética Humana de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile, del cual el Dr. Manríquez es el director.

Quisiera mencionar en mis agradecimientos al arqueólogo curador de la colección Manuel Blanco Encalada, el Sr. Oscar Espouey por su buena disposición y tiempo dedicado para introducirme en el contexto prehispánico de Arica y facilitar el uso de los cráneos para este estudio.

Por último, pero no por eso menos importante, es mi agradecimiento a todos los integrantes de la Unidad de Radiología del Servicio Dento-Máximo-Facial del Hospital Clínico, Universidad de Chile, representados por su Jefa la Dra. Rita López, por sus sabios consejos técnicos y excelente disposición para ayudarme en la toma radiográfica de los cráneos.

Finalmente, agradezco a Dios por permitirme gozar de la vida al hacer lo que más me gusta.

ÍNDICE

Página

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes del Problema	
2.2. Planteamiento del Problema	
2.3. Relevancia del Problema	
3. HIPÓTESIS	19
3.1. Hipótesis Estadísticas	
3.2. Hipótesis Biológicas	
4. OBJETIVOS	20
4.1. Objetivo General	
4.2. Objetivos Específicos	
5. MATERIAL Y MÉTODOS	22
5.1. Descripción de la Muestra	
5.2. Selección de los Especímenes	
5.3. Asignación de los Especímenes	
5.4. Diseño de la Investigación	
5.5. Variables	
5.6. Análisis Estadístico	
5.7. Delimitaciones	
5.8. Instrumentos de Medición y Técnicas de Obtención de Datos	
5.9. Limitaciones	
6. RESULTADOS	34
7. DISCUSIÓN	56
8. CONCLUSIONES	65
9. RESUMEN	66
10. BIBLIOGRAFÍA	67
11. ANEXO (Glosario de Términos para Morfometría Geométrica)	73

1. INTRODUCCIÓN

Desde los albores de la humanidad, el hombre se ha interesado por la representación gráfica de las formas presentes en la naturaleza, en especial de la figura humana, plasmada en el arte rupestre. Sin embargo, sólo hasta que esta observación se realizó por medios cuantitativos y con fines científicos es que surgió la Antropometría, término acuñado por el matemático belga Quetlet en 1870, y que se define como la disciplina que busca estimar, mediante la medición de distancias entre hitos anatómicos, la variabilidad morfológica del ser humano normal, para contrastarlo con aquel que presenta alteraciones o anomalías.

Una rama de la Antropometría es la Craneometría, dedicada a estudiar las dimensiones cráneo-faciales. Ésta, junto con la Radiología Clínica, permitieron el desarrollo de la Cefalometría, uno de los exámenes complementarios más utilizados por aquellas especialidades odontológicas que tienen por misión recuperar la forma y función de estructuras máxilo-faciales alteradas o perdidas. Al visualizar no sólo el contorno externo de la cabeza, sino que también su arquitectura ósea (pilares y arbotantes), se aumentó la cantidad de mediciones, permitiendo comprender mejor la complejidad de la arquitectura ósea y explicar mejor la variabilidad morfológica cráneo-facial externa. Sin embargo, debido a que los distintos cefalogramas se basan en normas poblacionales de origen caucasoide, no es posible aplicarlos en forma estricta a la población chilena, eminentemente mestiza, considerándose sólo como referencia y complementarios a la evaluación clínica. Por otro lado, la utilización de medidas de distancia lineal y angulares, muchas de ellas redundantes, es decir, que se sobreponen al obtener la medida total de un objeto, aumentando de forma espuria los grados de libertad y disminuyendo la significancia estadística al analizar las variables que determinan la modificación de la forma cráneo-facial. Es por esto que el uso de técnicas de Morfometría Geométrica aplicadas a telerradiografías cráneo-faciales complementaría el aporte dado por

la cefalometría, mejorando la visualización particular de los cambios morfológicos y la interpretación de las eventuales causas que los determinan.

La Morfometría Geométrica sería además, especialmente útil en el análisis de sujetos que presenten cambios extremos en su conformación, debido a que estos casos quedan fuera de los rangos habituales de las normas cefalométricas. Un ejemplo de esto, son los cráneos que presentan deformación intencional, característicos de las poblaciones prehispánicas costeras y agro-alfareras del norte árido de Chile. La deformación intencional del cráneo (DIC) se define como el proceso de modificación del patrón de crecimiento y desarrollo calvarios (morfogénesis cráneo-facial), mediante el uso de aparatos deformadores fijos o flexibles en los estados iniciales del desarrollo neonatal, cuya principal consecuencia es la alteración en magnitud y dirección de los vectores que describen la forma del cráneo (Manríquez *et al*, 2006). Como consecuencia de esta intervención, es esperable una modificación de la estructura arquitectural ósea cráneo-facial en relación a este estímulo biomecánico.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Problema

2.1.1 El Estudio de la Forma Cráneo-Facial en Odontología

El primer intento de medir el área facial que registra la literatura, fue realizado por Camper en 1768. Casi un siglo después, Pritchard en 1843, pudo clasificar la forma de la cara según la prominencia del perfil, en prognata y retrognata. En 1884, en la ciudad de Frankfurt, Alemania, se aceptó la propuesta de Von Ihering de utilizar un plano horizontal de referencia para la orientación y estudio del cráneo. Por otro lado, sólo a un año después del descubrimiento de los rayos X por Roentgen, Welckler en 1896, fue el primero en destacar la utilidad de la radiografía en el estudio del perfil facial. Sin embargo, fue Paccini en 1922, el primero en estandarizar las imágenes radiográficas, colocando a los sujetos a una distancia de 1,5 metros del tubo de rayos X, y el primero en utilizar el término *cefalometría* para referirse a la antropometría radiográfica de la cabeza humana. Ésta se basa en identificar puntos o relieves óseos (hitos), fácilmente reconocibles, para medir ángulos y dimensiones lineales del cráneo y la cara (Aguila, 1996).

Posteriormente, distintos autores han propuesto sus propios trazados cefalométricos, dependiendo de la importancia que cada uno de ellos otorga a cada hito, ángulo o distancia en particular (Downs, 1948, 1952, 1956; Steiner, 1953, 1959, 1960; Ricketts, 1960, 1972; Jarabak *et al*, 1972; Delaire, 1978; McNamara, 1984) (Fig.1). De este modo, la cefalometría se basa en el análisis de la posición relativa de los distintos hitos anatómicos definidos como relevantes para entregar información acerca de una posible maloclusión o condición esquelética determinada. Cabe señalar que los distintos enfoques cefalométricos se basan en estudios poblacionales cuya norma establece valores promedio con sus respectivas desviaciones estándar. Por lo tanto, su

aplicación clínica consiste en comparar en qué medida los valores cefalométricos que presenta un individuo difieren de estos valores promedio.

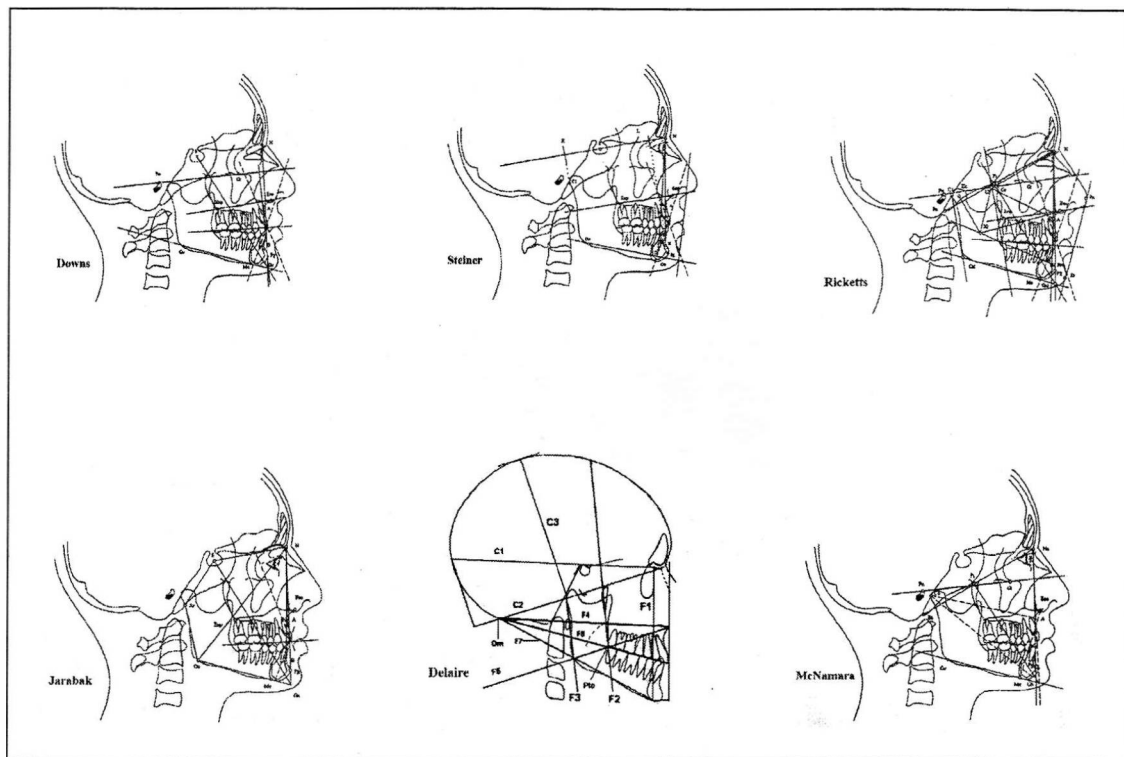


Figura 1: Distintos trazados cefalométricos según su autor (Águila, 1996).

La cefalometría además, ha contribuido de manera fundamental al estudio del crecimiento y desarrollo de las estructuras cráneo-faciales. En este aspecto destacan los trabajos pioneros de Broadbent (1937), Brodie (1941) y Björk (1947), quienes obtuvieron registros radiográficos de un mismo individuo en diferentes momentos de su desarrollo y luego al superponerlos, describieron cuantitativa y cualitativamente los cambios morfológicos producidos. Posteriormente, otros autores han descrito los cambios ontogenéticos de cara y cráneo (Pancherz *et al*, 2004), e incluso han estudiado sus cambios morfológicos en presencia de malformaciones congénitas y deformaciones dento-esqueléticas. (Cortés *et al*, 2006; Paraque, 2000). Particularmente, este

aplicación clínica consiste en comparar en qué medida los valores cefalométricos que presenta un individuo difieren de estos valores promedio.

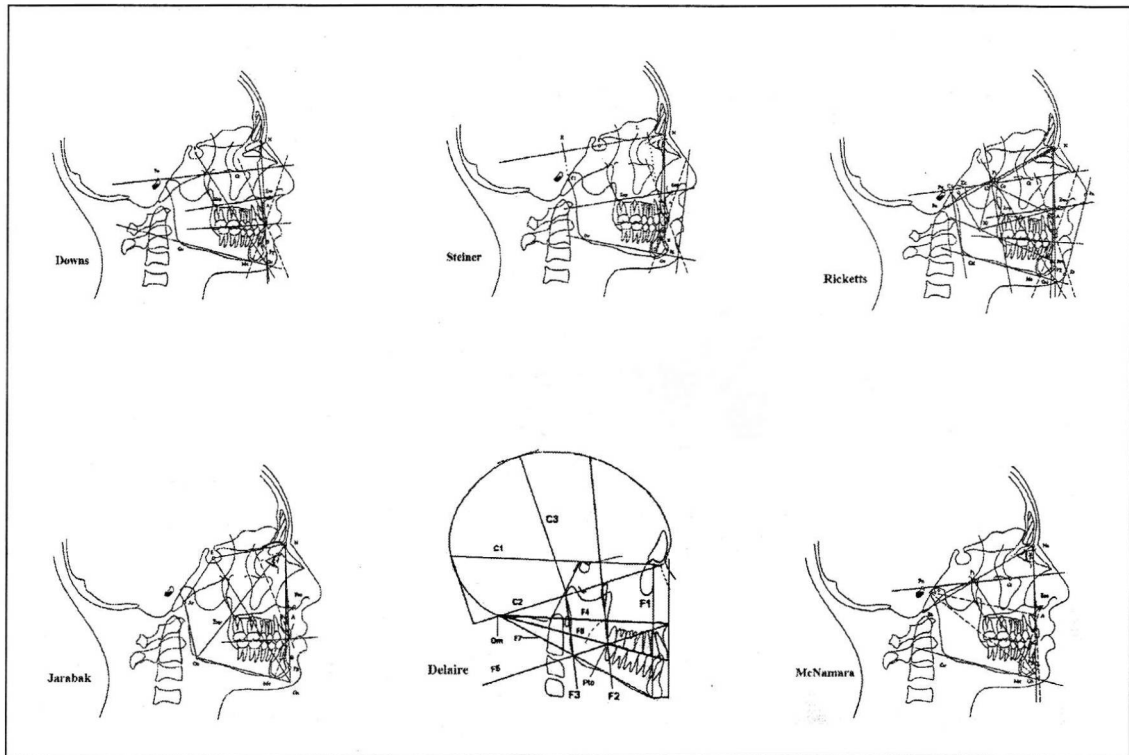


Figura 1: Distintos trazados cefalométricos según su autor (Águila, 1996).

La cefalometría además, ha contribuido de manera fundamental al estudio del crecimiento y desarrollo de las estructuras cráneo-faciales. En este aspecto destacan los trabajos pioneros de Broadbent (1937), Brodie (1941) y Björk (1947), quienes obtuvieron registros radiográficos de un mismo individuo en diferentes momentos de su desarrollo y luego al superponerlos, describieron cuantitativa y cualitativamente los cambios morfológicos producidos. Posteriormente, otros autores han descrito los cambios ontogenéticos de cara y cráneo (Pancherz *et al*, 2004), e incluso han estudiado sus cambios morfológicos en presencia de malformaciones congénitas y deformaciones dento-esqueléticas. (Cortés *et al*, 2006; Paraque, 2000). Particularmente, este

último análisis llamado Análisis Arquitectural y Estructural Cráneo-facial, descrito por Jean Delaire (1978), se basa en el estudio de las relaciones proporcionales del cráneo y la cara, expresadas en la ubicación espacial de hitos que definen radiológicamente, los pilares y arbotantes de la región máxilo-facial, para así definir relaciones cráneo-máxilo-mandibulares de equilibrio arquitectural y biomecánico (Bruhn, 1944; Delaire, 1976; Delaire y Salagnac, 1977) (Fig.2).

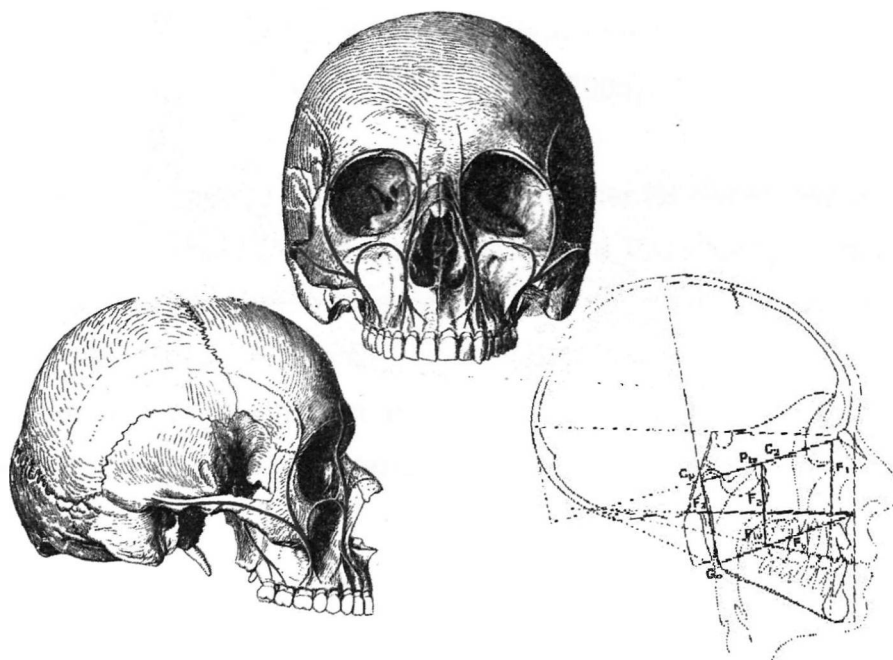


Figura 2: Disposición arquitectónica de pilares y arbotantes óseos máxilo-faciales (Bruhn, 1944) y su representación cefalométrica según Delaire (Delaire, 1978).

El análisis de Delaire no está basado en promedios poblacionales, sino que estudia de manera individual las posibles causas que contribuyen al desarrollo de una determinada arquitectura cráneo-facial, reconociendo la variabilidad de los sujetos en términos biológicos y las interacciones que podrían estar presentes entre las distintas unidades funcionales que conforman el sistema cráneo-facial (Enlow *et al*, 1998). Por lo tanto, a diferencia del resto de los cefalogramas, este análisis ofrece una visualización directa de las

desviaciones que presentaría un individuo determinado respecto de su propia configuración ideal. (Delaire, 1981). Es por esto último que, en estricto rigor, el Análisis Estructural y Arquitectural de Delaire no debiera considerarse como una cefalometría más.

Por otro lado, los análisis cefalométricos en general, se basan en la observación del desplazamiento lineal de los parámetros mencionados, con respecto a una norma definida habitualmente en población de origen caucásico, la cual se ha demostrado que difiere significativamente con mediciones obtenidas de la población chilena actual (Silva *et al*, 2005).

De este modo, se puede concluir que fundamentar las decisiones clínicas odontológicas y la interpretación de los resultados de investigación científica, exclusivamente en la cefalometría telerradiográfica, con excepción del análisis arquitectural y estructural de Delaire, son insuficientes para analizar las variables que determinan la variación de la forma del cráneo en una población no caucásica (Moyers *et al*, 1979; Halazonetis, 2004)

2.1.2 Morfometría Geométrica y Odontología

A fines de la década de 1990 comenzaron a aparecer en la literatura un número cada vez mayor de artículos científicos que utilizaban nuevas técnicas de morfometría, empleadas inicialmente en ciencias básicas como biología evolutiva y antropología física, pero esta vez, sobre imágenes telerradiográficas de cráneos de pacientes en posición norma "*lateralis*". Se trata de la Morfometría Geométrica (Slice, 2007), cuyo objetivo es mejorar la comprensión de las variables que determinan la forma cráneo-facial y complementar el aporte que hace la cefalometría para lograr una mayor precisión diagnóstica de las

deformaciones dento-esqueletales clase I, II o III de Angle (Halazonetis, 2004). Esta técnica además permite establecer relaciones de covariación ontogenética entre las distintas estructuras esqueléticas, tales como base de cráneo (Singh *et al*, 1997a; Lestrel *et al*, 2005), cuerpo mandibular (Singh *et al*, 1997b; Franchi *et al*, 2001), rama mandibular (Bastir *et al*, 2005), complejo naso-maxilar (Hennessy *et al*, 2002), etc., y evaluar de manera objetiva el efecto terapéutico de los distintos dispositivos ortopédicos utilizados en el manejo de las mismas deformaciones (Singh, 2002; Singh *et al*, 2003). Inclusive, la aplicación de la morfometría geométrica se ha extendido al estudio de las malformaciones congénitas como fisura labio-palatina (Singh *et al*, 2004; Chang *et al*, 2005a) y microsomía cráneo-facial (Hay *et al*, 2000; Cerajewska *et al*, 2002).

La Morfometría Geométrica se define como el análisis estadístico de la covarianza entre la forma y los factores causales que la modifican (Bookstein, 1991). En otras palabras, es el análisis multivariado de los componentes que definen la variación morfológica, una vez extraídos o particionados respecto del efecto del tamaño y la forma. Esta técnica se desarrolló gracias a la síntesis de la biometría clásica y las técnicas de transformación de grillas cartesianas de D'Arcy Thompson descritas en 1917. (Fig.3) (Rohlf & Marcus, 1993).

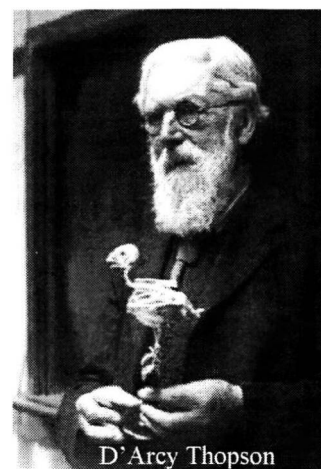
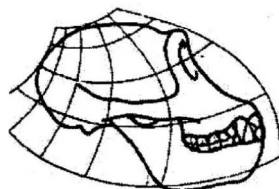
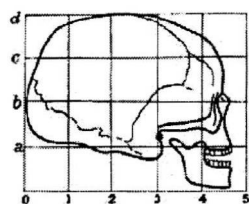


Figura 3: Transformación de grillas cartesianas de D'Arcy Thompson (Thompson, 1917).

El grupo internacional de investigación en Morfometría Geométrica (Bookstein, 1991) plantea las siguientes premisas: (ver en Anexo: Glosario de Términos para Morfometría Geométrica)

a) Uso de hitos de morfocoordenadas y contornos como datos primarios, con la construcción de espacios multidimensionales de los componentes de la forma (espacio de Kendall).

b) Remoción de las diferencias debidas a rotación, tamaño y traslación, y registro de la variación de la forma mediante sobreposición de hitos homólogos (Análisis Generalizado de Procrusto).

c) Obtención de un estimador del tamaño geométrico (Tamaño del Centroide), independiente de los estimadores de la forma (Componentes de Variación Uniforme y No Uniforme).

d) Representación geométrica del patrón de variación de la forma (Función de Placa Delgada) en morfoespacios de dos o tres dimensiones que recuperan la información espacial contenida en los objetos biológicos (Análisis de *Relative Warps*).

e) Puesta a prueba de hipótesis estadísticas y biológicas sobre la significancia de las diferencias entre grupos debido a la variación de los componentes de la forma y de las variables independientes que, eventualmente, explican dichas diferencias.

