



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

Facultad de Ciencias Sociales

**Departamento de Antropología**

**EFFECTOS DE LA DEFORMACIÓN CRANEANA  
INTENCIONAL SOBRE LA EXPRESIÓN DEL DIMORFISMO  
SEXUAL EN CRÁNEOS ADULTOS:  
UN ANÁLISIS MORFOMÉTRICO GEOMÉTRICO.**

*Memoria para optar al Título de Antropólogo Físico.*

Rodrigo Retamal Yermani.  
**Profesor Guía:** Germán Manríquez,  
Programa de Genética Humana, ICBM,  
Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

**Tesis realizada con financiamiento parcial del Proyecto FONDECYT 1020375**

Santiago, Chile  
2004

# **INDICE**

A.	<b>INDICE</b>	ii
B.	<b>RESUMEN</b>	iv
1.	<b>PROLOGO</b>	v
1.1	<b>AGRADECIMIENTOS</b>	vii
2.	<b>INTRODUCCION</b>	1
2.1	Antecedentes del Problema de Investigación	3
2.1.1.	Deformación Craneana Intencional (D.C.I.)	3
2.1.1.1	Breve Historia de la D.C.I.	5
2.1.1.2	D.C.I. en los Andes Centro-Meridionales	8
2.1.1.3	El Problema de la Clasificación	9
2.1.1.4	Efectos de la D.C.I. sobre la morfología calvaria.	12
2.1.1.5	Efectos de la D.C.I. sobre el dimorfismo sexual	17
2.2	Objetivos	21
2.2.1	Objetivos Generales	21
2.2.2	Objetivos Específicos	21
2.3	Hipótesis	21
2.3.1	Hipótesis Estadísticas	21
2.3.2	Hipótesis Biológicas	22
2.3.3	Predicciones derivadas de las hipótesis	22
3	<b>MATERIAL Y METODOS</b>	22
3.1	Composición de la Muestra	22
3.2	Muestra Cementerio General	22
3.3	Muestra Pica 8	24
3.4	Muestra Pisagua	26
3.5	Métodos	28
3.5.1	Análisis de Landmarks o Hitos Anatómicos	31
4	<b>RESULTADOS</b>	43
4.1	Análisis intrapoblacional	43
4.1.1	Cementerio General	43
4.1.1.1	Vista Frontal	43
4.1.1.2	Vista Lateral	45
4.1.2	Pica 8	46
4.1.2.1	Vista Frontal	46
4.1.2.2	Vista Lateral	47
4.1.3	Pisagua	50
4.1.3.1	Vista Frontal	50
4.1.3.2	Vista Lateral	52
4.2	Análisis entre Poblaciones	54
4.2.1	Vista Frontal	54
4.2.2	Vista Lateral	57

5	<b>DISCUSION</b>	61
5.1	Dimorfismo Sexual	61
5.2	Efecto de la D.C.I. sobre el Dimorfismo Sexual	63
5.3	La variación de la forma en Vista Frontal como estimador de afinidades biológicas entre poblaciones	67
5.4	El Tamaño del centroide como estimador de la variación del tamaño en ausencia de alometría	69
5.5	La Vista Lateral	70
6	<b>CONCLUSIONES</b>	72
7	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	74
	<b>ANEXO 1</b> Tablas con resultados de análisis confirmatorio	86
	<b>ANEXO 2</b> Mapas de homologías	89
	<b>ANEXO 3</b> Aplicaciones de la morfometría geométrica en Antropología Física	91
	<b>ANEXO 4</b> Gráficos de dispersión y funciones de deformación de placa delgada (tps)	94
	<b>ANEXO 5</b> Comparación con otras poblaciones	101
	<b>ANEXO 6</b> Glosario de términos frecuentes	106

## RESUMEN

Se estudió el efecto de la Deformación Craneana Intencional (D.C.I.) sobre la expresión del dimorfismo sexual (D.S.) en la morfología calvaria humana (vistas lateral y frontal) empleando métodos de la morfometría geométrica (M.G.). La muestra estuvo compuesta por colecciones prehispánicas del norte de Chile (Pica 8 y cementerios A, B, C, D, y H de Pisagua) y subactuales (Cementerio General, Santiago) el cual fue utilizado como grupo control (sexo conocido, sin DCI). De las vistas fotográficas frontal (N= 131) y lateral (N= 127) de cada cráneo se obtuvieron matrices de hitos anatómicos homólogos, que se emplearon para estimar por análisis de Procrustes el tamaño del centroide y los componentes uniforme y no uniforme de la forma. La inspección visual del patrón de deformación calvaria se realizó sobre grillas cartesianas derivadas del análisis de deformación relativa.

Los resultados del análisis intrapoblacional en vista frontal mostraron diferencias significativas debidas al sexo, y en el caso de la Población de Pisagua, a la interacción de esta variable con el efecto de la D.C.I. El mapa de homologías utilizado en vista lateral no dio cuenta del dimorfismo sexual en ninguna de las poblaciones analizadas.

Las principales diferencias morfológicas explicadas por el dimorfismo sexual se ubican en la vista frontal, (expansión-contracción transversal de la cara, expansión-contracción de la escama frontal y expansión-contracción vertical de la región facial).

La D.C.I. afectó significativamente las expansiones y contracciones en sentido transversal, así como las contracciones y expansiones de la escama frontal en sentido cráneo-caudal.

En vista frontal las diferencias en el tamaño del centroide no resultaron significativas, a excepción de Pisagua, probablemente debido a la interacción de la variable escalar con el efecto D.C.I. En vista lateral el tamaño del centroide discriminó significativamente a las poblaciones en estudio.

A nivel interpoblacional las vistas frontales se agruparon por origen étnico. Estos resultados permiten concluir que no hay efecto de la D.C.I. sobre el D.S., ni está siendo explicado por diferencias de tamaño en vista frontal, en tanto que en vista lateral, este último factor sí está afectando el patrón de variación de la forma.

En conclusión, la técnica de la morfometría geométrica logra capturar eficazmente estas variaciones morfológicas debidas al D.S., que resultan independientes de la D.C.I. en vista frontal

## **1. PROLOGO**

Gracias a la creación de la carrera de Antropología Física en la Universidad de Chile en el año 2002, esta Casa de Estudios ha permitido abrir paso a una disciplina que históricamente en nuestro país ha tenido un impacto científico bastante menor en comparación con sus disciplinas hermanas (Antropología Social y Arqueología). Este logro no hubiera sido posible sin la perseverancia de los académicos de esta especialidad en nuestra Facultad, quienes depositaron años de esfuerzo para abrir paso a las futuras generaciones, tanto dentro de la Antropología como de las Ciencias Biomédicas. De hecho, esta tesis es consecuencia del vínculo que se ha generado entre el Departamento de Antropología y el Programa de Genética Humana del Instituto de Ciencias Biomédicas y refleja los años de relaciones que ha mantenido nuestro Departamento con la Facultad de Medicina<sup>1</sup>.

Desde el año 2005, ya se puede afirmar el inicio de un período de institucionalización de la Antropología Física en Chile, con un nivel de enseñanza que agrupa a docentes de diversos ámbitos del quehacer biológico y antropológico. En un futuro muy próximo se espera que profesionales de esta área se desenvuelvan en las Ciencias Forenses, Arqueología, Genética de Poblaciones, Salud Pública, Ergonomía y Paleoantropología, entre otras.

Los jóvenes estudiantes y futuros profesionales de esta carrera tenemos la gran tarea de hacer acopio de conocimientos necesarios que logren afianzar esta incipiente pero aguerrida disciplina, tanto en el ámbito nacional como internacional.

Por una parte, debemos impulsar la puesta en valor de las colecciones esqueléticas existentes de nuestro país, generando bases de datos confiables y accesibles de este material.