En otras palabras, la aplicación de la función de placa delgada (TPS - *Thin-plate spline function*) provee una medida altamente efectiva de visualización y una herramienta estadística para el análisis de las diferencias de

forma y tamaño (Rosas & Bastir, 2002). De entre todos los especímenes analizados una vez eliminado al mínimo las diferencias debidas a rotación, escala y traslación (Análisis de Procrustes), se obtiene una forma "promedio" denominada Configuración de Consenso, y un estimador geométrico del tamaño llamado Tamaño del Centroide, el cual es ortogonal a los componentes de la forma. Así, en el espacio morfométrico de Kendall (Fig. 4A), se genera una nueva matriz para cada individuo una vez alineados respecto del consenso, los que son proyectados a un plano tangente constituido por dos de los componentes de la forma, de manera análoga al análisis de componentes principales donde cada punto del bivariado representa a un individuo y su distancia morfométrica respecto del consenso. (Fig. 4B)

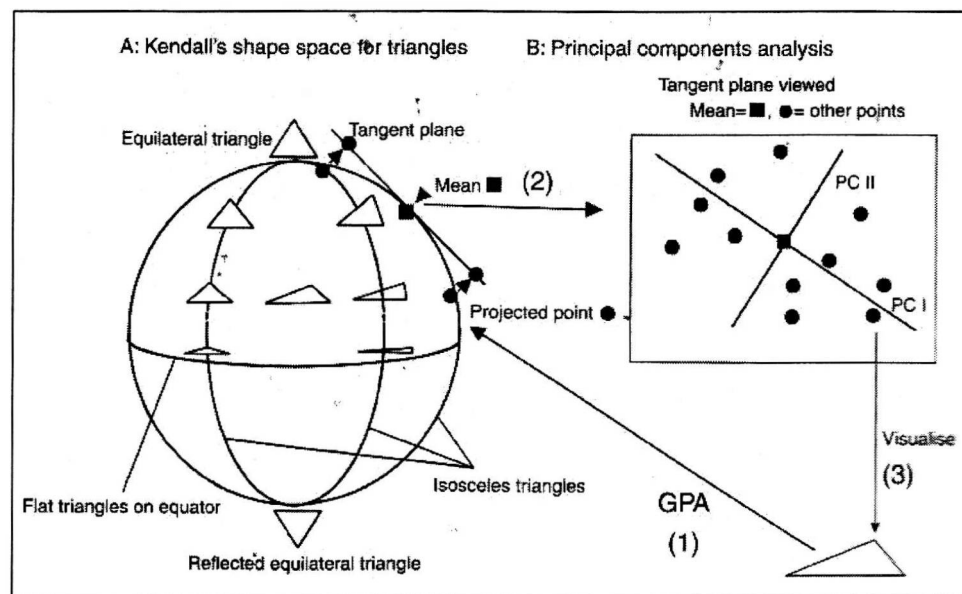


Figura 4: A. Representación gráfica del espacio de Kendall para la forma de triángulos.
B. Análisis de componentes principales en el plano tangente a dicho espacio. (O'Higgins, 2000)

2.1.3 La Deformación Intencional del Cráneo como Modelo Extremo del Cambio Biomecánico Cráneo-Facial

La Deformación Intencional del Cráneo (DIC) ha sido descrita en poblaciones humanas de distinto origen geográfico, períodos y culturas, desde el paleololítico superior hasta el siglo XX (Dembo & Imbelloni, 1938; Gerszten & Gerszten, 1995; Ozbek, 2001; Stewart, 1943; Weiss, 1961) (Fig.5A y 5B, a-e).



Figura 5A: Cráneos con deformación intencional del Musée Archéologique de Strasbourg, Francia. (Fotografía obtenida por JC Salinas)

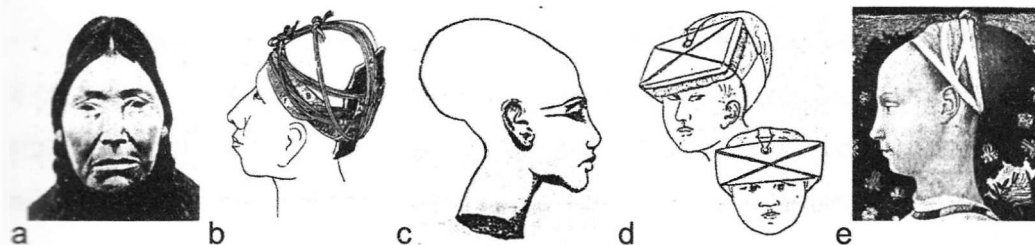


Figura 5B, a-e: Práctica de la deformación intencional del cráneo en distintas culturas y épocas (Dembo & Imbelloni, 1938; Gerszten y Gerszten, 1995; Ozbek, 2001; Stewart, 1943; Weiss, 1961)

En Chile, las poblaciones dedicadas sistemáticamente a la DIC se concentraron, por un lapso de al menos 4 mil años, en el norte árido de Arica, especialmente en la región de la costa y valles bajos e interiores (Allison *et al*, 1984; Aufderheide *et al*, 1994) (Fig.6, a-c).

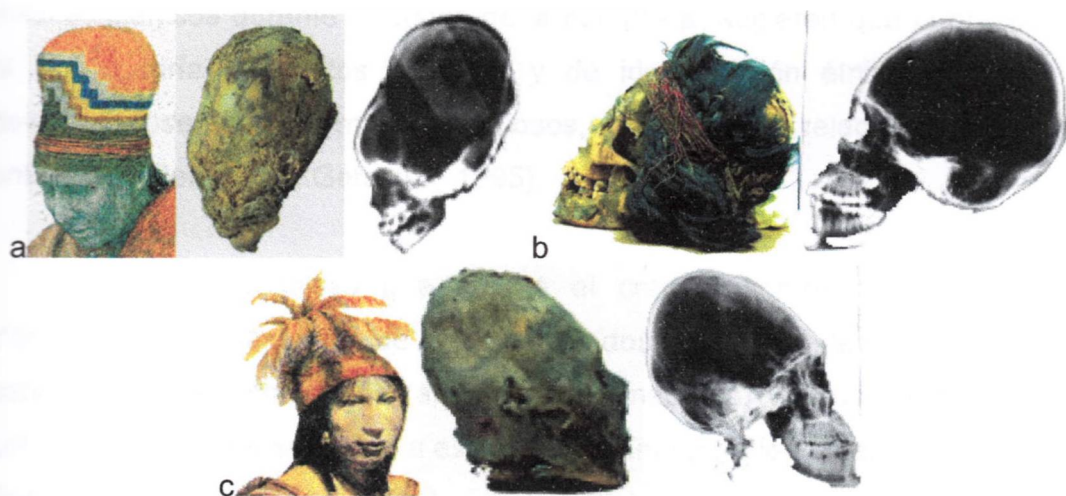


Figura 6, a-c: Visualización esquelética de distintos tipos de DIC. (Colección Manuel Blanco Encalada y sus radiografías del SDMF, Hospital Clínico U. de Chile, obtenidas en el marco de esta investigación).

La práctica de la DIC surge en Arica, durante el período Arcaico (9.000 – 4.000 AP), en el seno de las poblaciones costeras del complejo Chinchorro (Silva, 1980). Los restos de cráneos momificados y su correspondencia con turbantes que siguen la trayectoria de la cintura supramastoídea, sugieren el predominio, en este período, de los tipos circulares (anulares) (Munizaga, 1964b). Posteriormente, durante el período Intermedio Temprano (2.500 – 1.500 AP), se observa en las poblaciones de los valles bajos e interiores de Arica, la aparición de cráneos cuyos vectores de deformación tienen centro en las regiones lambdaídea y supralambdaídea, características de las DIC de tipo

tabular, tanto erecta como oblicua (*sensu* Imbelloni, 1925). No obstante, durante todo este período, las deformaciones circulares siguieron estando presentes, variando en dirección e intensidad. Aunque no existen evidencias que permitan establecer una relación directa entre el tipo de DIC y la cultura de las poblaciones que la practicaron, es interesante constatar que su surgimiento se asocia temporalmente con el término de las prácticas de momificación y que su diversidad aumenta en las poblaciones agro-alfareras.

Los antecedentes dejados por los cronistas que visitaron los pueblos mesoaltiplánicos durante la época de la conquista, sugieren que la práctica de la DIC tendría propósitos estéticos y de identificación étnica o social, no descartándose motivos mágico-religiosos, directamente relacionados con los anteriores (Gerszten & Gerszten, 1995).

La forma definitiva que adopta el cráneo, sometido a deformación intencional, es el resultado de la acción de dos factores: la tecnología aplicada para obtener la deformación (aparatos deformadores) y la condición biológica del individuo que es sometido a esta práctica. Independientemente del resultado final de la deformación, Dembo & Imbelloni (1938) agrupan los aparatos deformadores en dos categorías: a) aparatos cefálicos, que se caracterizan por comprimir la cabeza sin impedir directamente sus movimientos, y b) aparatos corporales, que exigen la fijación del cuerpo infantil, con la consiguiente limitación de su movilidad. En el caso de las poblaciones prehispánicas de Arica, tanto arcaicas como agro-alfareras (Allison *et al*, 1981b; Mendonça & Di Rienzo, 1982), se ha inferido la presencia de ambos tipos de aparato deformador, debiéndose la deformación del cráneo al efecto combinado de amarras flexibles (almohadillas, cintillos, turbantes y bandas de tejido) y sistemas de apoyo rígidos (tablas y escalerillas de madera) (Munizaga, 1964b; Munizaga, 1974) (Fig.7).

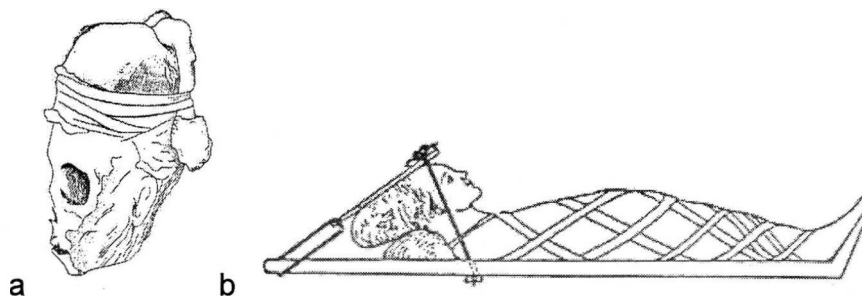


Figura 7: Tipos de aparatos deformadores del cráneo (Dembo & Imbelloni, 1938):
a) Cefálicos y b) Corporales.

Criterios de Clasificación de los Cráneos con Deformación Intencional

Respecto al tipo de deformación de poblaciones prehispánicas mesoaltiplánicas, existe consenso en aplicar ciertos criterios generales para su clasificación descrita por Dembo e Imbelloni (1938), y revisadas por Cocilovo (1994). Esta identifica cuatro tipos de deformación (Fig.8):

Tabular-Oblicua: Ejemplares con un plano oblicuo neto en la región iníaca y paralelo al frontal también aplanado y fuertemente inclinado. Esta reacción produce un evidente incremento de las anchuras y de la longitud, resultante de una compresión ántero-posterior con elementos firmes y poco flexibles (almohadillas o tablillas). El eje general de la forma se desplaza oblicuamente hacia atrás sobre el plano horizontal de Frankfurt.

Tabular-Erecta: Ejemplares con un plano vertical neto en la región lámbrica del occipital y paralelo a la línea imaginaria basión-bregma, el hueso frontal también se encuentra aplanado, y fuertemente inclinado o débilmente modificado. Esta reacción se manifiesta por un incremento en altura y en anchura, resultante de una evidente compresión ántero-posterior con elementos firmes y poco flexibles (cuna, almohadillas o tablillas). Las modificaciones son más evidentes a nivel del neurocráneo que en el esplacnocráneo. El eje general

de la forma es aproximadamente ortogonal con respecto al plano horizontal de Frankfurt.

Circular-Oblicua: Ejemplares con un aplastamiento ligero o marcado y en forma paralela del frontal y del occipital a nivel iníaco o infrainíaco, asociados en las zonas de mayor intensidad con un surco transversal perpendicular al eje general de la forma que en este caso se inclina hacia atrás más acentuadamente. Se restringe el desarrollo en altura y en anchura y se incrementa la expansión de la bóveda en sentido longitudinal. Se emplearon elementos de naturaleza flexible, exclusivamente, tales como cintas o cordones (*llautú*).

Circular-Erecta: Piezas con aplastamiento ligero o marcado del frontal en la forma de un surco curvo transversal, fundamentalmente en su parte media, y en el occipital a nivel lámbdico, semejando aquí un leve plano posterior. Restricción del crecimiento en longitud y en anchura, y presencia de una cintura o surco temporal con una reacción esencialmente manifestada por un incremento en altura y una expansión en el área obélica. El eje general de la forma está ligeramente inclinado hacia atrás con respecto al plano horizontal de referencia. Es el resultado de la aplicación de elementos flexibles como vendas, huinchas, cordones o cintas entrecruzadas combinadas con otros materiales menos plásticos en la parte posterior.

Sin Deformación y/o Deformados No Intencionales : Se incluye en esta categoría aquellos ejemplares aparentemente, libres de los rasgos morfológicos antes descritos, producidos por la acción de prácticas deformadoras específicas. El aspecto de la morfología total y particular de las regiones frontal, parietal y occipital es normal, considerando aquellos aplanamientos debidos al efecto de cuna.

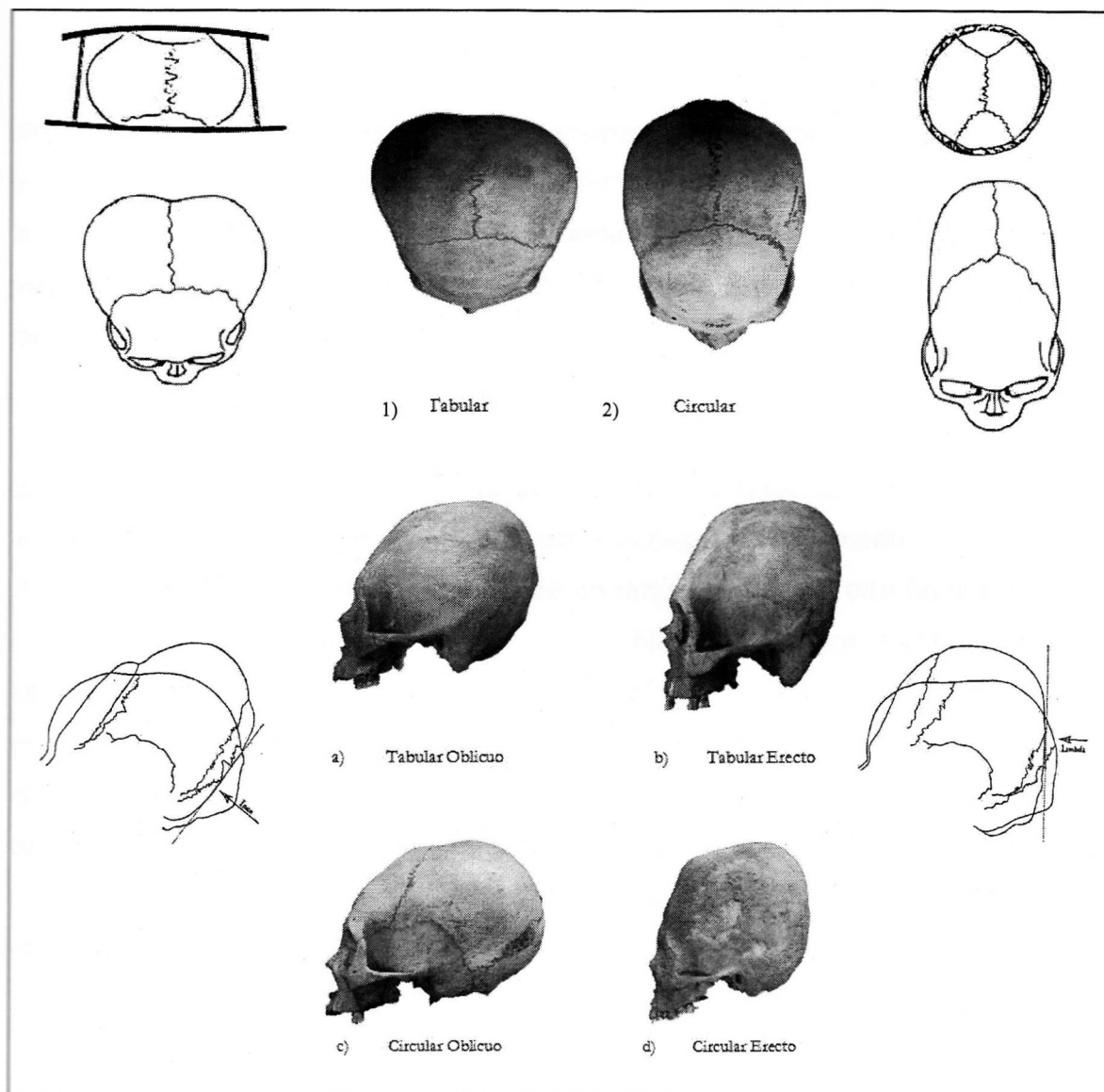


Figura 8: Tipos de deformación intencional del cráneo (Dembo e Imbelloni, 1938; Cocilovo, 1994; Torres-Rouff, 2007): 1) Tabular y 2) Circular; y sus variantes: Erecta y Oblicua (a,b,c,d). [Vistas coronales: 1- Cráneo AZ6 101-I, Museo San Miguel de Azapa, Arica; 2- Cráneo 18980, Pachacamac, Musée de l'Homme, París; Vistas laterales: a- Cráneo AZ6 T102, Museo San Miguel de Azapa, Arica; b- Cráneo AZ6 101-I, Museo San Miguel de Azapa, Arica; c- Cráneo 18980, Pachacamac, Musée de l'Homme, París; d- Cráneo AZ6 T123, Museo San Miguel de Azapa, Arica (Fotografías obtenidas en el Proyecto FONDECYT 1050279 por G. Manríquez)]

Por otra parte, los resultados obtenidos al aplicar las técnicas de la morfometría lineal multivariada en poblaciones del extremo austral de Chile, sugieren la total independencia entre el dimorfismo sexual y la deformación intencional del cráneo (Cocilovo, 1978; Varela *et al*, 1993). Este hallazgo se ha visto confirmado en las poblaciones prehispánicas de Arica, donde la frecuencia de cráneos con DIC no difiere significativamente entre ambos sexos.

Respecto de la influencia de la edad en el análisis de la variación calvaria, Varela *et al* (1990c), mostraron que las distancias métricas varían entre distintos grupos de edad postreproductiva (adulto, maduro y senil). Existen valores medios que aumentan de un rango de edad a otro (altura de la nariz, ancho de la apertura piriforme, ancho biorbitario, altura y ancho de la órbita, ancho fronto-malar, diámetro nasión-esfenobasiación y curva horizontal), mientras que otros, los menos, disminuyen (anchura máxilo-alveolar). Debido a que el ejercicio de la práctica de la deformación artificial ocurre antes de alcanzar la edad reproductiva, esta no debiera ser una variable que altere los resultados de las variaciones posreproductivas observadas en muestras de individuos adultos, maduros o seniles.

De acuerdo con Allison *et al* (1981b), la práctica de la deformación artificial no tendría consecuencias patológicas detectables. No obstante haber observado, en muchos casos, el cierre prematuro de algunas suturas, estos autores afirman no haber encontrado evidencias que les permitan suponer la ocurrencia de microcefalias u otras alteraciones en el desarrollo calvario de los individuos sometidos a la práctica de la DIC. Sin embargo, cuando analizaron poblaciones agro-alfareras del Valle de Azapa, hallaron un aumento significativo de la incidencia de huesos intercalares en la región de la sutura lambdoidea de los cráneos deformados artificialmente en comparación con los cráneos no deformados, lo cual estaría asociado con necrosis del hueso occipital. De acuerdo con los autores, la presión del aparato deformador habría colapsado

parcialmente el flujo sanguíneo, alterando potencialmente el normal desarrollo encefálico.

Los estudios de morfometría lineal han indicado que las consecuencias de la deformación se manifiestan principalmente en la bóveda con mínimas alteraciones en la base craneal y región facial. Para dilucidar esto, Cocilovo (1978) pudo identificar 10 medidas lineales que resumían las posibles estructuras sometidas a deformación. Estas constituyeron la base de numerosas investigaciones dirigidas a buscar afinidades biológicas de pueblos andinos prehistóricos y otras poblaciones de América del Sur. Sin embargo, Rhode (2002) sometió a prueba la estabilidad de dichas medidas, analizando 350 cráneos tanto deformados (circulares y tabulares) como no deformados, en similar proporción, de un total de 18 sitios arqueológicos del valle de Azapa. Concluyó que seis de las diez medidas varían significativamente por lo que, en general, se deberían a una mezcla de factores genéticos y culturales, lo que incorpora sesgos para su utilización. De allí la necesidad de utilizar una herramienta que permita separar los componentes de la forma independientes del tamaño, posición y rotación, de manera tal que se pueda estudiar el real impacto que tienen las variables de carácter biológico-culturales en la conformación arquitectural cráneo-facial.

2.2 Planteamiento del Problema

El propósito de esta investigación es conocer ¿Cuál es el efecto de la deformación intencional del cráneo, practicada por poblaciones prehispánicas del norte árido de Chile (Arica y Valle de Azapa), en la conformación morfológica del neurocráneo, la base craneal y la arquitectura ósea máxilo-facial?

2.3 Relevancia del Problema

Clínico-biológica: Contribuir a la comprensión del impacto de los estímulos biomecánicos sobre la morfología de la base craneal y arquitectura ósea máxilo-facial, utilizando vistas telerradiográficas laterales, técnica de amplio uso en odontología, pero incorporando un análisis de morfometría geométrica que tiene la ventaja de separar los componentes de forma y tamaño de los cuerpos y realizar análisis de co-variación de la forma del cráneo y cara, modalidad de incipiente uso en investigación en ciencias biológicas. Recientemente, se ha sugerido que la técnica de morfometría geométrica podría ser un aporte en la comprensión de la ontogenia de la base de cráneo (Lestrel *et al*, 2005) y en el análisis clínicos de individuos con alteraciones del crecimiento y desarrollo (Singh *et al*, 2004, Chang *et al*, 2005b).

Antropológica: Contribuir a la descripción óseo-arquitectural de las variables cráneo-faciales que presentan los cráneos prehispánicos de Arica depositados en el Museo Nacional de Historia Natural, Santiago. La investigación unifica líneas de investigaciones antropológicas y odontológicas, hasta ahora desarrolladas de manera independiente, y abre nuevas perspectivas teórico-metodológicas en el análisis de las posibles consecuencias que plantea la práctica de la deformación intencional.

Carácter Interdisciplinario: Posibilitar la integración entre las ciencias básicas (biometría y antropología física) y clínicas (oclusión y ortodoncia), que contribuyan a lograr un conocimiento más completo del ser humano actual y del pasado.

3. HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis Estadísticas

H₀: No existen diferencias significativas en las configuraciones morfométricas de la bóveda craneal (neurocráneo), base de cráneo y/o pilares arquitecturales del macizo máxilo-facial entre cráneos deformados intencionalmente y cráneos no deformados arqueológicos y actuales.

H₁: Las configuraciones morfométricas de la bóveda craneal (neurocráneo), base de cráneo y/o pilares arquitecturales del macizo máxilo-facial de cráneos deformados intencionalmente difieren significativamente de las configuraciones morfométricas de cráneos no deformados arqueológicos y actuales.

3.2 Hipótesis Biológicas

H₀: La deformación intencional del cráneo no produce cambios morfológicos en la bóveda craneal (neurocráneo), base de cráneo y/o en los pilares arquitecturales del macizo máxilo-facial distintos a los esperables por el efecto de las variables biológicas (sexo y edad) y/o espacio-temporales (sitio arqueológico y período cronológico).

H₁: La deformación intencional del cráneo produce cambios morfológicos en la bóveda craneal (neurocráneo), base de cráneo y/o los pilares arquitecturales del macizo máxilo-facial, distintos a los esperables por el efecto de las variables biológicas (sexo y edad) y/o espacio-temporales (sitio arqueológico y período cronológico).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Determinar el efecto de la deformación intencional del cráneo sobre la morfología de la bóveda craneal (neurocráneo), la base de cráneo y los pilares arquitecturales del macizo máxilo-facial, en vista telerradiográfica lateral, y su eventual asociación con variables biológicas y/o espacio-temporales.

4.2. Objetivos Específicos

1. Determinar los patrones de deformación intencional del cráneo en la muestra de poblaciones arqueológicas de Arica, depositada en el Museo Nacional de Historia Natural, y distinguirlos según sexo, edad, sitio arqueológico y período cronológico al que correspondan.
2. Comparar los valores lineales cefalométricos y de Índice Cefálico de los cráneos para cada patrón de deformación y para los no deformados arqueológicos y actuales.
3. Determinar la configuración morfométrica de los cráneos para cada patrón de deformación y para los no deformados arqueológicos y actuales.
4. Comparar las configuraciones de los cráneos que presentan deformación intencional con los cráneos de especímenes no deformados, utilizando el análisis de morfometría geométrica.

5. Contrastar estadísticamente los distintos patrones de deformación intencional del cráneo con las variables biológicas (sexo y edad) y espacio-temporales (sitio arqueológico y período cronológico), además del estimador geométrico del tamaño (tamaño del centroide), usándolos como vectores independientes a los componentes de la forma.
6. Determinar el efecto de la deformación intencional del cráneo en la forma de la bóveda craneal (neurocráneo), la base de cráneo y los pilares arquitecturales del macizo máxilo-facial, contrastadas con las variables independientes biológicas y espacio temporales.
7. Analizar la correlación de las variaciones observadas en la bóveda craneal (neurocráneo), base de cráneo y pilares arquitecturales del macizo máxilo-facial, e inferir sus probables consecuencias biomecánicas.
8. Contribuir a la puesta en valor de colecciones representativas del patrimonio cultural y biológico del país.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Descripción de la Muestra

La muestra original quedó constituida por un total de 220 especímenes esqueléticos de cráneos no deformados y con deformación intencional, de los cuales 150 pertenecen a la Colección Manuel Blanco Encalada, depositada en el Museo Nacional de Historia Natural de Santiago (MNHN-CMBE), formada por cráneos provenientes de sitios arqueológicos prehispánicos de la costa y valles bajos de Azapa (AZ), y 70 pertenecen a la Colección Cementerio General de Santiago, depositada en la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile (FACSO-CCG), correspondiente a una donación por parte de este organismo a dicha casa de estudios, y que es parte de un total aproximado de 900 esqueletos de individuos de estrato socioeconómico medio y bajo que habitaron la Región Metropolitana y que murieron durante la década de 1950. Esta colección fue exhumada en dos etapas durante la década de 1960 y en la década de 1980, con financiamiento del proyecto FONDECYT N°.1028-91.

Tabla 1: Descripción de la muestra total a estudiar.

UBICACIÓN	PERÍODO	SITIO DE ORIGEN	TAMAÑO
MNHN-CMBE	De Arcaico a Intermedio Tardío (6000 – 500 AP)	Valles bajos e interiores de Azapa	150
FACSO-CCG	Actual	Cementerio General, Santiago (colección de referencia)	70
TOTAL	220		

5.2. Selección de los Especímenes

Del total de la muestra descrita anteriormente, se seleccionaron sólo aquellos que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión planteados más adelante, quedando un total de 130 especímenes (100 de origen prehispánico y 30 actuales), conformando así tanto el grupo de estudio como el grupo control.

Criterios de inclusión:

- a) Muestras calvarias de especímenes de ambos sexos con o sin restos bioculturales.
- b) Muestras que presenten conservación de sus relaciones cráneo-faciales.
- c) Muestras que presenten integridad de las estructuras anatómicas que definen los hitos homólogos en la teleradiografía con norma *lateralis*.
- d) Individuos adultos con cierre de la sincondrosis esenooccipital (Powell & Brodie, 1963)).

Criterios de exclusión:

- a) Muestras calvarias de especímenes que no pertenezcan a las colecciones anteriormente definidas.
- b) Restos fragmentados o con discontinuidad de sus relaciones cráneo-faciales.
- c) Individuos infantiles con presencia de la sincondrosis esenooccipital abierta.

5.3. Asignación de los Especímenes

Grupo de estudio:

De los 150 especímenes prehispánicos, se seleccionó un total de 100 cráneos representativos de los distintos tipos de deformación (Tabular-Oblicuo, Tabular-Erecto, Circular-Oblicuo, Circular-Erecto y No Deformados como control arqueológico).

Grupo control:

De un total de 70 cráneos actuales, se seleccionaron 30 cráneos sin Deformación de especímenes actuales que se seleccionaron que cumplían con los criterios de inclusión e exclusión anteriormente señalados.

5.4. Diseño de la Investigación

Se realizó un estudio transversal, de casos y controles, donde se analizó el efecto de la deformación craneal intencional sobre la variación de la forma y su impacto sobre la configuración ósea arquitectural cráneo-facial con sus eventuales consecuencias biomecánicas.

5.5. Variables

Dependientes:

- Componentes de la Forma Cráneo-facial (relative warps, cf. ver en Anexo: Glosario de Términos para Morfometría Geométrica).

Independientes:

- Tipo de deformación intencional del cráneo
- Variables biológicas (sexo y edad)
- Variables espaciales (localidad geográfica)
- Variables temporales (período cronológico)
- Conformación morfológica de la bóveda craneal
- Conformación morfológica de la base de cráneo
- Conformación morfológica de los pilares arquitecturales del macizo máxilo-facial
- Tamaño del centroide
- Variables cefalométricas
- Biotipo cefálico

5.6. Análisis Estadístico

Para evaluar las diferencias en el Índice Cefálico se utilizó el análisis de diferencia de proporciones.

Para el análisis de los valores cefalométricos, previa confirmación de la distribución normal de los datos, se utilizó la prueba de ANOVA, análisis de varianzas para muestras independientes y el análisis *post hoc* a través del Test Scheffé para determinar entre cuáles se establecieron las diferencias.

Se realizaron pruebas estándares de estadística multivariada, especialmente útiles en el estudio de la variación de la forma a partir de matrices de morfocoordenadas como dato primario (Prueba de F generalizada según Goodall).

La comparación de las distintas configuraciones morfológicas se realizó por medio del análisis de distancia morfométrica, utilizando el análisis de agrupamiento Neighbor joining y el test de Mantel para establecer el grado de concordancia.

En todos los casos se eligió un nivel de significancia del 95% ($p < 0.05$).

5.7. Delimitaciones

Los resultados de la investigación serán válidos para aquellos especímenes de restos calvarios correspondientes a las poblaciones prehispánicas del valle de Azapa en Arica, que pertenecen a la Colección Manuel Blanco Encalada del Museo Nacional de Historia Natural de Santiago.

5.8. Instrumentos de medición y técnicas de obtención de datos

1.- Clasificación de los especímenes del grupo de estudio: Utilizando como base la clasificación de Dembo & Imbelloni (1938), revisada por Cocilovo (1994), y la asesoría experta del investigador en arqueología Sr. Oscar Espouey, curador de la Colección Manuel Blanco Encalada en el Museo Nacional de Historia Natural de Santiago (Fig.9), quien además participó en su excavación en la década de 1940s; se clasificó a los especímenes arqueológicos deformados en Tabulares-Erectos, Tabulares-Oblicuos, Circulares-Erectos, Circulares-Oblicuos, dejando como control arqueológico aquellos cráneos No Deformados o que presentaban una leve Deformación No Intencional, presumiblemente debida al efecto de cuna, sin que siguiesen un patrón regular como las deformaciones intencionales anteriormente descritas.



Figura 9: Colección Manuel Blanco Encalada en Museo Nacional de Historia Natural de Santiago.
(Fotografía obtenida por JC Salinas)

2.- Medición cráneo-facial y determinación del biotipo: Utilizando un pie de metro digital, y los cráneos orientados con el plano horizontal de Frankfurt paralelo al piso, se medieron los diámetros mayores del cráneo de acuerdo al siguiente índice (Fig.10):

$$\text{Índice Cefálico: } \frac{\text{diámetro transversal máximo} \times 100}{\text{diámetro longitudinal máximo}}$$

Según la magnitud de este índice, el cráneo se designa como:

Hiperdolicocefalo	χ - 71,4
Dolicocefalo	71,5 - 75,9
Mesocéfalo	76,0 - 80,9
Braquicéfalo	81,0 - 85,4
Hiperbraquicéfalo	85,5 - χ

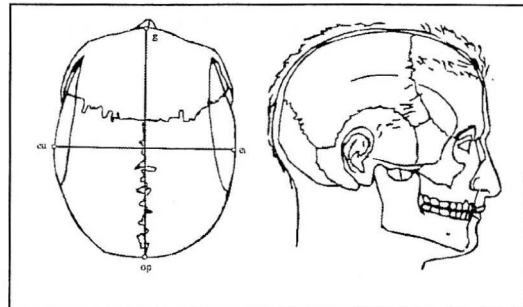


Figura 10: Índice Cefálico.

3.- Registro radiográfico: Las muestras calvarias depositadas en Santiago (MNHN-CMBE y FACSO-CCG) fueron telerradiografiadas en el Servicio Dento-Maxilofacial del Hospital Clínico de la Universidad de Chile, en norma anatómica lateral derecha con distancia foco-placa de 1,5 m. y empleo de cefalostato, en un equipo de telerradiografía *Siemens* (Nanodor-2). Considerando que se trata de cráneos secos, las condiciones de exposición fueron de 55 Kv en lugar de los habituales 75Kv para estas estructuras anatómicas en individuos vivos. Además se aplicó 15 mA y estandarizó a 0.5 seg. el tiempo de exposición, ocupándose un tiempo de revelado manual de 20 seg. a 23°C. (Fig.11).

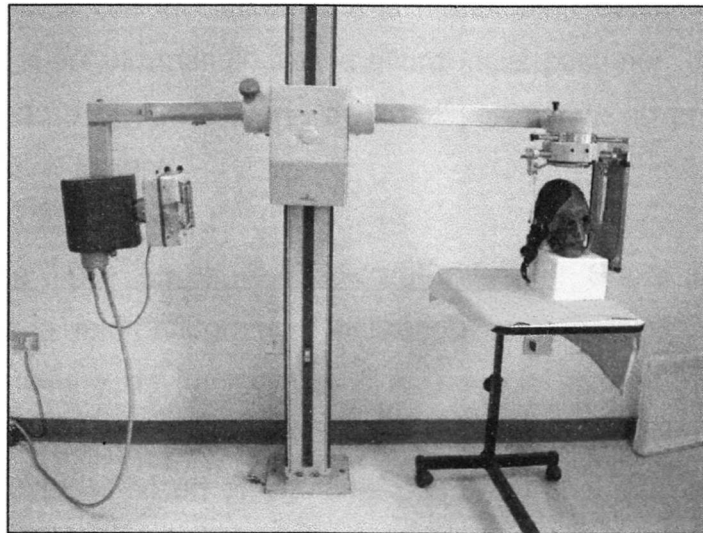


Figura 11: Equipo Siemens Nanodor – 2 del Servicio Dento Máxilo-Facial. Hospital Clínico Universidad de Chile.

4.- Trazado cefalométrico basado en el análisis arquitectural cráneo-facial de Delaire (1978): Sobre un papel poliéster fijo a la telerradiografía lateral y utilizando un mismo negatoscopio en condiciones estandarizadas, se determinaron 2 variables cefalométricas lineales y 4 angulares, obteniéndose sus promedios para analizarlos entre los grupos.(Fig. 12)

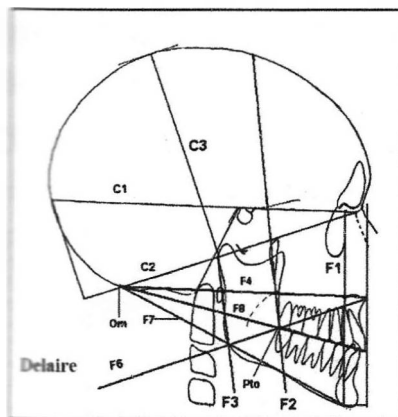


Figura 12: Análisis Arquitectural de Delaire.

- Largo de la base craneal inferior (mm)
- Altura de la bóveda craneal (mm)
- Ángulo de la base craneal posterior (115°-120°)
- Ángulo de la base craneal anterior (20°-22°)
- Ángulo del pilar anterior maxilar (♂ desde 90° y ♀ desde 85°)
- Ángulo de rotación maxilar (0° paralelas)

Aquellas medidas que involucraban a la mandíbula, respecto de la relación sagital intermaxilar, el ángulo mandibular, la altura facial posterior, etc. no pudieron ser registradas debido a que la mayoría de los especímenes no presentaba dicha estructura anatómica de la cara.

4.- Demarcación de hitos en la telerradiografía lateral: Sobre una lámina de transparencia fija a la telerradiografía y utilizando un negatoscopio estándar en condiciones ambientales y de luminosidad fijas, un sólo investigador previamente calibrado ($\kappa = 0,90$), ubicó y trazó los hitos anatómicos de acuerdo al mapa de homología empleado (descrito en el siguiente punto), el cual está basado en gran parte, en el Análisis Arquitectural Cráneo-Facial de Delaire.

5- Morfometría geométrica bidimensional: La obtención y análisis de los datos para morfometría geométrica se realizó según el siguiente algoritmo descrito por JF. Rohlf (2000, 2001, 2003a, 2003b):

a) Definición y construcción del mapa de hitos anatómicos equivalentes (homólogos) según Bookstein (1991), en vista telerradiográfica lateral derecha (Fig.14) (Tabla 2), con lo cual es posible definir las siguientes estructuras modulares:

Bóveda craneal (Neurocráneo): el polígono limitado por los hitos Glabella, Frontal, Bregma, Bóveda, Lambda, Occipital y Ophistion. (Fig. 13 a)

Base de cráneo: el polígono limitado por los hitos Apófisis Clinoideas Posterior, Basion, Pterigoideo y Frontomaxilar. (Fig. 13 b)

Pilares arquitecturales del macizo máxilo-facial: el polígono limitado por los hitos Frontomaxilar, Nasopalatino, Espina Nasal Posterior, Pterigoideo y Prosthion. (Fig. 13 c)

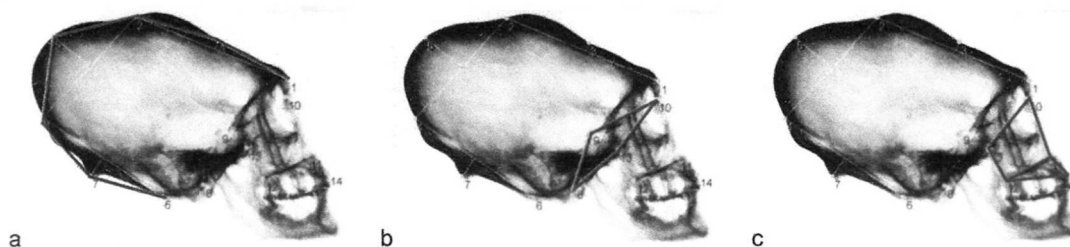


Figura 13: (a) Bóveda craneal, (b) Base de cráneo, (c) Pilares arquitecturales del macizo máxilo-facial.

Tabla 2: Nombre, definición anatómica, tipo (*sensu* Bookstein, 1991) y referencia bibliográfica de hitos cráneo-faciales (ubicación en Fig.14).

Hito	Nombre	Definición anatómica	Tipo	Referencia Bibliográfica
1	Glabela (Gl)	Punto más prominente y anterior del hueso frontal en la zona superciliar	III	Björk, 1947
2	Bregma (Br)	Sutura fronto-parietal	I	Delaire, 1978
3	Frontal (Fr)	Punto construido geoméricamente por la perpendicular, en el punto medio, de la línea recta que une Glabela y Bregma	*	Manríquez et al, 2006
4	Lambda (Ld)	Sutura parieto-occipital	I	Manríquez et al, 2006
5	Bóveda (Bd)	Punto construido geoméricamente por la perpendicular, en el punto medio, de la línea recta que une Bregma y Lambda	*	Manríquez et al, 2006
6	Ophistion (Op)	Borde posterior del foramen magno	I	Björk, 1947
7	Occipital (Oc)	Punto construido geoméricamente por la perpendicular, en el punto medio, de la línea recta que une Lambda y Ophistion	*	Utilizado para este estudio
8	Basión (Ba)	Proyección normal del punto anteroinferior del foramen mágnum	I	Björk, 1947
9	Apófisis clinoides posterior (Clp)	Punto más ántero-superior de las apófisis clinoides posteriores	II	Delaire, 1978
10	Frontomaxilar (Fm)	Punto de mayor radiopacidad a la altura de la sutura frontomaxilar	I	Delaire, 1978
11	Nasopalatino (Np)	Punto de entrada, en el piso nasal, del conducto nasopalatino	I	Delaire, 1978
12	Espina nasal posterior (Enp)	Punto de intersección entre el paladar duro y la fosa pterigopalatina	I	Björk, 1947
13	Pterigoideo (Pt)	Punto más póstero-superior de la fosa pterigomaxilar	III	Ricketts, 1982
14	Prostión (Pr)	Punto más anteroinferior del proceso alveolar maxilar	I	Björk, 1947

* Pseudohito

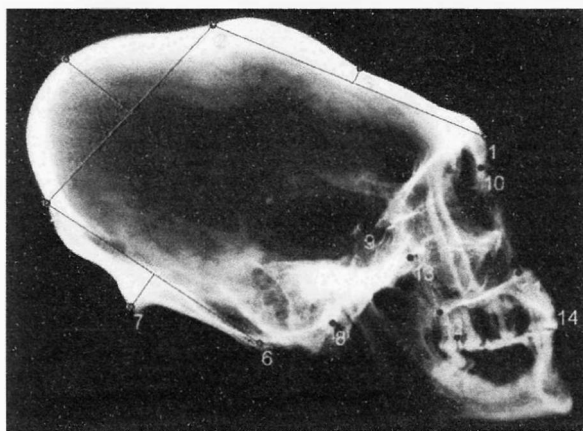


Figura 14: Ubicación y Secuencia de Digitalización de Hitos Homólogos.

b) Digitalización de cada uno de los hitos trazados en la transparencia, en orden secuencial de acuerdo al mapa de homología, por medio del Digitalizador MicroScribe modelo 3DX con brazo articulado y púa inscriptora, conectadas a un computador (Fig.15), en condiciones ambientales y de luminosidad fijas.

c) Obtención de matrices de datos bidimensionales (x_i, y_j) , donde cada espécimen corresponde una matriz 2D (Fig. 12), que se utilizará en el análisis de Procrustes y de función de placa delgada (Thin-Plate Spline, TPS) TPSDig, TPSUtil, TPSRw, TPSReg, y NTSYSp, serie de programas desarrollados por JF. Rohlf y de libre acceso desde el sitio web: <http://life.bio.sunysb.edu/morph>.