Por otra parte, motivados por los métodos y técnicas de análisis utilizados en otras ciencias, debemos hacer revisión de problemas clásicos y novedosos de investigación, con el fin de dar cuerpo a nuestra disciplina y posicionarla tanto a nivel nacional como internacional.

---

<sup>1</sup> Rothhammer y Aspillaga, 2003.

## *1.1 AGRADECIMIENTOS*

En la preparación de la presente Memoria de Título, he debido recurrir al apoyo de diversos profesores e investigadores quienes han respondido las más diversas dudas y me han aconsejado con valiosos comentarios. A todos ellos les debo mi más sincero agradecimiento.

En la revisión del manuscrito y en la corrección de muchos errores le doy mi más profunda gratitud a los profesores Baruch Arensburg, Eugenio Aspillaga, Mario Castro y al Señor Luis Catalán.

Agradezco también la generosa ayuda que me brindó Oscar Espouey al brindarme material de apoyo y responder muchas de las dudas concernientes a la deformación craneana intencional y a tantas otras dudas.

En esta profunda aventura de la Antropología Biológica me ha sido posible avanzar gracias a la presencia y preocupación del Profesor Eugenio Aspillaga Fontaine, quien ha sido uno de los gestores principales de la Especialización de Antropología Física de la Universidad de Chile. Finalmente, una profunda deuda de gratitud a mi profesor tutor, profesor Germán Manríquez, quien consolidó enormemente mi desarrollo como investigador, no solamente en el área en particular, sino que en gran parte del quehacer bioantropológico.

## **2. INTRODUCCION**

Uno de los temas clásicos de la Antropología Física es el estudio de la Deformación Craneana Intencional (D.C.I.), práctica común en varias poblaciones a lo largo de todo el mundo<sup>1</sup>. La clasificación y tipología de las diferentes deformaciones, junto con los efectos que produce en el cráneo, los eventuales efectos neurológicos y, más relacionados con la Etnología y la Arqueología, cuáles fueron los motivos culturales que motivaron a estas poblaciones a desarrollar tal práctica, han sido algunas de las preguntas más recurrentes. Quizás por ser la D.C.I., un fenómeno de base cultural que modifica la morfología normal del cráneo humano, lo que implica una interacción entre biología y cultura, además de conllevar por ello, la dificultad de una clasificación precisa que englobe todos los tipos observados (por lo menos para una zona en particular), es que tanta atención se ha depositado sobre este tema<sup>2</sup>.

Dentro de las características morfológicas que supuestamente se ven afectadas por la D.C.I., se encuentra el dimorfismo sexual. Un problema que no se ha resuelto del todo, es la estimación del sexo en cráneos deformados, ya que aparentemente, esta práctica alteraría hitos que se utilizan comúnmente para analizar el dimorfismo sexual. Algunos autores<sup>3</sup>, utilizando procedimientos derivados de la Morfometría Lineal o Clásica, han sugerido que la D.C.I. no posee un efecto significativo sobre el dimorfismo sexual en ciertas zonas de la región facial, por lo que la estimación del sexo en cráneos humanos no debería verse afectada por la presencia de especímenes deformados artificialmente. Luis Alberto Cocilovo<sup>4</sup>, por ejemplo, sugiere que existen ciertas zonas en el esplanocráneo que no sufren alteración producto de la D.C.I., estableciendo de este modo, seis (6) medidas para la estimación del dimorfismo sexual,

---

<sup>1</sup> Gertzen y Gertzen, 1995

<sup>2</sup> Dembo e Imbelloni [s.f]; Gertzen y Gertzen, 1995; Imbelloni, 1925.

<sup>3</sup> Cocilovo, 1978.

<sup>4</sup> Cocilovo, 1975

eventualmente no afectadas por la D.C.I., todas ubicadas en la región facial (ancho frontal mínimo, ancho bizigomático, altura nasal, altura orbital, ancho orbital, ancho palatal). Sin embargo, otros autores<sup>5</sup> han puesto a prueba la afirmación de Cocilovo. Rhode<sup>6</sup>, por ejemplo, puso a prueba diez (10) de las medidas sugeridas por Cocilovo<sup>7</sup>, supuestamente inalteradas por la práctica de la D.C.I., en una colección de cráneos pertenecientes al Valle de Azapa. Sus resultados dieron cuenta que existe un efecto significativo de la D.C.I. en seis de las diez medidas propuestas por Cocilovo, refutando así, parcialmente, esta afirmación.

Actualmente y con el desarrollo de la Morfometría Geométrica<sup>8</sup> (M.G.), se intenta evaluar las hipótesis derivadas del análisis morfométrico lineal. Este nuevo enfoque, en contraste con la Morfometría Lineal o Clásica, ha permitido analizar con mayor precisión la variación de la forma (dinámica morfológica) de los objetos biológicos, al recuperar la información espacial (geométrica) de ellos, particionando los componentes de la forma de otros componentes independientes de ésta, como la rotación, la traslación y el tamaño. Además, la M.G. permite incorporar al análisis las variables que eventualmente explican la variación de los componentes de la forma.

Sobre la base de este enfoque, el presente estudio tiene como tema de interés explorar los siguientes problemas:

1. ¿Cuál es el efecto de la D.C.I. sobre la expresión morfológica (fenotípica) de los caracteres secundarios del dimorfismo sexual en cráneos de poblaciones prehispánicas de Chile?
2. ¿Cuál es el patrón de variación normal y con D.C.I. de estas poblaciones?

---

<sup>5</sup> Anton, 1989; Cheverud et al, 1992; Kohn et al., 1993; Rhode, 2001, 2002.

<sup>6</sup> Rhode, 2001, 2002

<sup>7</sup> Cocilovo, 1975

<sup>8</sup> rev. Rohlf & Marcus, 1993, O'Higgins, 2000

3. ¿Cuáles son los hitos anatómicos que mayormente se ven afectados por estas variables?

## **2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1.1.: DEFORMACIÓN CRANEANA INTENCIONAL (DCI)**

La D.C.I. puede ser agrupada bajo el concepto de automutilación humana<sup>9</sup>, el que engloba diferentes tipos de prácticas que tienen en común la intención de modificar de manera permanente alguna región del cuerpo humano. Esta modificación puede tener diferentes objetivos: estéticos, morales y sociales, generalmente. Entre las prácticas más comunes de automutilación están el tatuaje, el *piercing* (uso de aros en diferentes partes del cuerpo, generalmente en el lóbulo de la oreja), provocación de heridas intencionales, circuncisión, clitoridectomía, deformación del pie, mutilación dental, uvulectomía y D.C.I. De todas las prácticas mencionadas, la deformación del pie y la D.C.I. comparten la propiedad de deformar estructuras esqueléticas.

Para este trabajo, entendemos como deformación sobre el esqueleto, dos significados no excluyentes entre sí:

1. Un trauma sobre un período extenso de tiempo, que modifica la forma normal del hueso. El principio básico es la aplicación, durante un largo período de tiempo, de una presión deformante sobre uno o varios huesos que resultan en una deformación permanente<sup>10</sup>.
2. El producto de una distorsión dinámica de los vectores normales del crecimiento y desarrollo infantiles, por la aplicación de fuerzas externas<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup> Gerszten & Gerszten, 1995

<sup>10</sup> Ortner y Putchar, 1981

<sup>11</sup> Moss, 1958

En base a lo anterior, entenderemos por D.C.I. al proceso de distorsión traumática practicado sobre el cráneo humano, específicamente sobre el neurocráneo, el cual posee una intencionalidad por parte de sus realizadores. Esta práctica es aplicada desde la primera infancia y, eventualmente, puede durar toda la vida.