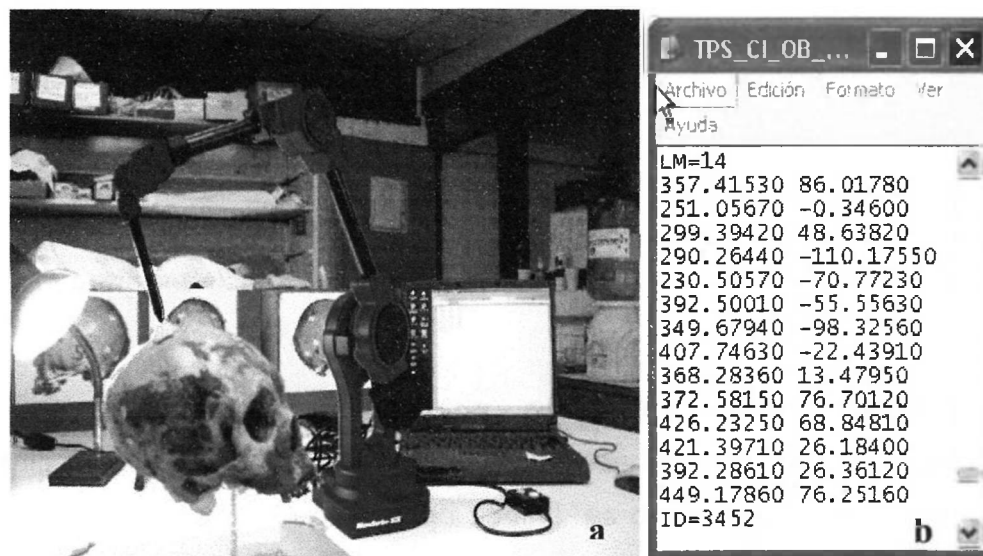


Figura 15: (a) Digitalizador MicroScribe modelo 3DX con brazo articulado y púa inscriptora (Fotografía de GM)
(b) Matriz de morfocoordenadas de 2 dimensiones (x,y) obtenida de una imagen radiográfica.

d) Análisis de las matrices de morfocoordenadas: Se utilizaron los programas *TPSspline* y *TPSRelWarp*, para estandarizar las distancias y comparar los desplazamientos entre hitos (*landmarks*), y mostrar las zonas de mayor variación de la forma según la métrica definida por Kendall (1984). Las matrices con los valores de las deformaciones parciales (*relative warps*) fueron utilizadas para efectuar un análisis de componentes principales cuyos ejes ortogonales son tangentes al espacio de Kendall (resultante de la remoción de las variaciones debidas a rotación, escala y traslación) y topologías con agrupamientos según distancias derivadas del Análisis Generalizado de Procusto (GPA). La significancia estadística de las diferencias se calculó con pruebas complementarias al análisis de componentes principales (prueba de "corte y unión" o de significancia de las diferencias entre la proporción de la varianza observada y esperada de los ejes de mayor aporte a la varianza) (Rohlf, 2000) (NTSYSpc). Como variable de tamaño relativo se utilizó el tamaño del centroide.

5.9. Limitaciones

Este estudio de morfometría geométrica sobre imágenes planas (telerradiografías) de estructuras tridimensionales (cráneo humano) explicaría los cambios observados sólo en el plano sagital, es decir, sentidos ántero-posterior y vertical.

6. RESULTADOS

DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA (Objetivo 1)

El registro telerradiográfico de la muestra arqueológica permitió reconocer el tipo de deformación y develar los hitos anatómicos calvarios ocultos por piel, cabellera o máscaras faciales de barro y/o totora, restos habitualmente presentes en este tipo de especímenes. (Figura 16)

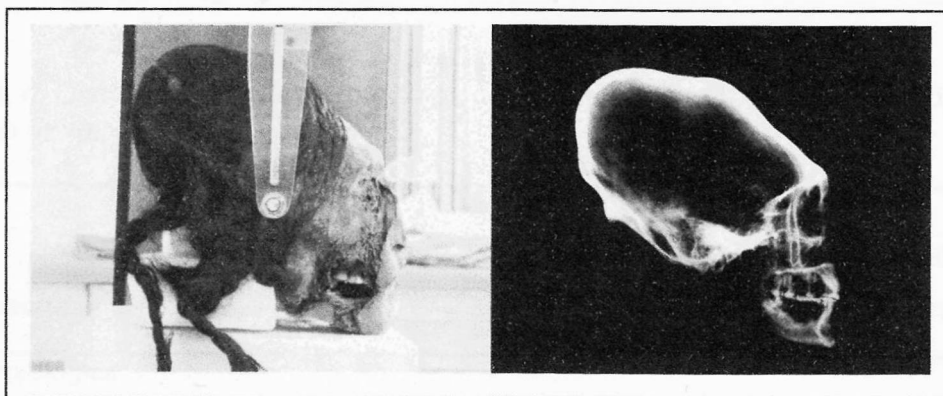


Figura 16: Telerradiografía Lateral de Cráneo en Norma Lateral Derecha.

De acuerdo con el objetivo específico 1, la muestra total en estudio quedó distribuida según sexo y edad, mientras que la muestra arqueológica además, fue clasificada según tipo de deformación, sitio arqueológico y período cronológico al que pertenecían. (Tabla 3 y 4)

Tabla 3. Distribución de la muestra arqueológica y actual

Muestra	n	Sexo		Patrón de forma craneal						Sitio	
		Masculino	Femenino	ND	DNI	TE	TO	CE	CO	Costa	Valle
Arqueológica											
Periodo Arcaico	7	1	6	3	2	1	0	0	1	7	0
Periodo Medio	26	18	8	2	1	5	14	2	2	0	26
P. Intermedio-tardío	52	35	17	10	6	3	10	3	20	18	34
Periodo Tardío	10	2	8	1	1	4	0	2	2	2	8
Sin referencia	5	4	1	0	0	2	1	1	1	4	1
	100	60	40	16	10	15	25	8	26	31	69
Actual	30	17	13	30							
Total	130	77	53	46							

ND: No deformado, DNI: deformado no intencional, TE: Tabular erecto, TO: Tabular oblicuo, CE: Circular erecto, CO: circular oblicuo.

Tabla 4. Distribución de los promedios de edad de las muestras arqueológica y actual según sexo.

Muestra	Sexo	
	Femenino	Masculino
	$\bar{x} \pm DS$ (n)	$\bar{x} \pm DS$ (n)
Arqueológica		
No deformado†	26 ± 6 (n=6)	35 ± 8 (n=10)
Deformado no intencional	29 ± 5 (n=7)	33 ± 6 (n=3)
Tabular erecto	34 ± 10 (n=10)	32 ± 10 (n=5)
Tabular oblicuo	28 ± 9 (n=4)	30 ± 7 (n=21)
Circular erecto	38 ± 11 (n=3)	28 ± 4 (n=5)
Circular oblicuo	28 ± 9 (n=10)	30 ± 7 (n=16)
Actual*	56 ± 14 (n=13)	48 ± 11 (n=17)

Diferencias significativa intragrupo (entre sexo femenino y masculino) † P = 0.03

Diferencias significativa entregupo (entre arqueológicos y actual) * P < 0.01

ANÁLISIS DE MORFOMETRÍA LINEAL (Objetivo 2)

ÍNDICE CEFÁLICO

El análisis de la frecuencia de biotipo cefálico según tipo de deformación se muestra en la Tabla 5 y Gráfico 1. El resultado del análisis estadístico se detalla en la tabla 6.

Debido a la clara tendencia hacia uno de los biotipos en algunos tipos de deformatorios se especificó la frecuencia de los biotipos extremos como lo muestran la tabla 7, gráfico 2 y gráfico 3. El gráfico 4 resume la distribución de los distintos biotipos en cada grupo.

Tabla 5. Distribución de Biotipos Cefálicos según Tipo de Deformación Intencional del Cráneo.

Tipo	Braquicéfalo	Mesocéfalo	Dolicocéfalo	TOTAL
CG	13	9	8	30
ND	7	3	6	16
DNI	4	3	3	10
TE	8	5	2	15
TO	13	10	2	25
CE	2	3	3	8
CO	1	4	21	26
TOTAL	48	37	45	130

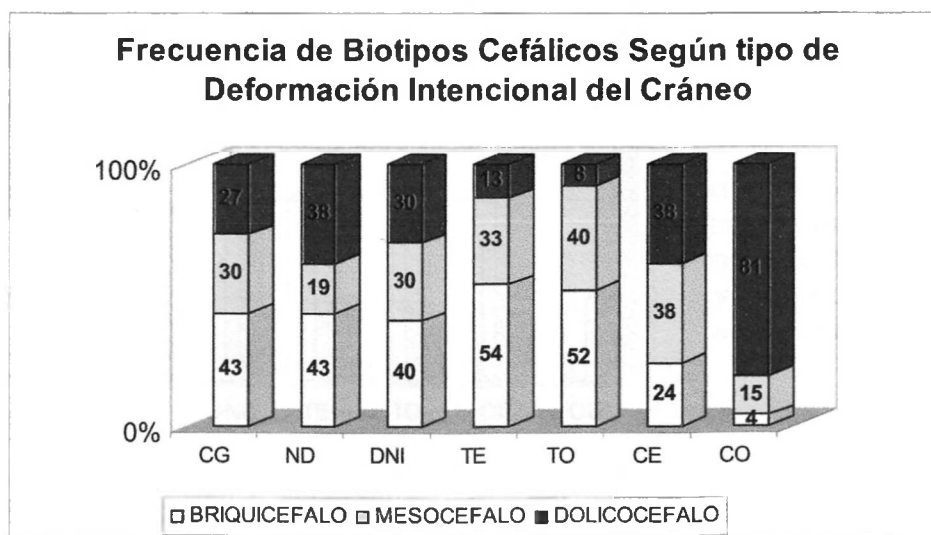


Gráfico1. Frecuencia de Biotipos Cefálicos según Tipo de Deformación Intencional del Cráneo.

Tabla 6. Análisis Estadístico de la Frecuencia de Biotipos Cefálicos según Tipo de Deformación Intencional del Cráneo.

Chi-cuadrado / 2 df	CG	ND	DNI	TE	TO	CE	CO
CG		p = 0,115	p = 0,875	p = 0,043	p = 0,002	p = 0,017	p = 0,000
ND	4,331		p = 0,172	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,003	p = 0,000
DNI	0,266	3,519		p = 0,011	p = 0,000	p = 0,053	p = 0,000
TE	6,290	17,272	8,949		p = 0,387	p = 0,000	p = 0,000
TO	12,595	27,892	15,731	1,899		p = 0,000	p = 0,000
CE	8,191	11,721	5,882	24,145	29,932		p = 0,000
CO	64,362	48,370	57,887	99,045	112,383	39,805	

Tabla 7. Distribución de Biotipos Cefálicos (indicando los extremos) según Tipo de Deformación Intencional del Cráneo.

Tipo	Hiperbraquicéfalo	Braquicéfalo	Mesocéfalo	Dolicocéfalo	Hiperdolicocéfalo	TOTAL
CG	4	9	9	7	1	30
ND	2	5	3	6	0	16
DNI	1	3	3	2	1	10
TE	5	3	5	2	0	15
TO	5	8	10	2	0	25
CE	0	2	3	3	0	8
CO	0	1	4	9	12	26
TOTAL	17	31	37	31	14	130

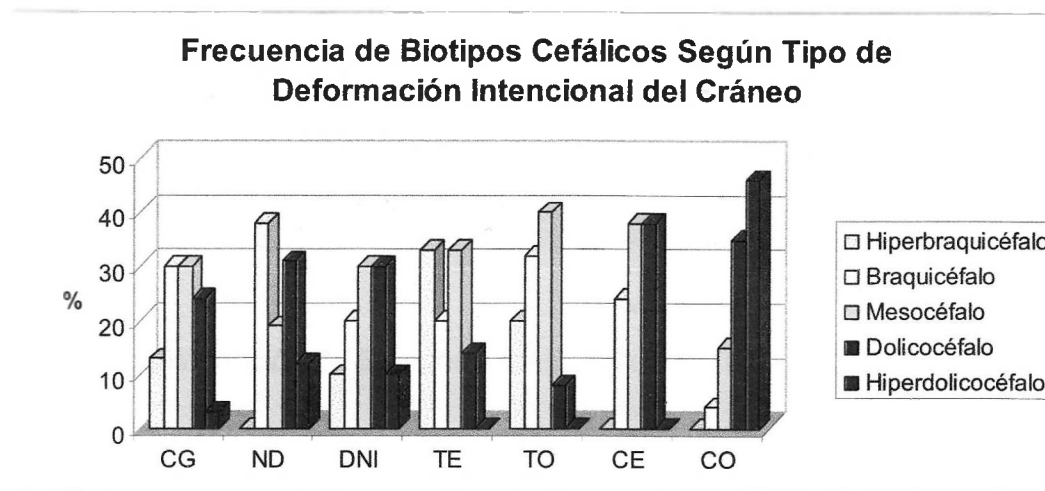


Gráfico 2. Frecuencia de Biotipos Cefálicos (indicando los extremos) según Tipo de Deformación Intencional del Cráneo.

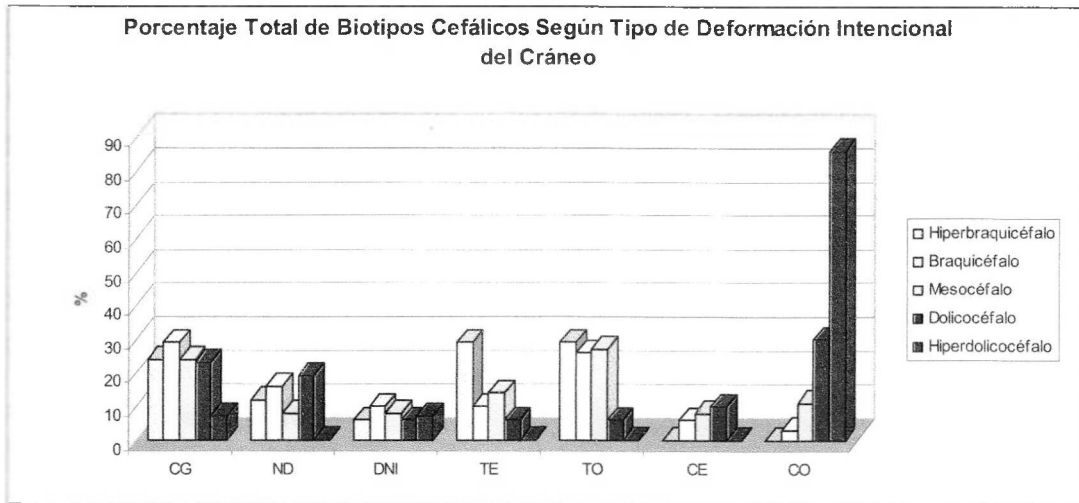


Gráfico 3. Porcentaje Total de Biotipos Cefálicos según Tipo de Deformación Intencional del Cráneo.

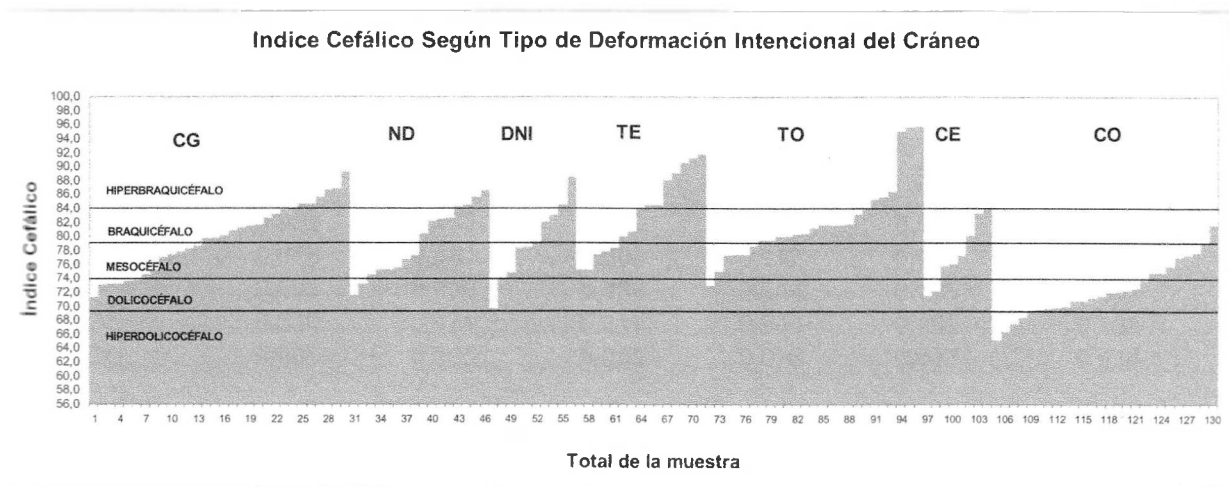


Gráfico 4. Distribución de Biotipos Cefálicos según Tipo de Deformación Intencional del Cráneo.

VARIABLES CEFALOMÉTRICAS

En la Tabla 8a se presenta el análisis de varianza (ANOVA) de los valores promedio de alguna de las variables cefalométricas de cráneo y maxilar superior tomadas del Análisis Arquitectural de Delaire, y en la Tabla 8b el análisis *post hoc* a través del Test Scheffé para determinar entre cuáles se establecieron las diferencias.

Tabla 8a. Análisis de la Varianza (ANOVA) para variables cefalométricas según tipo deformatario.

Análisis de Varianza (ANOVA)

Nivel de significancia $p < .05$

	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
LARGO BASE INF	4420,834	5	884,167	11768,889	124	94,910	9,316	0,000
ALTURA BÓVEDA	4830,202	5	966,040	6787,098	124	54,734	17,650	0,000
ÁNGULO BASE POST	1496,715	5	299,343	3373,354	124	27,204	11,003	0,000
ÁNGULO BASE ANT	91,333	5	18,2667	567,967	124	4,58037	3,988	0,002
ÁNGULO PILAR ANT	478,722	5	95,744	1401,709	124	11,3041	8,470	0,000
ÁNGULO ROTAC_MAX	294,8138	5	58,968	1240,917	124	10,007	5,892	0,000

Tabla 8b. Análisis confirmatorio *post hoc* a través del Test Scheffé.

	LARGO BASE INF	ALTURA BÓVEDA	ÁNGULO BASE POST	ÁNGULO BASE ANT	ÁNGULO PILAR ANT	ÁNGULO ROTAC MAX
CG vs NOD	0,902	0,473	0,520	1,000	0,000	0,000
CG vs TE	0,016	0,181	0,005	0,142	0,062	0,609
CG vs TO	0,000	0,000	0,000	0,544	0,105	0,381
CG vs CE	0,530	0,471	0,317	0,904	0,006	0,168
CG vs CO	0,001	0,000	0,000	0,076	0,047	0,914
NOD vs TE	0,214	0,971	0,346	0,128	0,687	0,386
NOD vs TO	0,004	0,011	0,174	0,500	0,175	0,258
NOD vs CE	0,926	0,993	0,955	0,878	1,000	0,997
NOD vs CO	0,053	0,000	0,002	0,070	0,283	0,023
TE vs TO	0,960	0,310	1,000	0,933	0,994	1,000
TE vs CE	0,975	1,000	0,986	0,968	0,856	0,921
TE vs CO	1,000	0,004	0,847	1,000	1,000	0,982
TO vs CE	0,669	0,530	0,976	1,000	0,536	0,913
TO vs CO	0,968	0,497	0,769	0,940	1,000	0,949
CE vs CO	0,936	0,037	0,548	0,977	0,650	0,569

ANÁLISIS DE MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA

ESTUDIO DEL CRÁNEO COMPLETO (Objetivos 3, 4, 5)

En base al mapa de homologías propuesto, se determinó la configuración morfométrica del cráneo para la muestra estudiada y se obtuvo la distribución de cada hito en relación a su consenso, manifestando una forma elíptica de ésta, principalmente en las zonas frontal y occipital baja, como se muestra en la Figura 17.

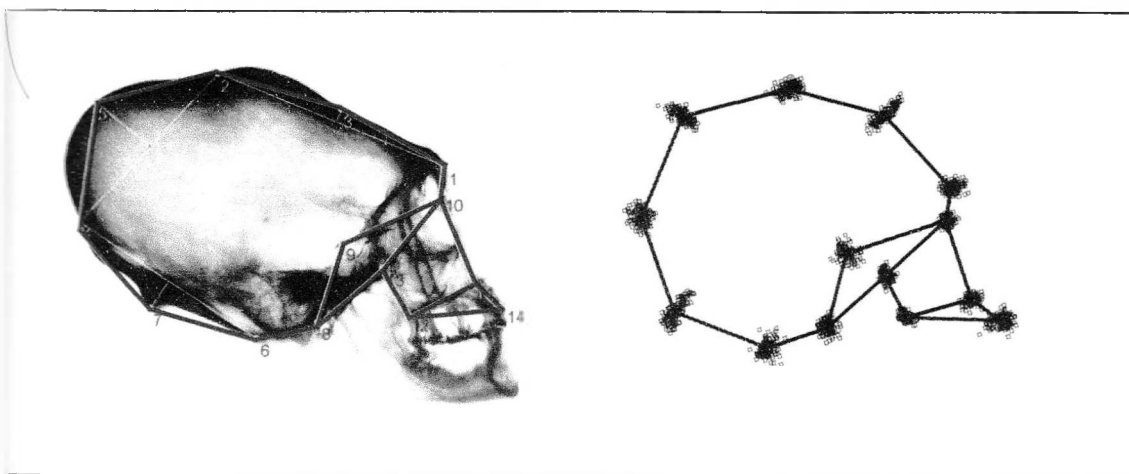


Figura 17: Configuración Morfométrica de Consenso para el Cráneo Completo. (Objetivo 3)

El análisis exploratorio de la muestra por medio del estudio de los componentes de la forma (Relative Warps), análogos a los componentes principales, por lo que resumen la mayor varianza explicada (60,82%), muestran una clara tendencia a diferenciar los grupos por medio de los ejes anatómicos mayores, como se muestra en el Gráfico 5.

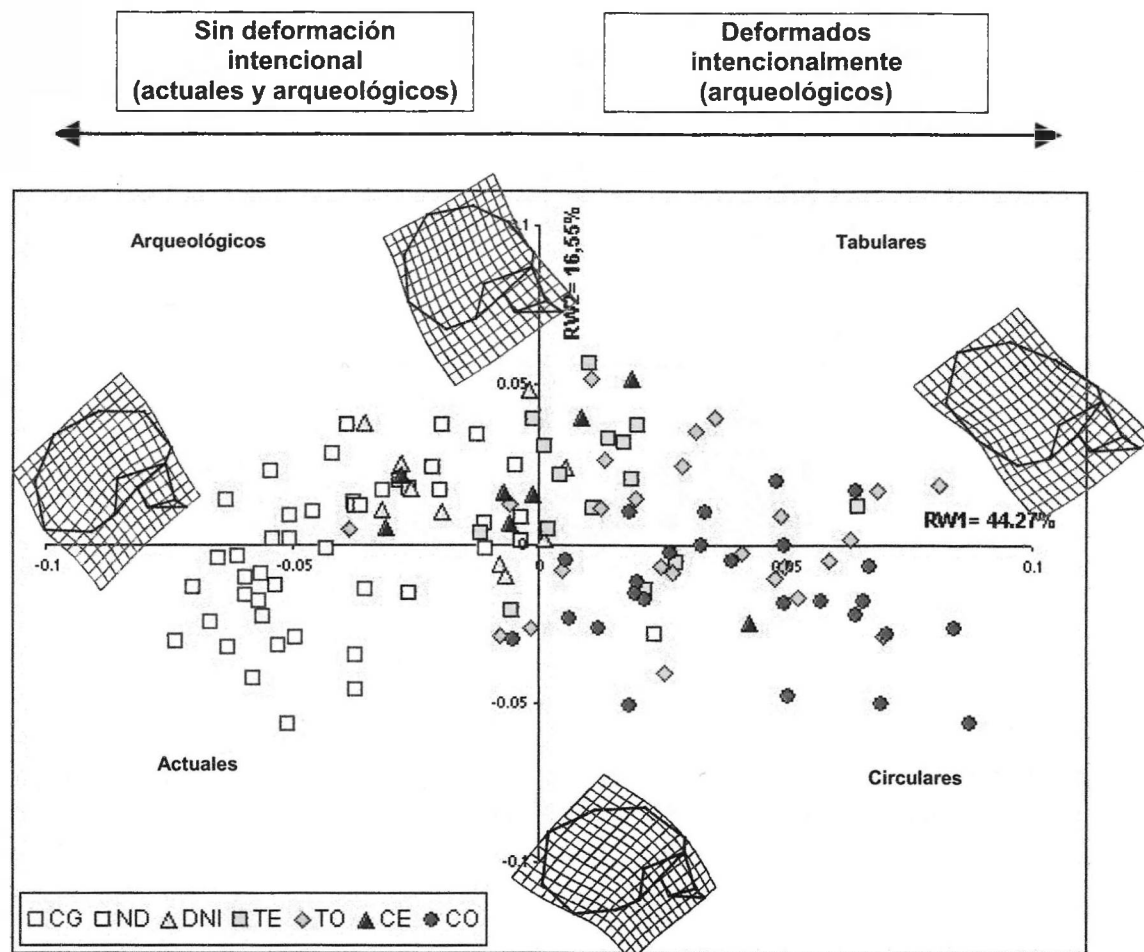


Gráfico 5. Análisis de los Componentes de la Forma del Cráneo Completo para toda la Muestra. (Objetivo 4) (Informe FONDECYT, 2007. Manríquez, G. y Salinas, JC.)

En el Gráfico 6, se muestra la distribución de las configuraciones de consenso para cada categoría de cráneos deformados y para los no deformados arqueológicos y actuales.

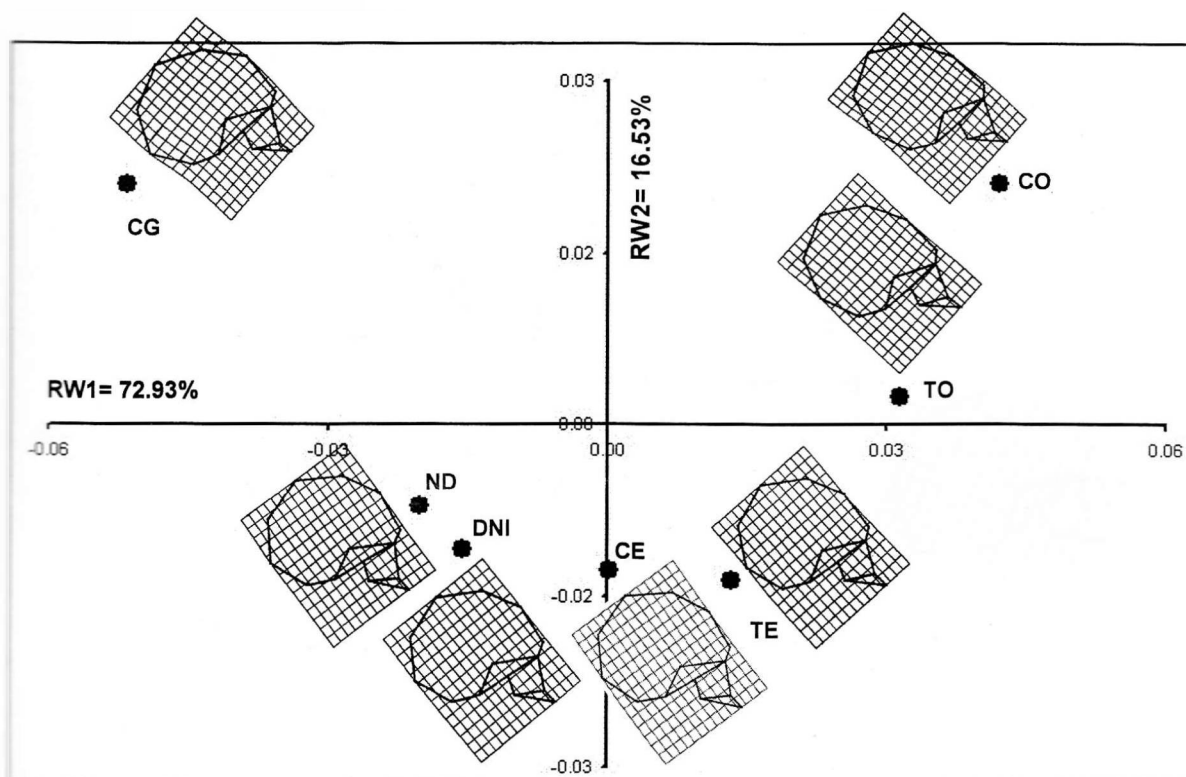


Gráfico 6. Análisis de los Componentes de la Forma del Cráneo Completo para Configuración de Consenso de cada Categoría de Deformados y No Deformados Arqueológicos y Actuales. (Objetivo 4)

Las diferencias morfométrico-geométricas observadas entre los grupos de cráneos no deformados actuales y arqueológicos se detallan en los Gráficos 7 y 8, mientras que el análisis confirmatorio a través de la regresión de variables independientes contra los componentes de la forma del cráneo se muestra en la Tabla 9.

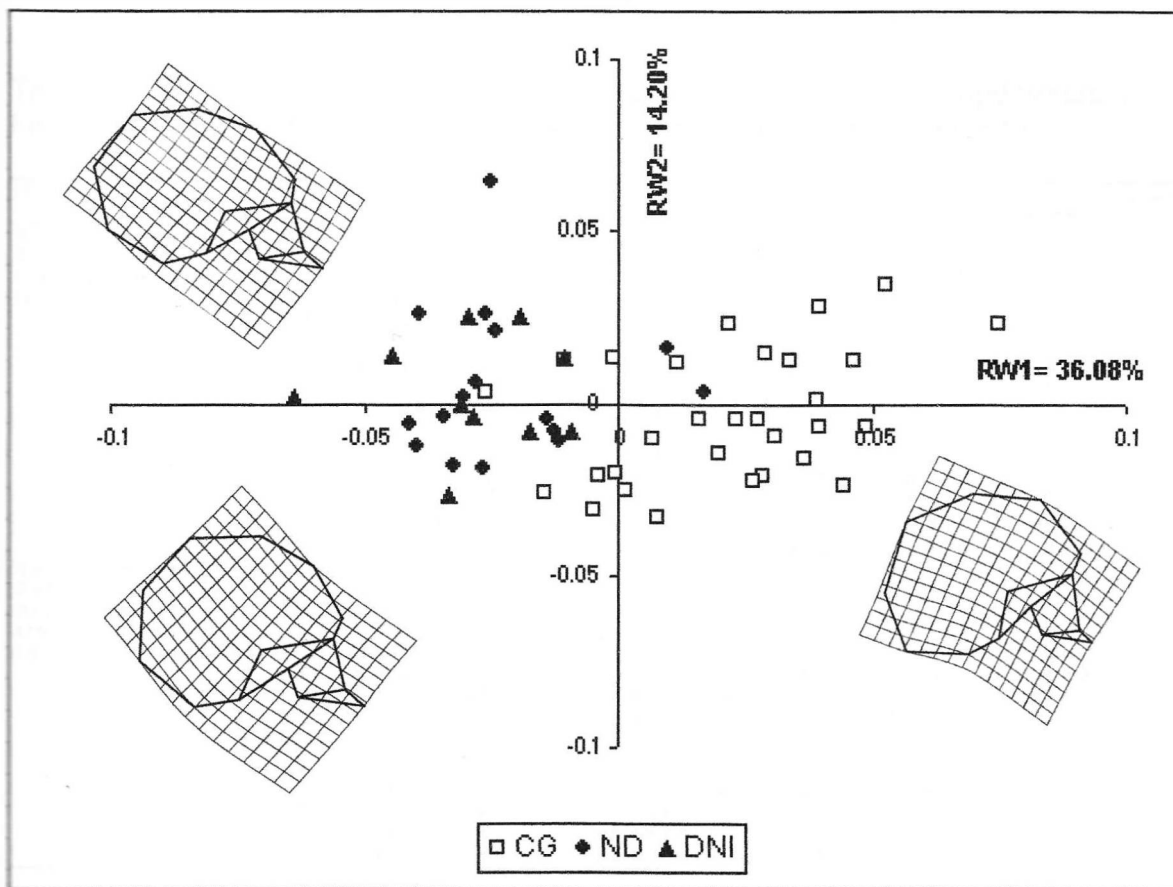


Gráfico 7. Análisis de los Componentes de la Forma del Cráneo Completo para No Deformados Arqueológicos y Actuales (Objetivo 4).

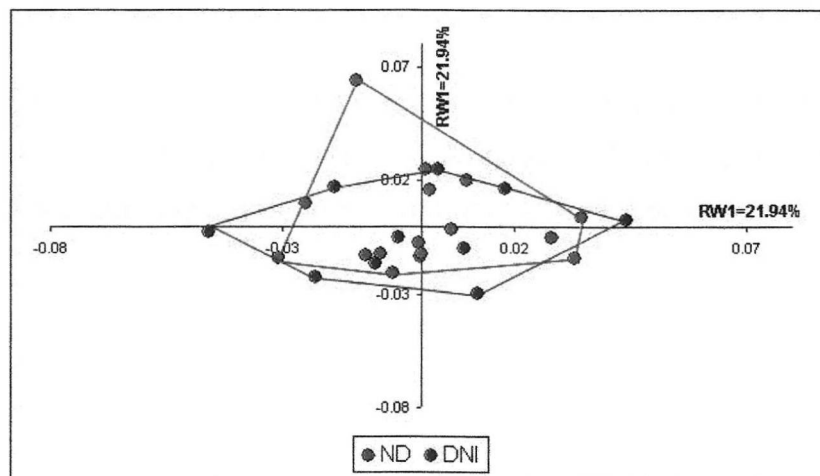


Gráfico 8. Análisis de los Componentes de la Forma del Cráneo Completo para No Deformados y Deformaciones No Intencionales Arqueológicas (Objetivo 4)

Tabla 9. Regresión de Variables Independientes contra los Componentes de la Forma de Cráneos Arqueológicos No Deformados y Actuales (Objetivo 5).

Muestra	N	Efecto	F de Goodall	df ₁ , df ₂	p	% varianza	% UNI
No deformados vs. Deformados no intencionales (arqueológicos)							
		<i>UNI + PW</i>					
	26	Sexo	1.2253	24, 576	0.212	95.15	0.49
	26	T. centroide	1.7632	24, 576	0.014	93.16	0.79
	26	Edad	0.5822	24, 576	0.945	97.63	0.35
	26	Período	1.3613	24, 576	0.118	94.64	2.22
	26	Deformación	1.1523	24, 576	0.281	95.42	0.49
		<i>PW</i>					
	26	Sexo	1.1005	22, 528	0.341	95.62	
	26	T. centroide	1.5619	22, 528	0.050	93.90	
	26	Edad	0.4966	22, 528	0.975	97.97	
	26	Período	0.8101	22, 528	0.714	96.74	
	26	Deformación	1.0306	22, 528	0.424	95.89	
No deformados y Deformados no intencionales arqueológicos vs. No deformados actuales							
		<i>UNI + PW</i>					
	56	Sexo	0.9049	24, 1296	0.596	98.35	0.60
	56	T. centroide	1.2723	24, 1296	0.171	97.70	0.33
	56	Edad	6.9177	24, 1296	< 0.01	88.66	1.57
	56	Período	3.5257	24, 1296	< 0.01	93.88	1.99
		<i>PW</i>					
	56	Sexo	0.5778	22, 1188	0.940	98.94	
	56	T. centroide	1.0957	22, 1188	0.344	98.02	
	56	Edad	5.9755	22, 1188	< 0.01	90.05	
	56	Período	2.3989	22, 1188	< 0.01	95.75	

En el Gráfico 9 y Tabla 10 se describen el análisis exploratorio (TPS Relative Warp) y confirmatorio (TPS Reg), respectivamente, de los componentes de la forma para la muestra arqueológica, tanto no deformada como con deformación intencional del cráneo.

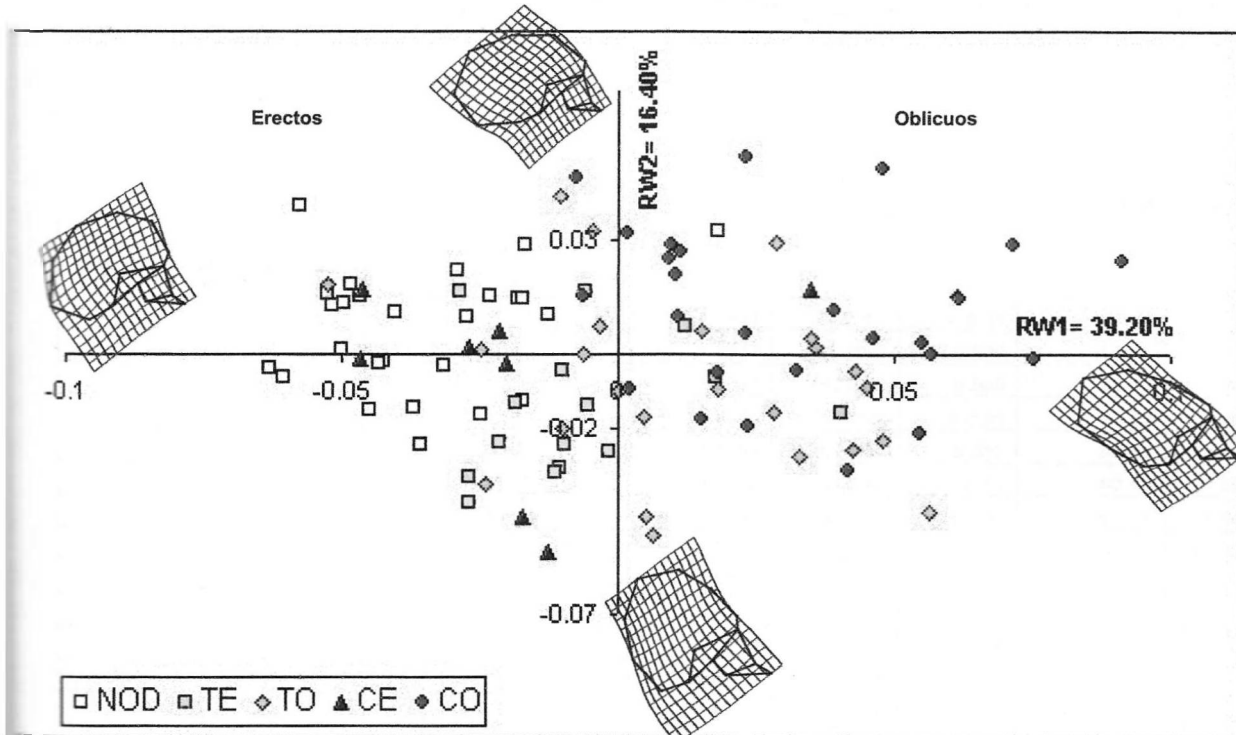


Gráfico 9. Análisis de los Componentes de la Forma del Cráneo Completo para Deformados y No Deformados Arqueológicos (Objetivo 4).

En este gráfico se observa una separación clara entre los individuos con deformación oblicua respecto de los erectos, los que aparecen agrupando junto con los no deformados.

Por otro lado, la Tabla 10 muestra una mayor diferencia en el porcentaje del componente uniforme cuando los especímenes fueron agrupados en Erectos y Oblicuos (13,83) versus en Tabulares y Circulares (11,04).

ESTUDIO DEL CRÁNEO MODULAR (Objetivos 6, 7)

La configuración morfométrica para cráneo completo se separó en tres módulos para hacer al análisis específico de cada estructura y visualizar el efecto de la deformación en la conformación morfométrica en particular. La configuración de consenso y la distribución de hitos para cada módulo se muestran en la Figura 18.

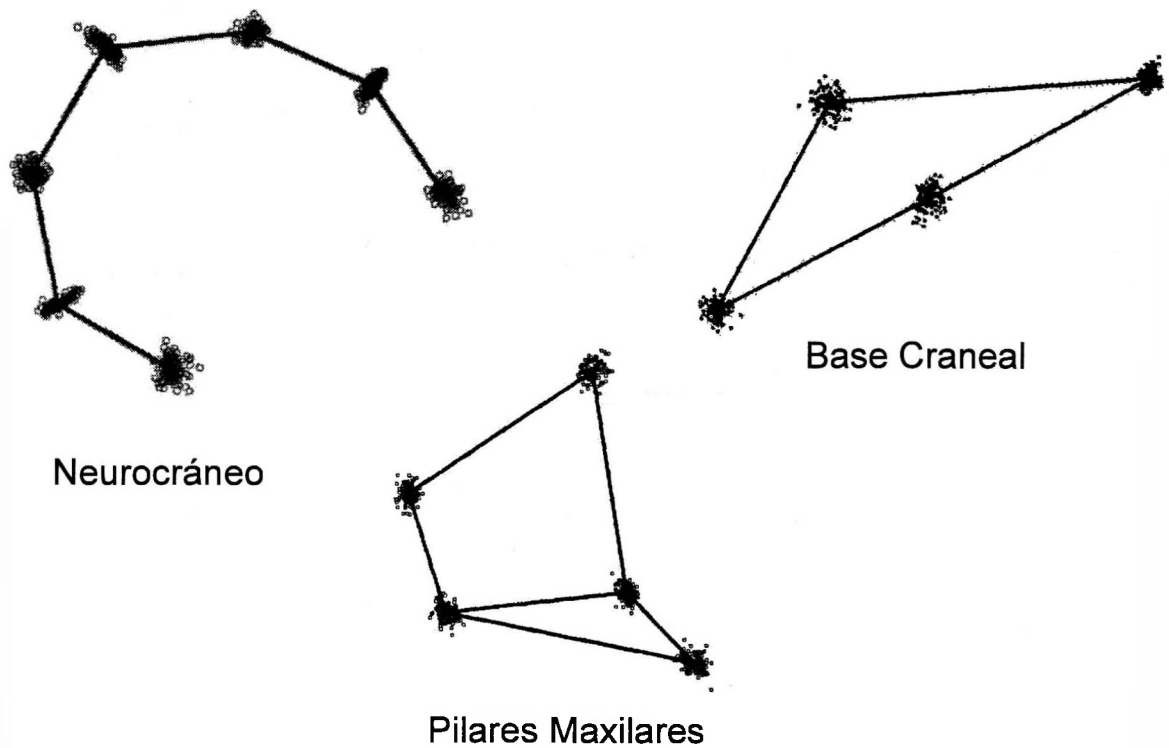


Figura 18: Configuración de Consenso de los tres Mapas Morfométricos Modulares. (Objetivo 6)

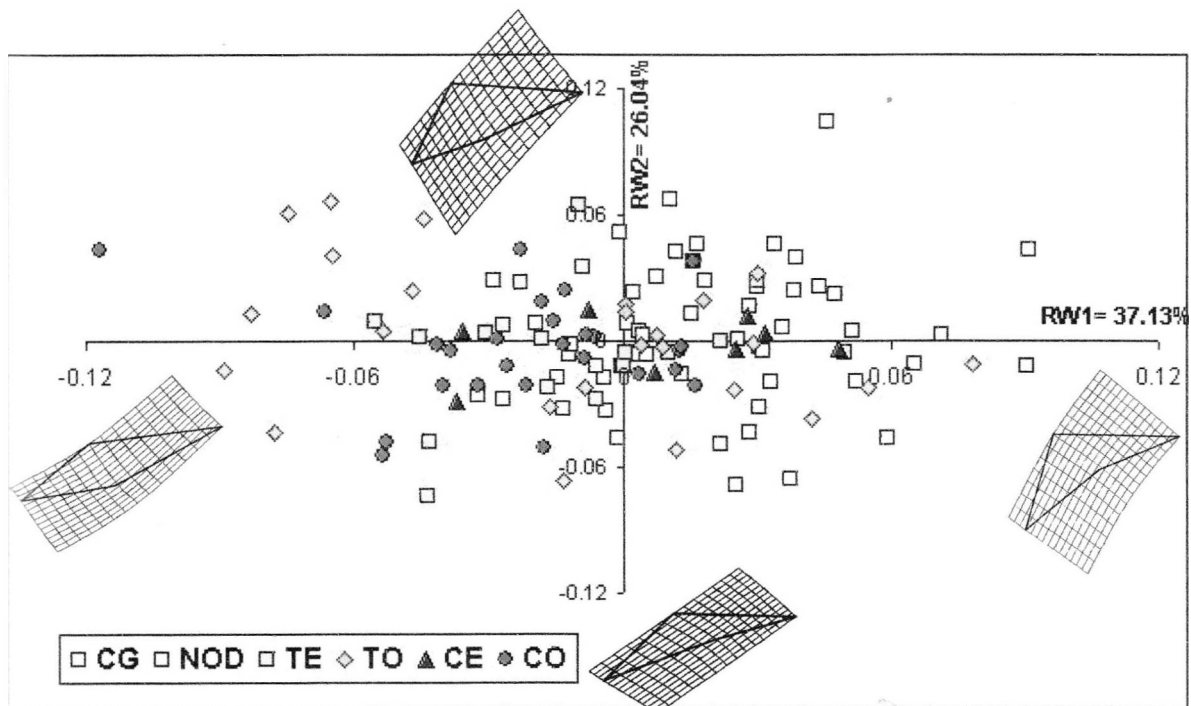


Gráfico 11. Análisis de los Componentes de la Forma de la Base Craneal para toda la Muestra. (Objetivo 6)