Siendo la D.C.I. una interacción entre presiones mecánicas de origen cultural (la aplicación de tablillas, vendas u otros aparatos deformadores) y biológicas (vectores del crecimiento y desarrollo craneano normal), su estudio representa una tarea especialmente compleja e interesante. Compleja, debido a que las presiones culturales pueden variar enormemente entre individuos. Por ejemplo, en la aplicación de un mismo aparato, pero con diferente intensidad, en una misma zona entre diferentes individuos; en la aplicación de un mismo aparato deformante, pero en diferentes lugares o con diferente inclinación; o en la combinación de diferentes aparatos deformadores, y eso sólo por dar algunos ejemplos.

Además, es de interés para la Antropología Física, porque las presiones biológicas también presentan variabilidad en la expresión morfológica del cráneo humano. Desde finales del siglo XIX y durante toda la primera mitad del siglo pasado, diversos investigadores han descrito, analizado y cuantificado la variabilidad expresada en la morfología craneal<sup>12</sup>; conceptos tan comunes en Antropología Física como braquicefalia, dolicocefalia, ortognato, prognato, platibasía, entre muchos otros, derivan, generalmente, del cálculo de distancias entre hitos anatómicos, los cuales buscan dar cuenta de la variabilidad morfológica presente en el cráneo humano.

Por otra parte, debido a que la práctica de la D.C.I. se encuentra casi extinguida, es posible la observación del proceso deformatorio que se lleva a

---

<sup>12</sup> Broca, 1875; Buxton y Morant, 1933; Chamberlain, 1939; Ferembach, 1974; Frassetto, 1950; Hagedorn y Keers, 1937; Howells, 1937, 1957, 1973; Hrdlicka, 1950, 1952; Lee y Pearson, 1901; Le Double, 1903, 1906; Leschi, 1951; Morel, 1964; Olivier, 1960; Stewart, 1942; Todd, 1923; Vallois, 1965; Wilder, 1920.

cabo durante el crecimiento y el desarrollo de los niños tratados y la investigación de esta práctica debe limitarse a los resultados observados en colecciones prehistóricas.

#### **2.1.1.1.: BREVE HISTORIA DE LA D.C.I.**

El interés por el estudio de la D.C.I. data desde la antigüedad, con Hipócrates (ca. 400 a.C.), Heródoto, Aristóteles, Strabo y Plinio<sup>13</sup>, quienes fueron los primeros en documentar esta práctica en diferentes sociedades de sus épocas, reduciendo su investigación a mencionar las prácticas observadas en diferentes culturas.

Durante el Renacimiento, Girólamo Carcomo<sup>14</sup>, en 1557 compara varios métodos de deformación craneana.

Durante el siglo XIX, se desarrolla un intenso período de investigación en torno a este tema; es así que diversos autores<sup>15</sup>, describen las formas observadas de D.C.I., reconocen la diferencia entre D.C.I. y deformación craneana no intencional, observando deformaciones intencionales en cráneos de Neandertales.

Los primeros intentos de clasificación son aportados por Lunier, Topinard, Magitot<sup>16</sup>. Rudolf Virchow, en 1892<sup>17</sup> discute, por primera vez, la craneometría en varios cráneos deformados.

Ales Hrdlicka<sup>18</sup>, en 1919 realiza una investigación en donde discutió todos los tipos conocidos de deformación e intenta hacer algunas comparaciones generales al respecto. La diferencia entre estos autores y los que vendrían en el futuro, radica en que el enfoque aportado por los primeros

---

<sup>13</sup> En Gerszten y Gerszten, 1995.

<sup>14</sup> Ob. cit.

<sup>15</sup> J.J. Virey (1815), L.A. Gosse (1855), Sir Daniel Wilson (1862), R. Knox (1863), L. Lunier (1869) en Gerszten y Gerszten, 1995.

<sup>16</sup> Lunier (1869), Topinard (1879), E. Magitot (1884) en Gerszten y Gerszten, 1995.

<sup>17</sup> Ob. cit.

<sup>18</sup> Op. cit.

se centra en el resultado de la deformación, en tanto que los segundos integran el análisis del aparato deformador que eventualmente produjo los resultados observados.

Respecto a las clasificaciones realizadas por Dembo e Imbelloni, por una parte y Falkenburger y Neuman por otra, Cocilovo<sup>19</sup> comenta que los criterios de diagnóstico realizados por estos investigadores se basaban en la correlación entre la anatomía específica del cráneo con un tipo de aparato en particular.

Durante el siglo XX, se aplicaron técnicas derivadas de la Morfometría Lineal o Clásica, (ANOVA, MANOVA, análisis de funciones discriminantes, regresión simple, múltiple y multivariada; coeficiente de correlación, entre otros), para poder analizar las variaciones experimentadas por los cráneos humanos frente al fenómeno deformatorio. La aplicación de estas técnicas logró generar las primeras tipologías basadas no solamente en observaciones al “ojo desnudo”, sino que poseían un respaldo cuantitativo que permitió un avance hacia las contrastaciones de las clasificaciones y una mayor rigurosidad de la clasificación<sup>20</sup>.

En Sudamérica, Dembo e Imbelloni fueron los primeros en estudiar la práctica de la D.C.I., desarrollando un método de clasificación basado en una nomenclatura binomial, que integraba el elemento deformador y la forma resultante. Eric John Dingwall<sup>21</sup>, realizó una revisión completa de la literatura que describe los procedimientos y detalló su distribución geográfica. También, Thomas Dale Stewart<sup>22</sup>, estudió detalladamente la práctica de la D.C.I. en toda América y expuso las deficiencias del uso de cualquier criterio de clasificación realizado hasta ese momento. En tanto, Juan Munizaga (1965, 1966, 1974) planteó que la introducción de la deformación craneana intencional en la costa del Pacífico sudamericano habría ocurrido en el 3400 a.P. y que las

---

<sup>19</sup> Op. cit.

<sup>20</sup> Falkenburger, 1938; Neuman, 1942; en Cocilovo, 1994; Dembo e Imbelloni s/f; Dingwall, 1931, entre los de mayor renombre.

<sup>21</sup> Dingwall, J. 1973.

<sup>22</sup> Stewart, 1973.

deformaciones de tipo tabular erecto habrían tenido su origen desde el ecuador desde el Período Formativo y posteriormente se habría difundido hacia la costa del Ecuador y del Perú. Además, plantea que las deformaciones tabulares erectas y las circulares o anulares serían dos grandes tradiciones de deformación craneana intencional de origen relativamente simultáneo que se habrían originado en la costa de Ecuador y Perú y en la costa de Chile, respectivamente.

La aplicación de análisis estadísticos multivariados sobre datos extraídos por Morfometría Lineal, condujo a la contrastación de hipótesis que buscaban aumentar la precisión de los análisis. Junto con ello, comenzaron a discutirse las clasificaciones aportadas por autores clásicos como Imbelloni<sup>23</sup>.

En la actualidad, con el desarrollo de la Morfometría Geométrica, se ha retomado el problema de la D.C.I., el cual fue perdiendo interés durante las últimas décadas del siglo pasado. En general, los problemas de investigación siguen siendo los mismos, pero se han cambiado las técnicas de análisis.

Con esto se pretende discutir las hipótesis derivadas de los análisis morfométricos clásicos a partir de una metodología innovadora.

Así es como Frieß y Baylac<sup>24</sup> realizaron análisis del contorno de cráneos con deformaciones (Análisis de Fourier de contornos de Procrusto alineados) en colecciones prehispánicas peruanas.

En nuestro país, Manríquez *et al.*<sup>25</sup>, utilizando morfometría geométrica, realizaron un estudio comparativo en radiografías de cráneos no deformados y con D.C.I. entre la población de Morro de Arica y Pisagua, utilizando como grupo control la población chilena actual.