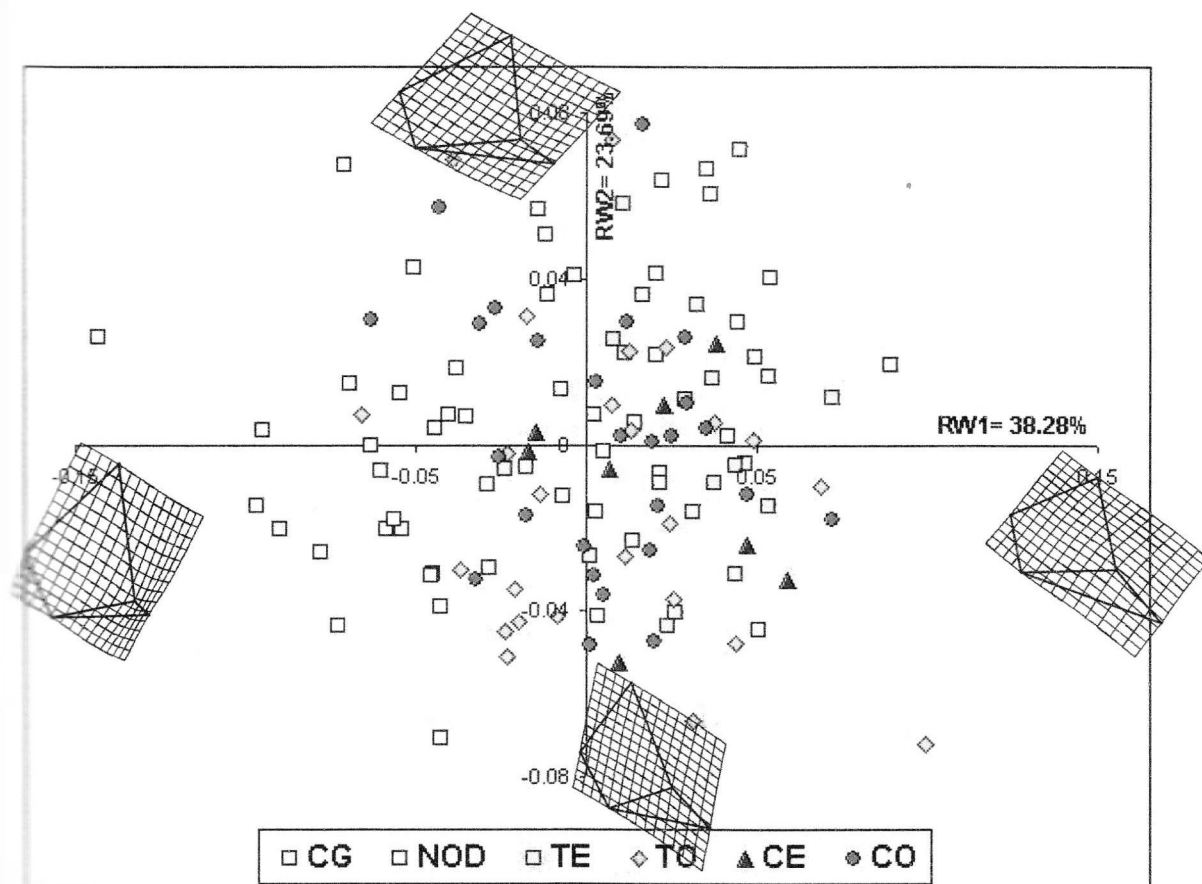


Gráfico 12. Análisis de los Componentes de la Forma de los Pilares Maxilares para toda la Muestra. (Objetivos 6)

La comparación del efecto que produce la deformación craneal intencional en las distintas configuraciones modulares del cráneo se realizó por medio del análisis de distancias morfométricas usando los valores de los consensos, a través del análisis Neighbor joining y la comparación, por medio del test de Mantel con el módulo del Neurocráneo, ya que fue sobre el cual se aplicó la fuerza deformadora (Gráficos 13 y 14).

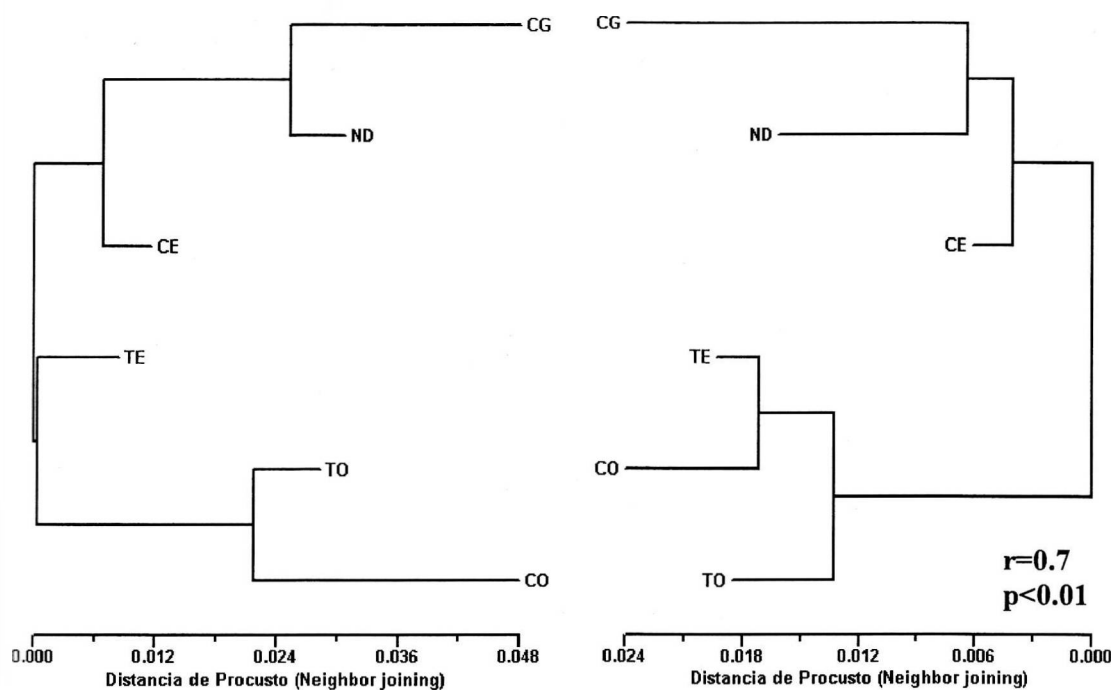


Gráfico 13. Análisis de Distancia Morfométrica entre los Consensos para Bóveda craneal y Base craneal. (Objetivos 7)

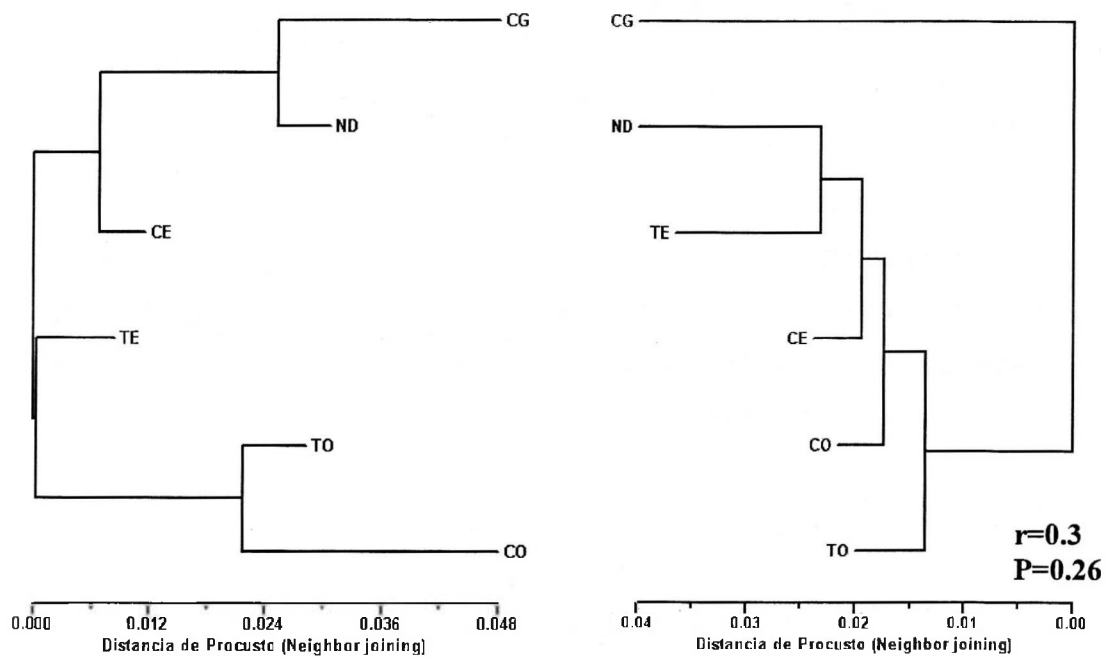


Gráfico 14. Análisis de Distancia Morfométrica entre los Consensos para Bóveda Craneal y Pilares maxilares. (Objetivos 7)

7. DISCUSIÓN

La distribución de los individuos en cada grupo no fue homogénea para las distintas variables en estudio, y hubo casos como los del período Arcaico que sólo pertenecían a sitios de la costa, mientras que para el Período Medio sólo se disponía de individuos exhumados de sitios de los valles interiores de Arica. Sin embargo, al ser agrupados fue posible su análisis morfométrico.

Respecto a lo anterior, uno de los grandes problemas en el estudio de poblaciones arqueológicas es la dependencia a la muestra existente para analizar, ya que generalmente se cuenta con un número limitado de especímenes, que no pocas veces constituyen el universo disponible para su estudio. (Manríquez *et al*, 2004; Beguelin *et al*, 2006)

Cabe señalar que en el análisis de distribución según sexo y edad, sólo el grupo de No Deformados arqueológicos presentó diferencias de edad entre hombres y mujeres (intragrupa), mientras que en el análisis intergrupala para la edad en general, las diferencias se manifestaron entre el grupo actual y todos los grupos arqueológicos, ya que claramente el primero presentó una mayor data de muerte respecto a la estimada para la población arqueológica. Esto es una limitante en la mayoría de los estudios en los que se pretende comparar poblaciones actuales con poblaciones extintas de distinto origen étnico o arqueológicas de la misma etnia (Manríquez *et al*, 2004). Los avances científico-tecnológicos de la medicina moderna y el mayor acceso a ellos por una parte importante de la población, han posibilitado el aumento de la expectativa de vida de las personas. Pero asociado a ésta aparece un mayor número de enfermedades crónicas que pueden generar cambios morfológicos en los sujetos y que se visualizarán en sus restos postmortem, o incluso, la presencia de cambios morfológicos “normales” en el proceso de deterioro físico que conlleva el envejecimiento. (Ricci *et al*, 1990)

ANÁLISIS DE MORFOMETRÍA LINEAL

ÍNDICE CEFÁLICO

Se sabe que en la evolución de *H. sapiens* se ha observado un aumento progresivo de la braquiacefalia, aunque se reconoce el factor étnico como uno de los más importantes en la diferenciación de los distintos biotipos cefálicos. (Del Sol, 2005; Golalipour, 2006)

A pesar de lo ampliamente usado en diversas poblaciones y etnias, actuales y arqueológicas, no existen estudios en sujetos sometidos a deformación intencional del cráneo.

Respecto al análisis de la frecuencia de biotipo cefálico según tipo de deformación (Tabla 5, Gráfico 1), se observó una distribución similar en los grupos de No Deformados, tanto actuales (CG) como arqueológicos no deformados (ND) y deformados no intencionales (DNI), que no mostraron diferencias estadísticas entre sí y donde estaban representados los tres biotipos más o menos equilibrados, no así el resto de los grupos de deformados que manifestaron diferencias significativas entre sí. Cabe señalar la ausencia de diferencias estadísticas entre Tabulares Erectos (TE) y Tabulares Oblicuos (TO), mostrando una distribución marcada hacia el biotipo Braquicefálico mayor del 50%. Por el contrario, los grupos Circular Erecto (CE) y Circular Oblicuo (CO) presentaron una tendencia marcada hacia el biotipo Dolicocefálico, especialmente CO (81%), aunque tuvieron diferencias significativas entre sí, lo que podría deberse al bajo número de sujetos (8 individuos) que constituyen el grupo CE (Tabla 6).

Lo anterior sugiere que la relación de las medidas que constituyen el índice cefálico se ven afectadas por la tecnología empleada en el proceso deformativo. Es decir, las tablillas al aplanar el cráneo en sentidos ántero-posterior y enancharlo en sentido lateral, favorecerían la tendencia hacia el

biotipo Braquicefálico; por el contrario, las vendas o cintillos al comprimir lateralmente, restringiendo el desarrollo transversal pero facilitándolo en sentido sagital, favorecería la tendencia hacia el biotipo Dolicocefálico.

Esto quedó de manifiesto cuando se separaron los sujetos extremos según el Índice Cefálico, en Hiperbraquicéfalos e Hiperdolicocefálos (Tabla 7 y Gráficos 2 y 3), ya que, casi el 60% de los Hiperbraquicéfalos son Tabulares y el 86% de los Hiperdolicocefálos son Circulares.

Los valores lineales del índice cefálico mostraron ausencia de diferencias entre los grupos no deformados actual y arqueológico, mientras que las diferencias mayores se observaron con los Tabulares Erectos y Circulares Oblicuos (Gráfico 4). Esto nos permite identificarlos como los grupos más extremos en la diferenciación fenotípica de la deformación intencional del cráneo.

VARIABLES CEFALOMÉTRICAS

En el análisis cefalométrico (Tabla 8a y 8b) se observó diferencias entre los grupos para todas las variables. Al especificar entre qué grupos se establecían dichas diferencias se vio que el grupo actual (CG) presentó diferencias prácticamente con todos los grupos, excepto en la variable Angulo de Base Anterior que no mostró diferencias con ninguno de los grupos, lo cual habla de su gran estabilidad ontogenética. A pesar de los grandes cambios ocurridos en el resto del neurocráneo, la base de cráneo anterior, donde se asientan los lóbulos frontales del cerebro, unida al mesoestmoides cartilaginoso, a través de la apófisis crista galli y lámina cribosa del etmoides, y que forman el núcleo central del desarrollo del tercio medio facial (Couly, 1980), aseguran un desarrollo normal de las estructuras nobles que se ubican allí. Por el contrario, el Ángulo de Base Posterior mostró diferencias significativas entre

los grupos, especialmente al comparar cráneos actuales no deformados con cráneos arqueológicos deformados. El hecho de que el cierre de la sincondrosis esfeno-occipital ocurra tardíamente, alrededor de los 18 años de edad, y la práctica de la deformación intencional del cráneo se inicie desde el nacimiento, posibilita que el estímulo biomecánico de la deformación intencional no sólo modifique la forma de la bóveda craneal sino que altere el patrón estructural de la base de cráneo, el cual está fuertemente determinado por la genética al tener una osificación endocondral a partir de cartílago primario.

Cabe señalar que la comparación del grupo actual con el grupo no deformado arqueológico (NOD) no hubo diferencias en las variables craneales, sino que se dieron sólo en las variables angulares que definen al macizo maxilar, lo que podría deberse a una mayor robustez de los rasgos faciales de estos últimos debido a un mayor estímulo funcional como consecuencia del modo de vida. (Baab *et al*, 2010) Ello se confirma al comparar este último grupo y los distintos grupos de deformados intencionales., cuyas diferencias se dieron específicamente con las variantes Oblicuas de Tabulares y Circulares.

A su vez, entre los cráneos representativos de los distintos tipos deformativos casi no se observaron diferencias en sus medidas cefalométricas y en los que las hubo, correspondían a los subtipos Erectos y Oblicuos más que a los Tabulares y Circulares, lo que confirmaría el hecho que las diferencias se deberían más a la dirección que sigue la deformación que a la tecnología utilizada. Sin embargo, estas variables lineales no son lo suficientemente predictoras para identificar y diferenciar los distintos cambios producidos por la deformación intencional del cráneo.

ANÁLISIS DE MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA

ESTUDIO DEL CRÁNEO COMPLETO

La configuración de consenso junto a la visualización de la distribución de cada hito en relación a éste, que se observa en la figura 17, permitió visualizar que precisamente los Pseudohitos construidos geoméricamente 3 (Frontal), 5 (Bóveda) y 7 (Occipital), fueron los que presentaron las distribuciones más elípticas, indicando la dirección de la deformación en el Neurocráneo.

Al observar la distribución de la muestra total en torno a los dos componentes principales de la forma que resumen la mayor varianza explicada ($RW1 = 44,27\%$ y $RW2 = 16,55\%$), por medio del programa TPS Relative Warps (Gráfico 5), se constató cómo los individuos actuales quedaron agrupados al extremo izquierdo y enseguida los individuos arqueológicos No deformados. Al centro del bivariado se ubicaron los Circulares Erectos y hacia el lado derecho se distribuyeron Tabulares Erectos, Tabulares Oblicuos y Circulares Oblicuos respectivamente. Las grillas de deformación corresponden a la función de placa delgada, con la cual se rescata la configuración geométrica de los sujetos, incorporando la energía de torsión necesaria para que se ajuste a la configuración de consenso. En el Gráfico 5 se aprecian las configuraciones extremas para cada eje, notándose que las variaciones en el eje x ($RW1$) de deben a cambios en el eje ántero-posterior, mientras que las del eje y ($RW2$) muestra los cambios verticales.

Lo anterior quedó de manifiesto al graficar sólo la distribución de las configuraciones de consenso para cada grupo (Gráfico 6), mostrando que el grupo actual (CG) se separó significativamente de todos los grupos arqueológicos, incluyendo los No Deformados (ND) y Deformados No Intencionales (DNI) que agruparon muy cercanos entre sí. Esto puede deberse

principalmente a factores de etnicidad. Lo segundo que se confirmó fue que los consensos se agruparon más bien por la dirección de la deformación (Erectos y Oblicuos), que por la tecnología empleada en hacerlo (Tabulares y Circulares), como lo insinuó el análisis de las variables cefalométricas antes expuesto. Por lo tanto, los Oblicuos (Circulares y Tabulares) se ubicaron al extremo derecho y los Erectos (Tabulares y Circulares) se acercaron al centro del bivariado, quedando próximos a los No deformados arqueológicos. Esto pone en discusión la validez de la clasificación desarrollada por Dembo & Imbelloni (1938) y quienes posteriormente la han utilizado para identificar a los distintos tipo de cráneos deformados (Varela *et al*, 1993; Cocilovo, 1994), ya que esta clasificación pone el énfasis en el tipo de aparato deformador como objeto cultural responsable. Sin embargo, los cambios morfológicos observados en las estructuras craneales y sus potenciales efectos mórbido-traumáticos, estarían más asociados con la dirección vectorial del cambio de forma calvaria. Lo anterior se confirmó al analizar los mismos cráneos con Morfometría Geométrica de 3D, donde se incorporó el cambio dimensional transversal ausente en el análisis de Morfometría Geométrica 2D en telerradiografías sagitales (Informe FONDECYT, 2009. Manríquez, G. y Salinas, JC.)

Para evaluar las diferencias entre el grupo actual y los No deformados arqueológicos (Gráfico 7 y Tabla 9), se hizo un análisis de los componentes de la forma, excluyendo los grupos con deformación intencional del cráneo. Este confirmó que las diferencias son debidas a la edad (los actuales eran mayores) a al periodo cronológico, el que lleva implícito el factor de etnicidad al que anteriormente nos referimos.

Por otro lado, se observa en la misma Tabla 9 y en el Gráfico 8, que los grupos arqueológicos No Deformados y Deformados No Intencionales, no mostraron diferencias significativas entre sí. Por lo tanto, la presencia de pequeños aplanamientos en la zona occipital con o sin plagiocefalia, presumiblemente atribuidos al uso de fijaciones cefálicas de recién nacidos a sus cunas o elementos de transporte, como lo muestra la Figura 7b (Dembo &

Imbelloni, 1932), son parte de la variación fenotípica normal del cráneo esperada para una población sin deformación intencional. Esto implica que ambos grupos conforman una sola entidad morfológica y que es posible agruparlos en un único grupo de No deformados (NOD).

En el análisis de toda la muestra arqueológica (Gráfico 9 y Tabla 10), se observó una mayor superposición de especímenes Erectos (Circulares y Tabulares) con los No Deformados al lado izquierdo del bivariado, mientras que en el lado derecho se distribuyeron los Oblicuos (Tabulares y Circulares). Esto permite concluir que la deformación Oblicua es la generadora de los cambios más intensos en la conformación morfométrica craneofacial, por lo tanto, el grupo donde se esperaría observar también, un mayor cambio a nivel de estructuras específicas en un análisis modular. Cabe señalar que una de las estructuras donde se observa el cambio entre la configuración de No deformados (NOD) y Oblicuos extremos (CO) es la Base de cráneo, lo que concuerda con lo descrito por Moss (1958). Su ángulo posterior se hace más obtuso aplanando la base y disminuyendo la diferencia de altura entre fosa craneal anterior y posterior. De hecho es la única variable angular, junto con el ángulo de rotación maxilar, que mostró diferencias significativas entre grupos arqueológicos (Tabla 6b).