Dentro del área andina centro-meridional, zona de interés de la presente investigación, los estudios comenzaron durante la primera mitad del siglo

---

<sup>23</sup> Cocilovo, 1973, 1975, 1978, 1982, 1984 *en* Cocilovo, 1995; Cocilovo y Baffi, 1985, *en* Cocilovo, 1995; Cocilovo *et al.*, 1982; Cocilovo *et al.*, e.p.; Moss, 1958; McNeill y Newton, 1965; Anton, 1989; Cheverud *et al.*, 1992; entre otros.

<sup>24</sup> Frieß y Baylac, 2003.

<sup>25</sup> Manríquez, *et al.* (ms.)

pasado, con los trabajos de Dembo e Imbelloni. El impacto que marcaron estas investigaciones en Sudamérica fue tan importante, que los trabajos realizados posteriormente por otros autores, se han dedicado a discutir y contrastar este sistema clasificatorio, utilizando nuevas muestras o aplicando metodologías estadísticas multivariadas a los datos recogidos de la Morfometría Lineal<sup>26</sup>.

#### **2.1.1.2. D.C.I. EN LOS ANDES CENTRO-MERIDIONALES**

En los Andes Centro Meridionales, la D.C.I. tuvo un profuso desarrollo, tanto a nivel espacial como temporal, así como también en la diversidad de técnicas empleadas<sup>27</sup>.

No fue hasta la Conquista que esta técnica fue erradicada, por lo que se considera su desarrollo propio de las épocas prehistóricas americanas<sup>28</sup>.

El objetivo de la práctica de la D.C.I. en esta área se ha explicado principalmente por adscripción cultural. Weiss<sup>29</sup> realizó una síntesis sobre los objetivos de esta práctica. Según este autor, la adscripción cultural asociada a la práctica de la D.C.I. se relaciona tanto sincrónica, como diacrónicamente. Desde un punto de vista sincrónico, puede tener dos variantes: una, que establece diferencias interpoblacionales y la segunda, que establece diferencias intrapoblacionales. En tanto que la primera está asociada con adscripciones geográficas, culturales e identitarias, la segunda se relaciona más bien con la diferenciación entre castas o clases sociales dentro de una misma población.

Desde un punto de vista diacrónico, Weiss establece correspondencias entre períodos y tipos de D.C.I., lo que puede dar indicios acerca de las dinámicas sociales, como se observa en el caso de Pisagua<sup>30</sup>.

---

<sup>26</sup> Weiss, 1961; Antón, 1989, 1994; Ossenber, 1970; McNeill y Newton, 1965; Moss, 1958 (ver más abajo).

<sup>27</sup> Dembo e Imbelloni, s/f

<sup>28</sup> Weiss, 1961

<sup>29</sup> Weiss, ob. cit.

<sup>30</sup> Cocilovo, 1994.

### 2.1.1.3. El problema de la clasificación

Dembo e Imbelloni<sup>31</sup> fueron los primeros en criticar las clasificaciones realizadas por sus predecesores, principalmente europeos y norteamericanos, quienes, en vez de generar algún consenso sobre este tema conllevaron a mayores confusiones en la clasificación. Esto trajo como consecuencia la generación de una gran cantidad de denominaciones para cada tipo deformativo, los que no podían unirse bajo algún criterio común. Ello impulsó a Imbelloni a crear un sistema clasificatorio sintético, basado en las muestras de los Andes centro meridionales (Perú y norte de Argentina), el cual se basaba principalmente en la descripción de los resultados morfológicos que provocaba el uso de aparatos deformadores en el cráneo.

Como se puede observar en la Tabla I, Imbelloni estableció dos niveles para la clasificación de la D.C.I.: el primer nivel corresponde a los tipos esenciales de la plástica intencional y mientras que el segundo corresponde a variedades de grados y formas. Llama profundamente la atención, que dentro del primer nivel establezca, para la forma tabular, la inclinación de la bóveda craneana, en tanto que en la forma anular, esta característica se encuentre dentro del nivel de variedades, grados y formas. La figura IIa) muestra la clasificación del primer nivel desarrollado por Imbelloni, en donde no se incluye la inclinación de la bóveda para los tipos anulares, en tanto que la figura IIb) muestra, siguiendo el modelo clasificatorio planteado posteriormente por Allison *et al.*<sup>32</sup>, la posibilidad de generar una clasificación binomial, que consiste en la combinación entre el aparato deformador (tablas y vendas: tabular v/s anular), con la dirección de la deformación respecto al Plano de Frankfurt (erecto v/s oblicuo).

**Tabla I: Tabla Taxonómica de las Deformaciones Intencionales del Cráneo  
(Según Imbelloni: 1933 A, p.214).**

---

<sup>31</sup> Dembo e Imbelloni (s/f)

<sup>32</sup> Allison *et al.* 1984

TIPOS ESENCIALES DE LA PLASTICA INTENCIONAL	VARIEDADES, GRADOS Y FORMAS	CARACTER DISTINTIVO DEL PROCESO DEFORMANTE	DISPOSITIVOS TECNICOS
<p><b>Deformados TABULARES OBLICUOS (<i>Brachicephali artificiales oblicui</i>)</b></p>	<p>a) formas curvo-occipitales b) formas curvo-frontales c) grados intermedios d) grados extremos (Flat- heads de la literatura)</p> <p>Variedad Bilobados Variedad Trilobados</p>	<p>Compresión occipito-frontal mediante tabletas libres</p>	<p>Ligaduras sagitales y coronales aptas para imprimir surcos</p>
<p><b>Deformados TABULARES RECTOS (<i>Brachicephali artificiales erecti</i>)</b></p>	<p>a) formas plano-frontales b) formas plano-lámbdicas c) grados intermedios d) grados extremos (Cuneiformes de la literatura)</p> <p>Variedad Paralelepípedos</p> <p>Variedad Seudocirculares</p> <p>Variedad Bilobados y Trilobados</p>	<p>Compresión posterior por plano de decúbito</p>	<p>Compresión anterior por tableta</p> <p>Con detención del techo orbital y S 3 a veces de las sienes La cabeza se mantiene adherida a la cual mediante vendas o correas elásticas</p> <p>Ligaduras sagitales y coronales aptas para imprimir surcos</p>
<p><b>Deformados Anulares (<i>Orbiculares artificiales</i>)</b></p> <p><b>Ejemplares miméticos</b></p>	<p>Variedad Oblicuos Variedad Erectos</p> <p>Formas cilíndricas Formas cónicas</p>	<p>Compresión simétrica anular, por vendas o correas elásticas.</p>	<p>Intensidad de la plástica</p>

**TABLA II: a) original de Imbelloni (s/f) y b) Según Allison et al. 1984.**

	TABULAR	ANULAR
ERECTO	tabular erecto	anular
OBLICUO	tabular oblicuo	

	TABULAR	ANULAR
ERECTO	tabular erecto	anular erecto
OBLICUO	tabular oblicuo	anular oblicuo

Este esquema clasificatorio fue utilizado en muchos casos sin discusión en las colecciones de los Andes centro meridionales y aún se emplea en la actualidad. Sin embargo, presenta problemas metodológicos, debido a que incluye deformaciones evidentemente diferentes dentro de un mismo grupo, que da cuenta de un exceso de simplicidad al sistema de clasificación.

Espouey<sup>33</sup> afirma que este problema, en muchos casos, no proviene de la clasificación desarrollada por Imbelloni, sino que se debe a que los propios investigadores que intentan diagnosticar las deformaciones, siguiendo el primer nivel de clasificación, hacen caso omiso del segundo nivel. Sin embargo, en la literatura se mencionan reiteradamente discusiones que sostuvieron diferentes investigadores con Imbelloni, respecto a los criterios utilizados para definir algunos subtipos, como las variedades cuneiformes o pseudocirculares, tanto que el propio Imbelloni tuvo que enviar diversos comunicados para aclarar estas dudas<sup>34</sup>. Esto sugiere que la clasificación no estaba refinada completamente, aunque era posible realizar análisis comparativos con ella.

Weiss<sup>35</sup>, discute la clasificación de Imbelloni y afirma que no puede ser aplicada en el caso de Perú, debido a que provoca confusión entre las deformaciones: 1) se confunden variedades de deformados por cunas y bandas con el tipo tabular; 2) posee falta de precisión para reconocer las formas: un término encuadra formas distintas; 3) existe gran heterogeneidad entre los Phylum Tabulares y Anulares, debido a que se basa en una presuposición de

<sup>33</sup> Espouey, com. pers.

<sup>34</sup> Weiss, 1962; Soto-Heim, 1987.

relaciones fijas entre sistemas y formas, que en la práctica no se confirman; 4) se deducen los tipos a partir de la forma del cráneo y no de los aparatos deformadores, generando distorsión en la clasificación (este último problema se observa principalmente con la inclusión de almohadillas dentro de las vendas o llautu); 5) existe una insuficiencia en la nomenclatura y en la descripción durante el trabajo de relación entre deformación y cultura, que no logra desligar la clasificación con la descripción exhaustiva de la forma calvaria.

En consecuencia, Weiss propone un nuevo sistema de clasificación de las deformaciones peruanas, basado en la clasificación que adoptó Boas<sup>36</sup> para clasificar las deformaciones norteamericanas. Sin embargo, el sistema clasificatorio propuesto por Weiss se encuentra basado en simples denominaciones asociadas a localidades geográficas, criterio que impide la comparación, debido a que esta nomenclatura no apela a variables propias del cráneo o a la acción que provocó la deformación sobre éste, lo que produce una clasificación cualitativa, incapaz de ser analizada numéricamente, conjuntamente con presentar descripciones poco prolijas de cada tipo propuesto<sup>37</sup>.

Recientemente Espouey<sup>38</sup> ha propuesto un nuevo método taxonómico de las deformaciones que intenta superar los problemas presentes en las clasificaciones de sus predecesores, al reordenar de diferente manera las variables deformatorias que se han utilizado comúnmente para el área andina.

#### **2.1.1.4 Efectos de la D.C.I. sobre la morfología calvaria**

Respecto de los eventuales efectos que posee la D.C.I. sobre la morfología craneana, Moss<sup>39</sup> analizó el efecto de la D.C.I. sobre el basicráneo. Sus resultados revelaron que la deformación “vertical” (probablemente tabular

---

<sup>35</sup> Weiss, ob. cit.

<sup>36</sup> Boas, F. 1890.

<sup>37</sup> Cocilovo, 1994

<sup>38</sup> Espouey, e.p.

<sup>39</sup> Moss, 1958

erecta) produce una curvatura en la línea media basal, junto con elevación de la cresta petrosa y desviación ventral del plano del foramen mágnium, en tanto que la deformación “oblicua”, produce aplastamiento del basicráneo, junto con depresión de la cresta petrosa y desplazamiento dorsal del plano del foramen mágnium.

McNeill y Newton <sup>40</sup> realizaron una comparación entre cráneos sin deformación, con cráneos deformados “anteroposterior” (tabulares erectos) y “circunferenciales” (anulares oblicuos). Los resultados obtenidos sugieren que las modificaciones del neurocráneo producto de la D.C.I. producen variaciones en el grado de deformación del basicráneo. También se observa que en ambos tipos de deformaciones hay elevación del proceso orbital del frontal y de la cresta petrosa del temporal, una restricción de la rotación normal hacia abajo del foramen mágnium y un aplastamiento del basicráneo medio sagital.

Antón <sup>41</sup>, observa que las deformaciones anteroposteriores (tabulares para Imbelloni<sup>42</sup>) producen ensanchamiento del neurocráneo, concomitante con ensanchamiento de la cara, con un crecimiento adicional de la mayoría de las regiones laterales, junto con expansión lateral y aumento de la angulación de la base craneal, en tanto que las deformaciones circunferenciales (anulares según Imbelloni <sup>43</sup>), resultan en un angostamiento del neurocráneo y de la cara, conjuntamente con un angostamiento mediolateral y elongación anteroposterior de la base craneal<sup>44</sup>.

Cocilovo <sup>45</sup> comparó cráneos tabulares erectos con no deformados provenientes de cementerios ubicados en las cercanías de la localidad de Trelew, Argentina, lo que dio como resultado un efecto significativo de la D.C.I. sobre las variables métricas craneales, expresadas en un acortamiento

---

<sup>40</sup> McNeill y Newton, 1965

<sup>41</sup> Antón, 1989, 1994.

<sup>42</sup> Imbelloni, 1925.

<sup>43</sup> Imbelloni, op. cit.

<sup>44</sup> Antón, 1989; en Liebermann et al., 2000.

<sup>45</sup> Cocilovo, 1973.

anteroposterior, aumento de la altura y ancho de la bóveda, constancia de la capacidad craneana, modificaciones en el ancho del basicráneo y modificaciones en el esplacnocráneo.

En 1975, este mismo autor realizó análisis con materiales de Paucarcancha (Perú), observando que el efecto de la deformación circular erecta sobre la morfología craneana era escasa, encontrando diferencias solamente en la curva horizontal y longitud máxima<sup>46</sup>.

En 1982, Cocilovo<sup>47</sup> analizó el efecto de la deformación circular en el material de Morro de Arica, observando un severo efecto de la D.C.I. expresado en la disminución en longitud de inion, disminución del ancho máximo e incremento del diámetro biastérico, alteraciones del crecimiento normal del esplacnocráneo, principalmente a nivel de las longitudes y alturas, ya que los cráneos deformados presentan el rostro, la órbita y nariz más altos, junto con menor desarrollo longitudinal del paladar y porción maxiloalveolar. Cocilovo *et al.*<sup>48</sup> realizaron estudios en San Pedro de Atacama, pudiendo establecer reales diferencias entre individuos normales y deformados tabulares erectos y oblicuos y circulares erectos y oblicuos.

Recientemente se han desarrollado investigaciones en donde se aplica Morfometría Geométrica en los análisis relativos al efecto de la D.C.I. en la morfología calvaria. Frieß y Michel Baylac<sup>49</sup> realizaron análisis del contorno de cráneos con deformaciones (Análisis de Fourier de contornos de Procusto alineados) en colecciones prehispánicas peruanas. Los resultados confirman que las deformaciones circunferenciales o anulares muestran modificaciones en la región basioccipital, junto con un incremento de la proyección facial anterior e inferior. También se observa, comparado con la modificación facial, menor grado de estrechez en la región basioccipital. Estos autores no descartan que

---

<sup>46</sup> Cocilovo, 1975.

<sup>47</sup> Cocilovo, 1982.

<sup>48</sup> Cocilovo y Zavattieri, ep. en *Cocilovo, 1994*.

<sup>49</sup> Frieß y Michel Baylac, op. cit.

algunas modificaciones puedan estar relacionadas con los rasgos morfológicos propios de la población utilizada en el análisis.

Cocilovo<sup>50</sup> afirma que establecer una síntesis respecto del efecto de la D.C.I. sobre la morfología craneana no es una tarea fácil hasta el momento, sobre todo como se aprecia en la caracterización y tipología de las deformaciones. Sin embargo, acepta que se pueden realizar algunas inferencias al respecto. Así es como sintetiza el efecto de los diferentes tipos de deformaciones (empleando la clasificación de Imbelloni) sobre la morfología calvaria. Este autor sugiere que, en general, la D.C.I. posee un efecto conspicuo en glabella, vértex, inclinación del frontal, altura de la bóveda, protuberancia occipital externa, perfil craneano y por la presencia de plagiocefalia<sup>51</sup>.