ESTUDIO DEL CRÁNEO MODULAR

La configuración de consenso para el módulo de Neurocráneo presentó los mismos pseudohitos con la distribución más elíptica, lo que permite orientar en relación a la forma que adoptará la bóveda craneal con algunos especímenes. No ocurre lo mismo con las otras configuraciones para Base de cráneo y Pilares maxilares en donde la distribución de los hitos es bastante circular (Figura 18).

La distribución de los especímenes para el módulo de Neurocráneo (Gráfico 10) resultó muy similar a la del Cráneo completo, separando Erectos de Oblicuos, lo que confirma que las diferencias se deben más a la magnitud y dirección con que se aplicaron y orientaron los aparatos deformadores sobre los ejes anatómicos mayores más que del tipo de aparato empleado (Dembo & Imbelloni, 1938), manifestando una mayor contracción ántero-posterior expresada claramente por una compresión en las regiones frontal y occipital para los tipos Oblicuos (Neuman, 1942).

El análisis de la configuración modular de la Base de Cráneo (Gráfico 11), muestra también una separación entre Erectos y Oblicuos, aunque con un grado de superposición mayor. Lo más relevante es la modificación que se observa a nivel del ángulo de base posterior, siendo notoriamente más abierto u obtuso en el grupo de los Oblicuos y más cerrado o agudo en el de los Erectos, al igual a lo observado en la configuración general del cráneo (Moss, 1958). Esto difiere con lo expuesto por Lieberman y cols (2000a) que sostienen que existe una independencia ontogenética estructural debido, entre otras cosas, a su origen histológico diferente.

En relación al módulo de los Pilares Maxilares (Gráfico 12), su distribución morfométrica no manifestó una variación notoria de los componentes de la forma, sino más bien en la ubicación de Prosthion, que define un hueso alveolar presente o atrofiado, dependiendo de la presencia de piezas dentarias en boca y no precisamente al tipo de deformación del cráneo, aunque el análisis confirmatorio dio diferencias significativas por tipo de deformatorio. Esto concuerda con lo expuesto por Rhode (2002) y Rhode & Arriaza (2006), que declaran que las medidas lineales de la cara más estables, y que no se ven afectadas por la deformación intencional del cráneo, están ubicadas más cerca de la línea media, al igual que las estructuras máxilofaciales que se proyectan en una telerradiografía lateral.

Finalmente, el estudio de las distancias morfométricas entre los grupos utilizando un análisis de agrupamiento (cluster) Neighbor joining para cada módulo y luego comparándolos entre sí para ver el grado de concordancia (Gráficos 13 y 14), confirmó que tanto para Neurocráneo como para Base craneal, los No deformados Arqueológicos y en especial los Actuales, se ubican en un extremo de un cluster, incluyendo a los Circulares Erectos que son el grupo que expresan la menor intensidad de los cambios morfológicos generados por la deformación intencional. En el otro cluster, la mayor distancia la obtienen los Circulares Oblicuos y la menor es para los Tabulares Erectos. Esto confirma que las variantes Erectas en deformación intencional del cráneo son las que expresan la menor variación fenotípica y están más cercanas a los cráneos No deformados (Gráfico 6). Al comparar ambos dendrogramas a través del test de Mantel, estos mostraron una concordancia significativa ($r=0,7$; $p<0,01$), lo que concuerda con lo expresado por Enlow (1998) en relación al carácter integrado del crecimiento y desarrollo cráneo-facial, el cual reproduce el efecto del estímulo biomecánico sobre la bóveda en la base craneal, lo que se contrapone con lo expresado por Lieberman y cols (2000b). Por el contrario, cuando comparamos Neurocráneo y Pilares maxilares, prácticamente no hubo concordancia ($r=0,3$; $p=0,26$) ya que el cluster que se formó para la configuración de los Pilares maxilares no mostró diferencias entre los tipos deformativos y No deformados Arqueológicos, eso sí que al grupo Actual lo dejó conformando un cluster aparte, claramente distinto en origen a todo el resto. Esto, posiblemente, se deba a las diferencias étnicas pero también al grado de robustez como consecuencia del modo de vida y a las diferencias de edad de muerte, ya que una de las formas en que se manifiesta es en la presencia o ausencia de dientes, lo que conlleva una mantención o atrofia del hueso alveolar, respectivamente.

8. CONCLUSIONES

Basado en los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que:

1. La forma de los cráneos actuales difiere significativamente de los arqueológicos, evidenciado tanto en el análisis cefalométrico como con morfometría geométrica, posiblemente debido a edad y geneticidad. Sin embargo, las variables cefalométricas no fueron capaces de mostrar diferencias entre los grupos arqueológicos sometidos a deformación intencional.
2. No existen diferencias en la forma de cráneos sin deformación y aquellos tipificados como deformados “no intencionales”, debidos a efectos culturales como la cuna, por ejemplo; lo que demuestra que corresponderían a una expresión normal del polimorfismo natural de estas poblaciones.
3. La clasificación de tipos deformatorios en “tabulares” y “circulares”, aludiendo al aparato deformador no logra discriminar significativamente a los especímenes y es más bien la dirección de ésta como resultado del componente vectorial (“erecto” y “oblicuo”) la que permite diferenciarlas.
4. Existe una gradiente en el efecto de la deformación intencional del cráneo en la bóveda craneal, base craneal y pilares maxilares, que indicarían una dependencia gradual dada la ubicación del aparato deformador, la etapa del desarrollo ontogenético y los mecanismos epigenéticos adaptativos y compensatorios del crecimiento cráneo-facial, tales como la edad del cierre de la sincondrosis esfeno-occipital y la fuerza masticatoria.
5. La utilización de hitos a nivel maxilar, particularmente a nivel de hueso alveolar (Prostión) como estructura funcional, es altamente sensible a variaciones de la edad, presencia de piezas dentarias y causas biomecánicas locales que influyen en su análisis estructural.

9. RESUMEN

Una rama de la Antropometría, la Craneometría, junto a la Radiología Clínica, dieron origen a una de las técnicas más comunes para el estudio del territorio máxilo-facial, la Cefalometría. A pesar de su amplio uso en ortodoncia y cirugía ortognática, existen algunos autores que cuestionan su fiabilidad en la toma de decisiones clínicas y en investigación científica. Es por esto que desde la década de 1990, aparece una manera distinta de estudiar la variación de las formas biológicas y las causas que la determinan, es la Morfometría Geométrica. La principal diferencia con la cefalometría es que la MG utiliza un dato primario enriquecido con la información espacial de cada hito en una matriz de morfocoordenadas, analizadas en conjunto, con lo cual se puede obtener una norma para dicha población. Esto se logra separando o particionando el componente del tamaño de los componentes de la forma y luego, recuperando la imagen del sujeto a través de la función de placa delgada TPS (*thin-plate spline*). Esta permite visualizar los cambios globales asociados a los ejes mayores (componente uniforme) y los cambios altamente localizados (componente No uniforme). Por otro lado, existe una controversia entre algunos autores acerca del grado de dependencia morfofuncional entre las distintas estructuras que conforman el cráneo (Bóveda, Base, Macizo maxilar). Es por ello que en esta investigación se utilizaron cráneos con deformación intencional provenientes de sitios prehispánicos de Arica como un modelo extremo del cambio cráneo-facial. Se demostró, por una parte, que la morfometría geométrica fue superior al análisis cefalométrico a la hora de discriminar entre los distintos tipos de cráneos con deformación intencional; y por otro lado, que existe concordancia morfométrica entre la Bóveda y Base de cráneo, pero no así con el Macizo maxilar, donde intervienen otros estímulos epigenéticos morfofuncionales, como es la fuerza masticatoria, capaz de neutralizar el potencial efecto mórbido de la deformación intencional del cráneo.

10. BIBLIOGRAFÍA

AGUILA FJ (1996) *Manual de cefalometría*. Ed. Aguiram, Sevilla, Actualidades Médico Odontológicas Latinoamérica, C.A., España.

ALLISON MJ, GERSZTEN E, MUNIZAGA J, SANTORO C, FOCACCI G (1981b) *La práctica de la deformación craneana entre los pueblos andinos precolombinos*. Chungará; 7: 238-260. Departamento de Antropología, Universidad del Norte, Arica. Chile.

ALLISON MJ, FOCACCI G, ARRIAZA B, STANDEN V, RIVERA M, LOWENSTEIN JM (1984) *Chinchorro, momias de preparación complicada. Métodos de momificación*. Chungará; 13: 155-173. Universidad de Tarapacá, Arica. Chile.

AUFDERHEIDE C, KELLEY MA, RIVERA M, GRAY L, TIESZEN LL, IVERSEN E, KROUSE HR, CAREVIC A (1994) *Contributions of chemical dietary reconstruction to the assessment of adaptation by ancient highland immigrant (Alto Ramírez) to coastal conditions at Pisagua North Chile*. J Archaeol Sci.; 21(4): 515-524. Academic Press, UK.

BAAB K, FREIDLINE S, WANG, HANSON T (2010) *Relationship of cranial robusticity to cranial form, geography and climate in Homo sapiens*. Am. J. Phys. Anthropol. (January) 141(1): 97-115.

BASTIR M, ROSAS A (2005) *Hierarchical nature of morphological integration and modularity in the human posterior face*. Am. J. Phys. Anthropol. 128(1):26–34.

BEGUELIN M, BARRIENTOS G (2006) *Variación morfométrica postcraneal en muestras tardías de restos humanos de Patagonia: una aproximación biogeográfica*. Intersecciones antropol. Diciembre; 7: 49-62, Olavarría.

BJÖRK A (1947) *The face in profile*. Svensk, Tandlak, Tidsskr; 40, Suppl. 5b.

BOOKSTEIN FL (1991) *Morphometric Tools For Landmark Data: Geometry And Biology*. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press. 455 pp.

BROADBENT BH (1937) *Bolton standards and technique in orthodontic practice*. Angle Orthod.; 7: 209-233.

BRODIE AG (1941) *On the growth pattern of the human head from the third month to the eight year of life*. Am. J. Anat.; 68: 209-262.

BRUHN CH, HOFRATH H, KORKHAUS G (1944) *Ortodoncia. Escuela Odontológica Alemana, Tomo Cuarto*. Ed. Labor S.A. Traducción de la Segunda Edición Alemana. Barcelona, España.

CERAJEWSKA TL, SINGH GD (2002) *Morphometric analyses of the mandible in prepubertal craniofacial microsomnia patients treated with an inverted-L osteotomy*. Clinical Anatomy; 15:100–107.

COCILOVO JA (1978) *Estudio de dos factores que influyen en la morfología craneana en una colección patagónica: el sexo y la deformación artificial*. *Arquivos Anat e Antrop.*; 3(3): 113-141. Rio de Janeiro.

COCILOVO JA (1994) *Biología de la población prehistórica de Pisagua. Continuidad y cambio biocultural en el Norte de Chile*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina; pp. XIV+251.

CORTÉS J, GRANIC X (2006) *Caractéristiques cranio-faciales chez un groupe de patients chiliens atteints de fente labio-maxillo-palatine unilatérale opérée*. *Rev. Stomatol. Chir. Maxillofac*; 107: 347-353.

COULY G (1980) [*The human cartilaginous mesethmoid (author's transl)*] *Rev. Stomatol. Chir. Maxillofac*; 81(3):135-51.

CHANG HP, CHUANG MC, YANG YH, LIU PH, CHANG CH, CHENG CF, LAI JP (2005a) *Maxillofacial growth in children with unilateral cleft lip and palate following secondary alveolar bone grafting: an interim evaluation*. *Plast Reconstr Surg*. Mar;115(3):687-95.

CHANG HP, LIN HC, LIU PH, CHANG CH (2005b) *Midfacial and mandibular morphometry of children with Class II and Class III malocclusions*. *J Oral Rehabil*. Sep;32(9):642-7.

DEL SOL, M. (2005) *Índice cefálico en un grupo de individuos mapuches de la IX Region de Chile*. *Int. J. Morphol*. 23(3): 241-246.

DELAIRE J (1976) *L'articulation fronto-maxillaire. Bases théoriques et principes généraux d'application des forces extra-orales postéro-antérieures sur masque orthopédique*. *Rev. Stomatol. Chir. Maxillofac*; 77(7): 921-930.

DELAIRE J (1978) *L'analyse architecturale et structurale cranio-faciale (de profil). Principes théoriques. Quelques exemples d'emploi en chirurgie maxillo-faciale*. *Rev. Stomatol. Chir. Maxillofac*; 79 (1): 1-33.

DELAIRE J, SALAGNAC JM (1977) *Anatomie et physiopathologie du pilier antérieur maxillaire et architecture faciale*. *Rev. Stomatol. Chir. Maxillofac*; 78(7):447-464.

DELAIRE J, SCHENDEL SA, TULASNE JF (1981) *An architectural and structural craneofacial análisis: a new lateral cephalometric analysis*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. Sep; 52(3):226-38

DEMBO A, IMBELLONI J (1938) *Deformaciones Intencionales del cuerpo humano de carácter étnico*. *Humanior*. Secc. A., 3, Bs As. Argentina.

DOWNS WB (1948) *Variations in facial relationship: Their significance in treatment and prognosis*. *Am. J. Orthod.*; 34: 812-840.

DOWNS WB (1952) *The role of cephalometric in orthodontic case analysis and diagnosis*. *Am. J. Orthod.*; 38: 162-182.

- DOWNS WB (1956) *Analysis of the dentofacial profile*. Angle Orthod.; 26: 191-212.
- ENLOW DH, HANS MG (1998) *Crecimiento Facial*. Editorial McGraw-Hill Interamericana, México.
- FRANCHI L, BACCETTI T, McNAMARA JA (2001) *Thin-Plate Spline Analysis of Mandibular Growth*. Angle Orthodontist; 71(2):83-92.
- GERSZTEN PC, GERSZTEN E (1995) *Intentional cranial deformation: a disappearing form of self-mutilation*. Neurosurgery; 37: 374-82.
- GOLALIPOUR M J (2006) *The effect of ethnic factor on cephalic index in 17-20 years old females of North of Iran*. Int. J. Morphol.; 24(3):319-322.
- HALAZONETIS D (2004) *Morphometrics for cephalometric diagnosis*. Am J Orthod Dentofacial Orthop.; 125:571-81.
- HAY AD, SINGH GD (2000) *Mandibular transformations in prepubertal patients following treatment for craniofacial microsomia: thin-plate spline analysis*. Clinical Anatomy; 13:361-372.
- HENNESSY RJ, STRINGER CB (2002) *Geometric morphometric study of the regional variation of modern human craniofacial form*. Am J Phys Anthropol.; 117: 37-48
- IMBELLONI J (1925) *Deformaciones intencionales del cráneo en Sud América*. Rev Mus La Plata; 27: 85-100. Bs As. Argentina.
- JARABAK JR, FIZZEL JA (1972) *Technique and treatment with the lighth wire appliance*. C.V. Mosby, St. Louis.
- KENDALL DG (1984) *Shape manifolds, Procrustean metrics and complex projective spaces*. Bulletin of London Mathematical Society; 16: 81-121.
- LESTREL PE, CESAR RM, TAKAHASHI O, KANAZAWA E (2005) *Sexual dimorphism in the Japanese cranial base: a Fourier-wavelet representation*. Am J Phys Anthropol. Nov;128(3):608-22.
- LIEBERMAN DE, ROSS CF, RAVOSA MJ (2000a) *The primate cranial base: ontogeny, function, and integration*. Am J Phys Anthropol. Suppl; 31:117-69.
- LIEBERMAN DE, PEARSON OM, MOWBRAYD KM (2000b) *Basiscranial influence on overall cranial shape*. J. Hum. Evol. Feb; 38(2): 291-315.
- MANRÍQUEZ G, LLOP E (2004) *Bioantropología de las poblaciones del extremo austral*. En *Poblaciones Chilenas: Cuatro Décadas de Investigaciones Bioantropológicas*, editado por F. Rothhammer y E. Llop, pp. 87-104. Editorial Universitaria, Santiago.

MANRÍQUEZ G, GONZÁLEZ F, SALINAS JC, ESPOUEYS O (2006) *Intentional cranial deformation in archeological populations of Arica (Chile): Preliminary geometric morphometrics analysis using craniofacial radiographs*. Chungará; 38 (1): 13-34.

McNAMARA JA, Jr. (1984) *Dentofacial adaptations in adult patients following functional regulator therapy*. Am. J. Orthod.; 85: 57-71.

MENDONÇA OJ, DI RIENZO JA (1982) *La deformación craneana artificial de la serie masculina de Morro de Arica (Chile)*. Rev Soc Arg Antrop.; 14(2): 49-66. Bs As. Argentina.

MOSS ML (1958) *The pathogenesis of artificial cranial deformation*. Am J Phys Anthropol. Sept; 16(3):269-286.

MOYERS RE, BOOKSTEIN FL (1979) *The inappropriateness of conventional cephalometrics*. Am J Orthod. 75: 599-617.

MUNIZAGA JR (1964b) *Deformación cefálica intencional (Análisis de algunas poblaciones precolombinas en el Norte de Chile)*. Antropología; 2(2): 5-18. Centro de Estudios Antropológicos, Universidad de Chile, Santiago. Chile.

MUNIZAGA JR (1974) *Deformación craneal y momificación en Chile*. Anales de Antropología; 11: 329-336. México.

NEUMAN GK (1942) *Types of artificial cranial deformation in the eastern United States*. Am Antiq 7:306–310.

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

ÖZBEK M (2001) *Cranial deformation in a subadult sample from Degirmentepe Chalcolithic, Turkey*. Am J Phys Anthropol.; 115:238-244.

PANCHERZ H, MICHAÏLIDOU CH (2004) *Temporomandibular joint growth changes in hyperdivergent and hypodivergent Herbst subjects. A long-term roentgenographic cephalometric study*. Am J Orthod Dentofacial Orthop.;126:153-6

PARANQUE A-R (2000) *Facteurs architecturaux cranio-faciaux prédisposant à la classe II squelettique isolés par l'analyse architecturale de Jean Delaire*. Rev. Stomatol. Chir. Maxillofac; 101 (1) : 3-11.

POWELL TV, BRODIE AG (1963) *Closure of the spheno-occipital synchondrosis*. Anat Rec. Sep;147:15-23.

RHODE MP (2002) *Cranial deformation and measurement stability among prehistoric south central Andean populations*. Am J Phys Anthropol.; [Suppl] 33:130.

- RHODE MP, ARRIAZA BT (2006) *Influence of Cranial Deformation on Facial Morphology Among Prehistoric South Central Andean Populations*. Am J Phys Anthropol.; 130:462–470.
- RICCI C, COVA M, KANG YS, YANG A, RAHMOUNI A, SCOTT WW JR, ZERHOUNI EA. (1990) *Normal age-related patterns of cellular and fatty bone marrow distribution in the axial skeleton: MR imaging study*. Radiology. Oct; 177(1):83-8.
- RICKETTS RM (1960) *Cephalometric syntesis*. Am. J. Orthod.; 46: 647-673.
- RICKETTS RM (1972) *The Value of cephalometrics and computerized technology*. Angle Orthod.; 42: 179-199.
- RICKETTS RM (1982) *The biologic significance of the divine proportion and Fibonacci series*. Am J Orthod. May;81(5):351-70.
- ROHLF FJ (2000) NTSYS-pc. Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System, v. 2.1a. Exeter Software (programa computacional).
- ROHLF FJ (2001) TPSdig, v. 1.31. NY: State University at Stony Brook (programa computacional).
- ROHLF FJ (2003a) TPSrelwarp, v. 1.35. NY: State University at Stony Brook (programa computacional).
- ROHLF FJ (2003b) TPSreg v. 1.27. NY: State University at Stony Brook (programa computacional).
- ROHLF FJ, MARCUS L (1993) *A revolution in morphometrics*. Trends in Ecology and Evolution; 8: 129-132.
- ROSAS A, BASTIR M (2002) *Thin-Plate Spline Análisis of Allometry and Sexual Dimorphism in the Human Craniofacial Complex*. Am J Phys Anthropol.; 117:236-245.
- SILVA AL, BUSTAMANTE S, MONTERO C (2005) *Cambios dimensionales de los Tamaños Maxilares y Altura Facial Antero-Inferior en Niños Chilenos*. Estudio Cefalométrico de Harvold. Revista Dental de Chile; 96 (1): 29-35.
- SILVA O (1980) *Culturas y Pueblos de Chile Prehispano*. Ed. Salesiana, Serie Cuadernos Históricos. Santiago, Chile.
- SINGH GD (2002) *Morphospacial analysis of soft-tissue profile in patients with Class II division 1 malocclusion treated using twin block appliances: geometric morphometrics*. Orthod Craniofacial Res.; 5: 38-50.
- SINGH GD, McNAMARA JA, LOZANOFF S (1997a) *Thin-plate spline analysis of the cranial base in subjects with Class III malocclusion*. European Journal of Orthodontics; 19:314-353.

SINGH GD, McNAMARA JA, LOZANOFF S (1997b) *Spline analysis of the mandible in humans subjects with Class III malocclusion*. Archs Oral Biol; 42(5):345-353.

SINGH GD, THIND BS (2003) *Effects of the headgearactivator Teuscher appliance in the treatment of class II division 1 malocclusion: a geometric morphometric study*. Orthod Craniofacial Res.; 6: 88–95.

SINGH GD, RIVERA-ROBLES J, DE JESUS-VINAS J. (2004) *Longitudinal craniofacial growth patterns in patients with orofacial clefts: geometric morphometrics*. Cleft Palate Craniofac J. Mar;41(2):136-43.

SLICE DE (2007) *Geometric Morphometrics*. Annu. Rev. Anthropol.; 36: 261-81.