Las características que Cocilovo observa entre las cuatro variedades clásicas creadas por Imbelloni, junto con la variante “no deformado” son:

1. **Circular Erecta C.E.:** desarrollo glabellar (menor que C.O.), vértex prominente, bóvedas altas, marcada protuberancia occipital externa, perfil craneano ovoide, menor crecimiento relativo de los arcos zigomáticos, tamaño total normal del cráneo, cráneos livianos.
2. **Circular Oblicua C.O.:** desarrollo glabellar, vértex prominente, mayor inclinación del frontal, perfil craneano ovoide, menor crecimiento relativo de los arcos zigomáticos, cráneos grandes.
3. **No Deformados N.D.:** baja proporción de glabellas prominentes, Protuberancia externa suave.
4. **Tabular Erecta T.E.:** marcada protuberancia occipital externa, sin perfil craneano característico, presencia de plagiocefalia, menor proporción de relieves fuertes, desarrollo medio del plano nugal, tamaño total normal del cráneo.

---

<sup>50</sup> Cocilovo, 1994.

<sup>51</sup> Cocilovo, op. cit., p. 109

5. **Tabular Oblicua T.O.:** bóvedas bajas, sin perfil craneano característico, presencia de plagiocefalia, suave desarrollo del plano nucal, cráneos livianos.

Otro punto que debe mencionarse es que este autor observa en su investigación que algunos rasgos asociados con la deformación artificial se distribuyen diferencialmente con respecto al sexo (op. cit., p. 175).

Manríquez *et al.*<sup>52</sup>, utilizando análisis morfométrico geométrico, realizaron un estudio comparativo entre cráneos no deformados y con D.C.I. entre la población de Morro de Arica y Pisagua. Los resultados obtenidos dan cuenta de que existe una clara separación entre ambos grupos, reflejado principalmente en el componente uniforme de la variación de la forma (ver glosario, anexo 6), asociada con variaciones en la expansión nasal, maxilar y parietal y por la estrechez de la zona occipital. El componente uniforme, incluido en el análisis, daba cuenta de las variaciones en la inclinación del neurocráneo, que separaba cráneos oblicuos de erectos. La variable tamaño del centroide no fue significativa. La influencia de la D.C.I. sobre el componente uniforme de variación de la forma, da cuenta de un incremento de la estrechez a lo largo del eje ventro-dorsal en la dirección TE → TO → AE → AO. El efecto de la deformación anular queda reflejado por un notorio alineamiento de los *landmarks* (hitos anatómicos utilizados en el análisis; ver glosario, anexo 6) ubicados en la región facial a lo largo de este eje. La deformación tabular se asocia con un efecto similar, pero menos marcado. Las modificaciones de la morfología craneana explicada por el componente no uniforme o localizado se reflejan en la contracción de la bóveda, la expansión lateral del proceso zigomático y esfenoides. El componente no uniforme, sin embargo no posee el mismo grado explicatorio en comparación con el componente uniforme.

Si bien estas investigaciones muestran claramente las modificaciones que sufre el neurocráneo por efecto de la D.C.I., aún existe debate sobre el efecto

---

<sup>52</sup> Manríquez *et al.*, ms.

que esta práctica posee sobre el esplacocráneo. Cocilovo<sup>53</sup>, observó que existen ciertas zonas en el esplacocráneo que no sufren alteración producto de la D.C.I., estableciendo 6 medidas para la estimación del dimorfismo sexual, eventualmente no afectadas por la DCI, (ancho frontal mínimo, ancho bizigomático, altura nasal, altura orbital, ancho orbital, ancho palatal). Sin embargo, diferentes autores han puesto a prueba esta afirmación<sup>54</sup>. Rhode<sup>55</sup>, puso a prueba diez de las medidas sugeridas por Cocilovo<sup>56</sup>, supuestamente inalteradas por la práctica de la D.C.I., en una colección de cráneos pertenecientes al Valle de Azapa. Sus resultados dieron cuenta que existe un efecto significativo de la D.C.I. en seis de las diez medidas puestas a prueba, refutando, entonces, los planteamientos de Cocilovo.

#### **2.1.1.5. Efectos de la DCI sobre el dimorfismo sexual**

Para analizar en profundidad el efecto de D.C.I. sobre la morfología calvaria, las investigaciones debieron concentrarse en conocer qué variables biológicas actúan normalmente sobre la morfología craneana normal y qué efectos producen, con el fin de observar si estas variables se veían afectadas por la D.C.I. y de qué manera. Entre ellas figuran la expresión morfológica del dimorfismo sexual, los cambios morfológicos ocurridos durante la ontogenia del individuo y las variaciones de las frecuencias de rasgos discretos, entre otros. Conociendo los efectos de cada uno de estos factores sobre la morfología calvaria, tanto en cráneos no deformados como en deformados, sería posible analizar los efectos de la D.C.I. sobre la morfología calvaria, independientemente de estos factores, además de analizar los efectos de la D.C.I. sobre ellos<sup>57</sup>.

---

<sup>53</sup> Cocilovo, 1975.

<sup>54</sup> Anton, 1989; Cheverud et al, 1992; Kohn et al., 1993; Rhode, 2001, 2002

<sup>55</sup> Rhode, 2001, 2002.

<sup>56</sup> Cocilovo, 1975.

<sup>57</sup> Cocilovo, 1975.

El dimorfismo sexual es el factor de interés en la presente investigación y será definido como las diferencias morfológicas, fisiológicas, bioquímicas y de comportamiento de machos y hembras de una misma especie (Pucciarelli *et al.*, 1996). El dimorfismo sexual ya está presente desde los estados tempranos del desarrollo embrionario, con la constitución gonadal diferencial determinada por los cromosomas masculinos y femeninos, por lo que se puede afirmar que en mamíferos y otros vertebrados, el dimorfismo sexual a nivel cromosómico se comporta como una variable discreta (en individuos normales, sin alteraciones cromosómicas), sin una gradación entre XX y XY. En contraste con lo anterior, la expresión de los caracteres sexuales secundarios del dimorfismo sexual, se comporta como una variable continua, existiendo una gradiente entre las diferentes características de diversa índole de expresión de este fenómeno (robusticidad, concentración de hormonas sexuales en la sangre, estatura, distribución de la pilosidad, timbre de la voz, etc.). Al analizar el dimorfismo sexual en una población a partir de cualquier indicador, éste se distribuye bimodalmente, en donde el grado el dimorfismo sexual definirá la zona de sobreposición entre ambos sexos: mientras exista mayor grado de dimorfismo sexual entre hombres y mujeres, menor será la zona de sobreposición entre grupos masculinos y femeninos y viceversa<sup>58</sup>.

Algunas características morfológicas que presentan dimorfismo sexual en humanos son la estatura, la velloidad y la robusticidad, entre otras.

El estudio del dimorfismo sexual sobre el esqueleto humano comenzó a principios del siglo XX, con los trabajos pioneros de Ales Hrdlička, quien fue el primero en sugerir el estudio de las variables morfológicas esqueléticas desde una perspectiva osteométrica para la determinación del sexo, estudio que fue llevado a cabo cuarenta años después con materiales de Caped Coloured, E.E.U.U.<sup>59</sup>.

---

<sup>58</sup> White, 1991.

<sup>59</sup> Keen, 1950

Recientemente, Airton y Segre<sup>60</sup>, analizaron el área del proceso mastoides entre cráneos masculinos y femeninos, estudiando el área comprendida entre tres puntos craneométricos adyacentes a este hito anatómico. Los resultados dieron cuenta de diferencias estadísticamente significativas entre ambos sexos.

En América latina se han realizado algunos trabajos, destacando la labor hecha por investigadores argentinos<sup>61</sup>. En nuestro país destacan los trabajos realizados por Cocilovo<sup>62</sup> para poblaciones del norte de nuestro país. Este autor, entre los años 1973 y 1981 analizó el efecto que posee la D.C.I. sobre el dimorfismo sexual en poblaciones del norte de Chile, la Patagonia y el Perú.

En la actualidad, gracias a la innovación metodológica brindada por la Morfometría Geométrica, se han realizado nuevas investigaciones en torno al dimorfismo sexual en poblaciones humanas. Rosas y Bastir<sup>63</sup> analizaron la relación existente entre alometría y dimorfismo sexual en el complejo craneofacial, utilizando métodos de Morfometría Geométrica de tres dimensiones. Estos investigadores afirman haber encontrado diferencias significativas entre ambos sexos tanto en el tamaño (mayor en el masculino) como en la forma (mayor espacio nasofaríngeo, mayores inserciones musculares en sexo masculino), lo que sugiere que el dimorfismo sexual afecta la forma del complejo craneofacial, aumentando las variables actualmente disponibles en Antropología Física para establecer el grado de dimorfismo entre ambos sexos.

Las características que dan cuenta del dimorfismo sexual reciben influencias de variables tanto genéticas como ambientales que, en conjunto, traen como consecuencia variaciones en el grado de dimorfismo sexual.

---

<sup>60</sup> Airton y Segre, 2003

<sup>61</sup> Berry, 1967; Pucciarelli, 1972; Cocilovo 1973, 1975, 1978; Perizonius, 1979; Finnegan y Marcsik, 1979; Cocilovo *et al.*, 1982; Cocilovo y Baffi, 1985; Osseberg, 1987, *en Cocilovo, 1996*.

<sup>62</sup> Cocilovo, 1973, 1975, 1978, 1995; Cocilovo *et al.*, 1982

<sup>63</sup> Rosas y Bastir, 2002

También se ha constatado que diversas variables ambientales ligadas a alteraciones de las condiciones de salud producen disminución del grado de dimorfismo sexual a expensas del sexo masculino, quienes disminuyen su peso, talla y robustez<sup>64</sup>. Estas evidencias sugieren que las poblaciones masculinas son más sensibles a las variaciones ambientales, en tanto que el sexo femenino presenta mayor resistencia física a los cambios ambientales adversos. Pucciarelli<sup>65</sup> propone que los efectos provocados por la desnutrición en poblaciones masculinas produce disfunción gonadal, con la consecuente disminución del aporte de testosterona. También sugiere que existen dos períodos de aparición de los caracteres sexuales secundarios: uno temprano, el cual aparece en la etapa prepuberal, observado en el perímetro cefálico y otro tardío, que se manifiesta en la etapa puberal, observado a partir del aumento del peso, de la talla y la robustez de los especímenes masculinos en comparación con los femeninos.

En contextos arqueológicos, el dimorfismo sexual se ha utilizado como indicador de estrés ambiental<sup>66</sup>.

---

<sup>64</sup> Hall, 1978; Stini, 1982, 1985; Huss-Ashmore et al., 1982; Stinson, 1985; Pucciarelli et al., 1996, *en Cocilovo 1996*.

<sup>65</sup> Pucciarelli, 1996.

<sup>66</sup> Cocilovo, 1994

## **2.2 OBJETIVOS**

### **2.2.1 OBJETIVO GENERAL:**

Estudiar el efecto de la DCI sobre la expresión morfológica calvaria debida al dimorfismo sexual, en población chilena actual y prehispánica.

### **2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

Construir mapas de homologías para datos de hitos en 2D en vistas frontales y laterales izquierdas.

Estimar el sexo de cada espécimen en el postcráneo con variables no métricas, (control de estimación craneana del sexo).

Clasificar la muestra por D.C.I. (O. Espouey para Pica 8 y S. Quevedo para Pisagua).

Establecer las características morfológicas más conspicuas que diferencian cráneos femeninos de masculinos, tanto en la colección no deformada, como en colecciones con D.C.I.

Analizar el efecto de la D.C.I. sobre la morfología calvaria.

Caracterizar las variaciones morfológicas producidas por la D.C.I.

Analizar estadísticamente los eventuales efectos de la D.C.I. sobre la expresión calvaria del dimorfismo sexual.

Poner en valor las colecciones utilizadas en este estudio.

## **2.3 HIPÓTESIS**

### **2.3.1 HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS:**

H0: La deformación craneana intencional no afecta significativamente la expresión calvaria del dimorfismo sexual.

H1: La deformación craneana intencional ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre la expresión craneal del dimorfismo sexual.

### **2.3.2 HIPÓTESIS BIOLÓGICAS:**

H0: Las variaciones morfológicas que presentan los cráneos sometidos a deformación craneana intencional son independientes respecto de las variaciones morfológicas producidas por el dimorfismo sexual.

La deformación craneana intencional no afecta la estimación del dimorfismo sexual en cráneos. (HIPOTESIS DE LA INTRASCEDENCIA DE LA DEFORMACIÓN CRANEANA INTENCIONAL EN LA ESTIMACIÓN DE SEXO EN INDIVIDUOS).

H1: Las variaciones morfológicas calvarias debidas al dimorfismo sexual son dependientes de las variaciones morfológicas producidas por la práctica de DCI

La deformación craneana intencional causa un sesgo en la estimación del dimorfismo sexual en cráneos. (HIPÓTESIS DEL EFECTO ACTIVO DE LA DEFORMACIÓN CRANEANA INTENCIONAL EN LA ESTIMACIÓN DE SEXO EN INDIVIDUOS).

### **2.3.3 PREDICCIONES DERIVADAS DE LAS HIPÓTESIS**

Si H0 es verdadera, entonces, las variaciones morfológicas que experimenten los cráneos sometidos a deformación craneana intencional no alterarán significativamente los hitos y regiones anatómicas que son de consenso en la práctica de la Antropología Física para estimar el sexo de los individuos.

## **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **3.1. COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA**

La muestra estuvo compuesta por un total de 131 cráneos (n=131). Se examinaron 35 cráneos del sitio Pica 8, 45 cráneos provenientes de los sitios A, C, D, y H de Pisagua y 51 cráneos provenientes de la colección Cementerio General<sup>67</sup>, que fue utilizado como grupo control por no presentar D.C.I.

Ya que no todos los cráneos pudieron ser fotografiados a partir de las dos vistas principales, (frontal y lateral izquierda), debido al estado de fragmentación de ellos para estas vistas, los valores totales por vista difieren en algunos casos. La tabla III resume el número de vistas fotografiadas para cada sexo en estas poblaciones y los totales de vistas por sexo y lado.

**TABLA III. Número de vistas fotografiados para cada población según sexo estimado.**

MUESTRA SEXO	FRONTAL		LATERAL		TOTAL	
	F	M	F	M	Frontal	Lateral
<b>Cem. Gral</b>	22	23	24	27	<b>45</b>	<b>51</b>
<b>Pica 8</b>	23	13	21	14	<b>36</b>	<b>35</b>
<b>Pisagua</b>	17	29	18	27	<b>46</b>	<b>45</b>
<b>Total</b>	62	65	63	68	<b>127</b>	<b>131</b>

<sup>67</sup> La colección Cementerio General posee unos novecientos individuos.

### **3.2. MUESTRA CEMENTERIO GENERAL:**

La colección Cementerio General corresponde a una donación por parte de este organismo a la Universidad de Chile, de una cantidad aproximada de 900 esqueletos ( $n \approx 900$ ), pertenecientes a contextos subactuales. Esta colección fue excavada en dos etapas durante la década de 1970 y fue financiado por el proyecto FONDECYT N°.1028-91.