STEINER CC (1953) *Cephalometrics for you and me*. Am. J. Orthod.; 39: 729-755.

STEINER CC (1959) *Cephalometrics in clinical practice*. Am. J. Orthod.; 29: 8-29.

STEINER CC (1960) *The use of cephalometrics as an aid planning and assessing orthodontic treatment*. Am. J. Orthod.; 46: 721-735.

STEWART TD (1943) *Skeletal remains from Paracas, Peru*. Am J Phys Anthropol.; 1:47-63.

THOMPSON D'ARCY (1917) *Sobre el crecimiento y la forma*. Hermann Blume Ediciones, Madrid, 1980. trad. de JM IBEAS. Cap. IX. Sobre la teoría de las transformaciones, o la comparación de formas relacionadas. pp. 259-312. España.

TORRES-ROUFF C (2007) *La Deformación Craneana en San Pedro de Atacama*. Estudios Atacameños 33:25-38.

VARELA HH, PRIOTTO JW, COCILOVO JA (1990c) *La edad como factor de variación intramuestral y su influencia en el dimorfismo sexual en una muestra de nativos de la Puna de Jujui*. Revista U.N.R.C.; 10(1): 43-50. Río Cuarto. Argentina.

VARELA HH, COCILOVO JA, VALDANO SG (1993) *Evaluación de la influencia del efecto sexo, edad y deformación artificial en la estimación de distancias biológicas por medio de la D^2 de Mahalanobis*. Bol Soc Esp Antrop Biol.; 14: 135-148. Madrid.

WEISS P (1961) *Osteología Cultural – Prácticas Cefálicas*. Segunda Parte, Anales de la Facultad de Medicina, Tomo XLIV, n 2, pp. 133-277, Lima.

11. ANEXO

Glosario de Términos para Morfometría Geométrica

Dennis E. Slice
Department of Ecology and Evolution
State University of New York at Stony Brook, Stony Brook, NY 11794-5245
e-mail: Dennis.Slice@sunysb.edu

Fred L. Bookstein
Institute of Gerontology
University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2007
e-mail: fred@brainmap.med.umich.edu

Leslie F. Marcus
Department of Biology
Queens College of CUNY
Flushing, NY 11367
and
Department of Invertebrates
American Museum of Natural History, CPW at 79th,
York, NY 10024
email: marcus@amnh.org

F. James Rohlf
Department of Ecology and Evolution
State University of New York at Stony Brook, Stony Brook, NY 11794-5245
e-mail: Rohlf@Life.Bio.SUNYSB.edu

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) – Es el análisis propio de la muestra de matriz de covarianza. Los Componentes Principales (PC's) pueden ser definidos como el conjunto de vectores que son ortogonales tanto respecto a la matriz de identidad como a la muestra de matriz de covarianza. Ellos también pueden definirse secuencialmente: el primero es la combinación lineal que explica la mayor varianza de todos aquellos con coeficientes que suman en el cuadrado a 1; el segundo tiene la mayor varianza (cuando se normalizó de esta forma) de todos aquellos que no se correlacionan con el primero; y así sucesivamente. Una manera de computar los componentes principales es usar una descomposición de valor singular. Los *Relative Warps* son los componentes principales de los *Partial Warp Scores*.

ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN CANÓNICA - Es un método multivariado para evaluar las asociaciones entre dos juegos de variables dentro de un conjunto de datos. El análisis se enfoca en los pares de combinaciones lineales de variables (uno para cada grupo) ordenadas entre sí por la magnitud de sus correlaciones. El primero de tales pares es determinado para tener la correlación máxima de cualquiera de las combinaciones lineales. Los pares subsecuentes tienen la correlación máxima sujeta a la condición de ser ortogonales a aquéllos previamente determinados.

ANÁLISIS DE LAS VARIANTES CANÓNICAS - Es un método de análisis multivariado en que la variación entre los grupos se expresa relativo a la matriz de covarianzas intragrupo. El análisis de las variantes canónico encuentra transformaciones lineales de los datos los cuales maximizan la variación entre grupos relativo a la variación intragrupo. Las variantes canónicas

pueden entonces, desplegarse como una ordenación que muestre el centroide del grupo y su distribución dentro de los grupos. Esto puede interpretarse como un método de "reducción de datos" en el sentido que uno quiere describir las diferencias entre grupos con pocas dimensiones. Las variantes canónicas no se correlacionan, sin embargo los vectores de coeficientes no son ortogonales como en el Análisis de Componentes Principales. El método se relaciona estrechamente al análisis de varianza multivariada (MANOVA), el análisis discriminante múltiple y el análisis de la correlación canónica.

ANÁLISIS DE PLACA DELGADA TPS (thin-plate spline) – En un continuo mecánico, un análisis de placa delgada modela la forma tomada por una placa metálica que es encogida en alguna combinación de puntos y líneas, y por otra parte, libre de adoptar la forma que minimice la energía de torsión. (La magnitud de plegamiento puede ser tan pequeña como energía elástica –estiramientos y encogimientos en el plano de la placa original- que pueden descuidarse.) Una versión particular de este problema - una infinita placa uniforme contraída sólo por los desplazamientos a un juego de puntos discretos - puede resolverse algebraicamente por una inversión de la matriz simple. De esta forma, la técnica es un conveniente acercamiento general al problema de la interpolación de superficie para gráfica y diseños computacionales. En morfometría, la misma interpolación (aplicada a cada coordenada Cartesiana) provee una solución única a la construcción de grillas de deformación tipo - D'Arcy Thompson para datos en la forma de dos configuraciones de hitos.

CANÓNICO – Una descripción canónica de cualquier situación estadística es una descripción en términos de vectores extraídos cuyas relaciones ordenadas son especialmente simples. Por ejemplo, un análisis de correlaciones canónicas describe la relación entre dos listas de variables en términos de dos listas de combinaciones lineales que muestran un remarcado patrón de ausencia de correlación. Cada score (combinación lineal) de cualquier lista es correlacionada con sólo un score de la otra lista.

CONFIGURACIÓN DE CONSENSO – Un único juego de hitos intenta representar la tendencia central de una muestra observada para la producción de superposiciones, de una matriz de peso, o algún otro propósito morfométrico. A menudo una configuración de consenso se computa para optimizar alguna medida de ataque a la muestra completa: en particular, la forma media de Procusto se computa para minimizar la suma de distancias de Procusto al cuadrado de los hitos del consenso a aquéllos de la muestra.

COORDENADA DE FORMA – En el pasado, cualquier sistema de proporciones de distancia y proyecciones perpendiculares que permiten la reconstrucción exacta de un sistema de hitos por un trusswork rígido. Actualmente, en general, son coordenadas con respecto a cualquier base para el espacio tangente al espacio de la forma de Kendall en la vecindad de una forma promedio.

ENERGÍA DE TORSIÓN - Es una metáfora tomada prestada de la mecánica de placas metálicas delgada para el uso en morfometría. Imagine una configuración de hitos impresos en una infinitamente delgada placa plana de metal, y suponga que se toman las diferencias en las coordenadas de estos mismos hitos en otro cuadro, como los desplazamientos verticales perpendiculares a la placa misma. La energía de torsión de uno de estos "cambios de forma" fuera del plano es la energía (idealizada) que se necesitaría para doblar la placa de metal y hacer que los hitos fueran alzados o se bajarán apropiadamente.

ESPACIO CURVO – Es un espacio con coordenadas y una función de distancia tal que el área de círculos, el volumen de esferas, etc. no es proporcional al poder apropiado del radio, por ejemplo, el espacio de la forma de Kendall. En los espacios curvos, pueden esperarse las usuales intuiciones acerca de qué "líneas rectas" serán defectuosas. Por ejemplo, correspondiendo a cada forma triangular en el espacio de la forma de Kendall, hay otro que está "tan lejos de él como sea posible", igual como hay un punto en la superficie de la tierra tan lejos como sea posible de dónde usted se sienta ahora.

ESPACIO DE LA FORMA DE KENDALL - Es la construcción geométrica fundamental, debido a David Kendall, que está detrás de la morfometría geométrica. El espacio de la forma de Kendall provee una escena geométrica completa para los análisis de distancias de Procrustes entre los juegos arbitrarios de hitos. Cada punto en este espacio de la forma representa la forma de una configuración de puntos en algún espacio Euclideo, independiente del tamaño, posición y orientación. En el espacio de la forma, la distribución de los puntos corresponde a la distribución de las configuraciones de cada conjunto total de hitos, no meramente la distribución de hitos solos. La mayoría de los métodos multivariados de morfometría geométrica son linealizaciones de análisis estadísticos de distancias y direcciones en este espacio subyacente.

ESPACIO EUCLIDEANO – Es un espacio donde la distancia entre dos puntos es definida como distancia Euclidea en algún sistema de coordenadas.

ESPACIO TANGENTE - Informalmente, si S es un espacio curvo y P un punto en él, el espacio tangente a S en P es un espacio lineal T que tiene puntos con los mismos nombres que los puntos en S y en el cual la métrica sobre S "en la vecindad de P " es muy próxima a la métrica Euclidea ordinaria sobre T . Uno puede visualizar T como la proyección de S hacia un plano tangente que "toca" en P justo como un mapa es una proyección de la superficie de la tierra en un papel plano. En morfometría geométrica, el espacio de la tangente más pertinente es un espacio del vector lineal que está tangente al espacio de la forma de Kendall en un punto que corresponde a la forma de una configuración de referencia (normalmente tomado como la media de una muestra de formas). Si la variación en la forma es pequeña entonces las distancias Euclideas en el espacio tangente, pueden usarse para aproximar las distancias de Procrustes en el espacio de la forma de Kendall. Dado que el espacio tangente es lineal, es posible aplicar los métodos estadísticos convencionales para estudiar la variación en la forma.

FORMA (form) - En morfometría, nosotros representamos la forma de un objeto por un punto en un espacio de formas variables, las cuales son medidas de un objeto geométrico que está inalterado por las traducciones y rotaciones. Si usted permite reflexiones, es la posición de las formas para todas las figuras que tienen todas las mismas distancias interhito. Una forma normalmente se representa por uno de sus hitos en alguna ubicación específica y en alguna orientación específica. Cuando se representa de esta manera, la ubicación y orientación se dice que han sido "removidas".

FORMA (shape) - Son las propiedades geométricas de una configuración de puntos que son invariantes a los cambios de traslación, rotación y escala. En morfometría, nosotros representamos la forma (shape) de un objeto por un punto en un espacio de variables de la forma, las cuales son medidas de un objeto geométrico que está inalterado bajo las transformaciones de similitud. Para datos que son configuraciones de hitos, hay también una representación de formas per se, sin ninguno de los parámetros (posición, rotación, escala), como puntos únicos en un espacio, el espacio de la forma de Kendall, con una geometría dada por la distancia de Procrustes.

HITO (landmark) - Es un punto específico sobre una forma biológica o la imagen de una forma, ubicadas de acuerdo a alguna regla. Los hitos con el mismo nombre, homólogos en el sentido puramente semántico, se presume que corresponden de alguna manera sensata sobre las formas de un conjunto de datos.

HITO TIPO I - Es un punto matemático cuya homología exige ser soportado por la evidencia más fuerte, como un modelo local de yuxtaposición de tipos del tejido o un pequeño parche de alguna histología inusual.

HITO TIPO II - Es un punto matemático cuya homología exige ser soportado solamente por aspectos geométricos, no histológico: por ejemplo, la curvatura más afilada de un diente.

HITO TIPO III - Es un hito que tiene una coordenada deficiente, por ejemplo, el fin de algún diámetro más largo, o el fondo de una concavidad. Los hitos tipo III caracterizan más de una región de la forma. La maquinaria multivariada de la morfometría geométrica les permite ser tratados como puntos hito en algunos análisis, pero su deficiencia debe tenerse presente en el curso de cualquier interpretación geométrica o biológica.

HOMOLOGÍA - En la biología teórica, sólo las entidades explícitas de evolución o desarrollo, como las moléculas, órganos o tejidos, pueden ser "homólogas." Siguiendo a D'Arcy Thompson, los morfometristas aplican, en cambio, el concepto a las estructuras geométricas discretas, como puntos o curvas y, por una extensión, a descriptores multivariados (por ejemplo, los partial warp scores). En este contexto, el término "homólogo" no tiene ningún otro significado que el que se usa para las partes correspondientes en especies diferentes o en distintas fases de desarrollo. Similarmente, para declarar una interpolación (como en un análisis de placa delgada) con un "mapa de homologías" promedio uno intenta referir sus rasgos como si ellos dieran cuenta de explicaciones biológicas válidas en regiones entre los hitos sobre que no tenemos ningún dato.

MÉTODO DE PROCUSTO - Es un término usado para los métodos de los menores cuadrados para estimación de parámetros de transformaciones de similitud Euclideana. El adjetivo "Procusto" se refiere al mito griego del gigante posadero que estiraría o acortaría a sus víctimas para hacerlos encajar en una cama. Hurley y Cattell, 1962 fueron los primeros en usarlo en el contexto de métodos del superposición. El programa Procusto,; produciendo una rotación directa para probar un supuesto factor estructural (Behav. Sci. 7:258-262). Trabajos modernos han citado frecuentemente a Mosier (1939), un psicometricista, conocido como el primero en utilizar estos métodos. Sin embargo, Cole (1996) reportó que Franz Boas en 1905 sugirió el "método de menores diferencias" (el análisis de Procusto ordinario) como un medio de comparar los puntos homólogos para abordar problemas obvios con registros de punto-línea normales (Boas, 1905). Uno de los estudiantes de Boas extendió el método a la construcción de configuraciones promedio desde superposiciones de múltiples espécimenes usando loss registros normales del método de Boas (Phelps, 1932). Este es en esencia, un Análisis Generalizado de Procusto.

Referencias:

- Cole, T. M. 1996. Historical note: early anthropological contributions to "geometric morphometrics." Amer. J. Phys. Anthropol. 101:291-296.
 Boas, F. 1905. The horizontal plane of the skull and the general problem of the comparison of variable forms. Science, 21:862-863.
 Phelps, E. M. 1932. A critique of the principle of the horizontal plane of the skull. Amer. J. Phys. Anthropol., 17:71-98.
 Mosier, 1939, Determining a simple structure when loadings for certain tests are known, *Psychometrika* 4:149-162.

MORFOMETRÍA - Viene del griego: "morph", que significa forma, y "metron", medida. Las escuelas de morfometría se caracterizan por estudiar qué aspectos de las formas biológicas son de interés, escoger cuáles de ellos medir, y qué tipos de preguntas bioestadísticas serán útiles una vez hechas las medidas. Los métodos expuestos en este glosario dan énfasis a configuraciones de hitos de órganos enteros u organismos analizados por métodos de biometría invariante (covarianzas de taxonomía, tamaño, causa o efecto con la posición en el espacio de la forma de Kendall) apropiadas para contestar las preguntas biológicas. Otra clase de morfometría estudia secciones de tejido, mide la densidad de puntos y curvas, y usa estos modelos para contestar las preguntas sobre los procesos aleatorios que pueden estar controlando la ubicación de estructuras celulares. Un tercer método es la "alometría", que mide el tamaño de órganos por separados y pregunta por la correlación existente entre ellos y con las medidas de tamaño total. Hay muchos otros.

MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA - Es una colección de enfoques para el análisis estadístico multivariado de datos de coordenadas Cartesianas, normalmente (pero no siempre) limitado a la ubicación de puntos hito. La "geometría" a la que se refiere la palabra "geométrica" es la geometría del espacio de la forma de Kendall: la estimación de formas promedio y la descripción de variación muestral de formas usando la geometría de distancia de Procrustes. El análisis multivariado usado en morfometría geométrica, normalmente se lleva a cabo en un espacio lineal tangente al espacio de forma no Euclideo en la vecindad de la forma promedio. Más generalmente, es la clase de métodos morfométricos que conservan la información completa sobre los ajustes espaciales relativos de los datos a lo largo del análisis. Como tal, estos métodos permiten la visualización de las diferencias de grupo e individuales, variación muestral y otros resultados en el espacio de los especímenes originales.

MORFOMETRÍA MULTIVARIADA - Es un término usado históricamente para la aplicación de técnicas multivariadas standard para la medición de datos con propósitos de análisis morfométricos.

MORFOMETRÍA TRADICIONAL - Es la aplicación de métodos estadísticos multivariados a las colecciones arbitrarias de tamaño o variables de la forma como las distancias y ángulos. La "morfometría tradicional" difiere de la morfometría geométrica, aunque se definen distancias o medidas que registran aspectos biológicamente significativos del organismo, pero no se tienen en cuenta las relaciones geométricas entre estas medidas. La morfometría tradicional no hace ninguna referencia a las distancias de Procrustes o cualquier otro aspecto del espacio de la forma de Kendall.

ORTOGONAL - Corresponde a los ángulos rectos. En álgebra lineal, "ángulos rectos" definen una matriz simétrica P , como la matriz de energía de torsión; dos vectores x e y son ortogonales con respecto a P si $x'Py=0$. Los principales warps son ortogonales con respecto a la energía de torsión y los warps relativos son ortogonales tanto a la energía de torsión como a la matriz de covarianzas de la muestra.

RELATIVE WARPS - Los warps relativos son componentes principales de una distribución de formas en un espacio tangente al espacio de la forma de Kendall. Ellos son los ejes del "elipsoide" ocupados por la muestra de formas en una geometría en que las esferas están definidas por la distancia de Procrustes. Cada warp relativo, como una dirección de cambio de la forma sobre la forma promedio, puede interpretarse como múltiples especificaciones de una sola transformación, una transformación que puede, a menudo, ser útilmente sacada como un análisis de placa delgada. En un análisis de los warps relativos, el parámetro (α) puede usarse para pesar la variación de la forma por la escala geométrica de las diferencias de la forma. Los warps relativos pueden ser computados desde los residuales de Procrustes o de los warps parciales.

SUPERPOSICIÓN - Es la transformación de una o más figuras para lograr alguna relación geométrica con otra figura. Las transformaciones normalmente son transformaciones afines o similitudes. Ellos pueden computarse coincidiendo dos o tres hitos, por la optimización de las diferencias cuadradas de los residuales cuadrados en todos los hitos; o de otras maneras. A veces informalmente llamado un ataque o "encajando", por ejemplo, un ataque resistente.

SUPERPOSICIÓN ORTOGONAL - Es una superposición que sólo usa transformaciones que son todas similitudes Euclidianas, es decir, involucran sólo traslación, rotación, escala y, posiblemente, reflexión.

TAMAÑO DEL CENTROIDE - El Tamaño del Centroide es la raíz cuadrada de la suma de distancias cuadradas de un juego de hitos de su centroide o, equivalentemente, la raíz cuadrada de la suma de las variaciones de los hitos sobre ese centroide en x e y direcciones. El Tamaño del Centroide se usa en morfometría geométrica debido a que no está correlacionado con las variables de la forma cuando los hitos se distribuyen alrededor de las posiciones medias

por el ruido independiente de la misma variación pequeña en cada hito y en cada dirección. El Tamaño del Centroide es la medida de tamaño usada a escala a una configuración de hitos para que ellos pueden trazarse como un punto en el espacio de la forma de Kendall. El denominador de la fórmula para la distancia de Procrustes entre dos juegos de configuraciones de hitos es el producto de sus Tamaños del Centroide.

TRANSFORMACIÓN - En general, es un reemplazo de coordenadas de hitos por otra, pretendiendo pertenecer fijos a los mismos hitos. Por ejemplo, una matriz de coordenadas de hitos podría transformarse, por la multiplicación por otra matriz, en un nuevo juego de coordenadas que han sido escaladas, rotadas y trasladadas con respecto a los datos originales.

VARIABLE DE LA FORMA - Es cualquier medida de la geometría de una forma biológica, o la imagen de una forma que no cambia bajo las transformaciones de similitud: traslaciones, rotaciones y cambios de escala geométrica (agrandamientos o reducciones). Las variables de la forma útiles incluyen ángulos, proporciones de distancias y cualquiera de los juegos de coordenadas de la forma que se usan en morfometría geométrica.

REFERENCIAS

- Bookstein, F. L. 1991. Morphometric tools for landmark data. Geometry and biology. Cambridge University Press: New York.
- Bookstein, F. L., B. Chernoff, R. Elder, J. Humphries, G. Smith, and R. Strauss. 1985. Morphometrics in evolutionary biology: The geometry of size and shape change, with examples from fishes. Academy of Natural Sciences of Philadelphia Special Publication 15.
- Bookstein, F. L., and W. D. K. Green. 1993. A feature space for edgels in images with landmarks. *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 3:231–261.
- Hurley and Cattell. 1962. The Procrustes program: Producing a direct rotation to test an hypothesized factor structure. *Behavior Science* 7:258–262.
- Lele, S., and J. T. Richtsmeier. 1991. Euclidean distance matrix analysis: A coordinate free approach for comparing biological shapes using landmark data, *American Journal of Physical Anthropology* 86:415-428.
- Marcus, L. F., E. Bello, and A. García-Valdecasas (eds.). 1993. Contributions to morphometrics. Monografías del Museo Nacional de Ciencias Naturales 8, Madrid.
- Mosier, C. I. 1939. Determining a simple structure when loadings for certain tests are known. *Psychometrika* 4:149–162.
- Reyment, R. A. 1991. Multidimensional palaeobiology. Pergamon Press: Oxford.
- Reyment, R. A., and K. G. Jöreskog. 1993. Applied factor analysis in the natural sciences. Cambridge University Press: Cambridge.
- Rohlf, F. J., and F. L. Bookstein (eds.). 1990. *Proceedings of the Michigan morphometrics workshop. University of Michigan Museum of Zoology Special Publication 2.*

Revised Feb. 12, 2009 by F. James Rohlf

Slice DE, Bookstein FL, Marcus LF, Rohlf FJ, A Glossary for Geometric Morphometrics. Búsqueda 12 de Enero 2010. <http://life.bio.sunysb.edu/morph/glossary/gloss1.html>