La colección está representada principalmente por individuos de estrato socioeconómico medio y bajo que habitaron la Región Metropolitana y que murieron durante la década de 1950. Esta población será considerada en la muestra como grupo control debido a que no poseen D.C.I.

La Tabla IV muestra la distribución de apellidos dentro de la colección que presenta este tipo de información. De los esqueletos observados en este estudio, la mayoría (94%) presenta apellidos de origen español, seguido muy posteriormente por apellidos de origen mapuche (3,8%) y apellidos de otras nacionalidades (2,7%). Lo anterior sugiere que esta población puede ser considerada representativa de chilenos mestizos, posiblemente de larga data. De esta colección se seleccionaron esqueletos que poseyeran solamente ambos apellidos españoles, con el fin de lograr mayor homogeneidad fenotípica y que no presentaran patologías craneanas.

La colección se caracteriza por presentar gran cantidad de artropatías e inserciones musculares marcadas, patologías que no fueron atendidas a pesar de los avances en salud que ya existían en esa época (traumatismos como fracturas que derivaron a necrosis de la pieza afectada, caries de marcada extensión, entre otras patologías), presencia de extensas placas de tártaro dental, además de no pocos casos de patologías carenciales (raquitismo y osteoporosis principalmente); por otra parte, la revisión de las causas de muerte de muchos de estos individuos da cuenta de la deficiencia alimentaria que este grupo posee (inanición, kwashiorkor, entre otras).

Lo anterior permite sugerir que esta población sufrió intenso estrés ambiental, caracterizado por episodios de distintas intensidades por privación alimentaria, marcado esfuerzo físico, bajo nivel de higiene, escaso acceso a la salud, alta exposición principalmente de enfermedades infecciosas.

**TABLA IV. Distribución de los Apellidos en la Colección Cementerio General.**

	<b>Sin Id.</b>	<b>Mapuche</b>	<b>Español</b>	<b>Extranjero</b>	<b>TOTAL</b>
<b>N</b>	430	18	439	13	900
<b>%</b>	48	2	49	1,44	100

Todos estos restos óseos se encuentran depositados en los laboratorios de antropología física de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile y corresponden principalmente a individuos completos en estado esquelizado.

### **3.3. MUESTRA PICA 8:**

El Oasis de Pica se ubica en las márgenes orientales de la Pampa del Tamarugal, a los pies de la pre-cordillera, a una altura de 1.200 metros sobre el nivel del mar. El cementerio de Pica 8 se localiza sobre una planicie de arena con ligero declive de este a oeste.

A partir de este cementerio se define en primera instancia el Complejo Pica-Tarapacá, perteneciente al período Intermedio Tardío (1000 – 1400 d. C.) por lo que su relevancia dentro del contexto de la arqueología de la región es de suma importancia.

El Complejo Pica-Tarapacá se considera como una agrupación de sociedades de tipo “señoríos” o sociedades de rango que habitaron esta región durante el período Intermedio Tardío (1000 – 1400 d.C.), similar a las poblaciones del Norte Grande y en general, de los Andes Centro-Sur<sup>68</sup>. Estos señoríos, en tanto sistemas sociales, perseguirían un interés básico del hombre

<sup>68</sup> Núñez 1976; Núñez y Dillehay 1995; Schiappacasse et al. 1989

andino, correspondiente a la autosuficiencia o sustentabilidad social y económica, soportada sobre complejas estructuras sociales y refinados mecanismos de eco-complementariedad e interacción étnica<sup>69</sup>.

Este sitio evidencia niveles de jerarquización entre los pobladores del Complejo Pica-Tarapacá, junto con la asimetría en la redistribución de los recursos y objetos, así como especialización de las actividades<sup>70</sup>.

A excepción de una revisión paleopatológica realizada por Munizaga<sup>71</sup> y de un informe de trabajo presentado recientemente<sup>72</sup>, no existe información bioantropológica sobre esta colección, por lo que es sumamente importante para la arqueología de esta zona el estudio de ella, por ser además, la que define culturalmente un Complejo Cultural.

Esta colección se encuentra provisoriamente ubicada en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile. El total de la colección está contabilizado en 100 individuos, de los cuales 76 se encuentran eskeletonizados, en tanto que el resto se encuentra en estado de momificación.

Con respecto a la D.C.I. presente en esta población, Oscar Espouey (INFORME FONDECYT 1030923) observa que la mayor parte de esas deformaciones comprende al sexo femenino (65,21%), mientras que entre los hombres predominan los no deformados, aunque algunos sobresalen por su deformación tabular y circular erectas. Respecto de estos últimos, las deformaciones circulares serían atípicas, más bien vinculadas a la costa de Arica y Pisagua, más o menos homogéneas entre hombres y mujeres.

La Tabla IV muestra la distribución según sexo de las deformaciones craneanas de esta población<sup>73</sup>.

---

<sup>69</sup> Núñez y Dillehay 1995; Murra 1972 y 1978

<sup>70</sup> Núñez, 1983

<sup>71</sup> Munizaga, 1974a

<sup>72</sup> Retamal y Pacheco, 2004

<sup>73</sup> Espouey, com. pers.

**TABLA IV. Distribución según el sexo de las deformaciones craneanas por vista en Pica 8 (CE: Circular Erecto, CO: Circular Oblicuo, ND: No Deformado, TE: Tabular Erecto, TO: Tabular Oblicuo).**

PICA 8	FRONTAL		LATERAL	
	Fem	Masc	Fem	Masc
CE	1	2	1	2
CO	0	2	0	2
ND	3	5	2	5
TE	4	3	4	3
TO	15	1	14	2
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	<b>13</b>	<b>21</b>	<b>14</b>

### **3.4. MUESTRA PISAGUA:**

En las cercanías de la localidad de Pisagua fueron excavados en 1913 por Max Uhle, cuatro cementerios prehispánicos correspondientes a tres períodos culturales: 1) Formativo (Protonazca según Uhle<sup>74</sup>), representado por el cementerio D, adscrito al período semialdeano (1000 aC. al 500 aC.) de Muñoz<sup>75</sup> para la costa, en donde, se postula la continuidad de la tradición costera hasta la irrupción del período agrícola aldeano; 2) Período Medio (Tiwanaku según Uhle<sup>76</sup>), representado por los cementerios C y A; y 3) Período Intermedio Tardío (Período Atacameño según Uhle<sup>77</sup>), representado por el cementerio H.

La muestra total cuenta con 120 esqueletos (57 masculinos, 44 femeninos y 19 subadultos, según Cocilovo<sup>78</sup>). La D.C.I. presente en esta colección, varía, desde el tipo circular presente en las poblaciones más

---

<sup>74</sup> Uhle, 1919b

<sup>75</sup> Muñoz, 1979

<sup>76</sup> Uhle, op. cit.

<sup>77</sup> Uhle, op. cit.

<sup>78</sup> Cocilovo, 1994, p.xii.

tempranas, hasta las deformaciones de tipo tabular, en las poblaciones más tardías.

Estos cementerios están representando una población que, a pesar de los cambios culturales que sostuvieron desde el Período Formativo hasta el Período Intermedio Tardío, mantuvieron una economía basada fundamentalmente en la explotación de los recursos marinos, complementado con recursos continentales. Por esto mismo, para Cocilovo<sup>79</sup>, esta población presenta un proceso local de leve incremento gradual del parentesco a lo largo del tiempo, moderado por el aporte migratorio. Por otra parte, Uribe<sup>80</sup>, sugiere a partir de análisis cerámicos, que existe un predominio local frente lo foráneo, tanto en cementerios más tardíos (Pisagua N) como tempranos (Pisagua B).

**TABLA V. Distribución Sexual de las Deformaciones Craneanas en Pisagua (com. pers. Espoueys).**

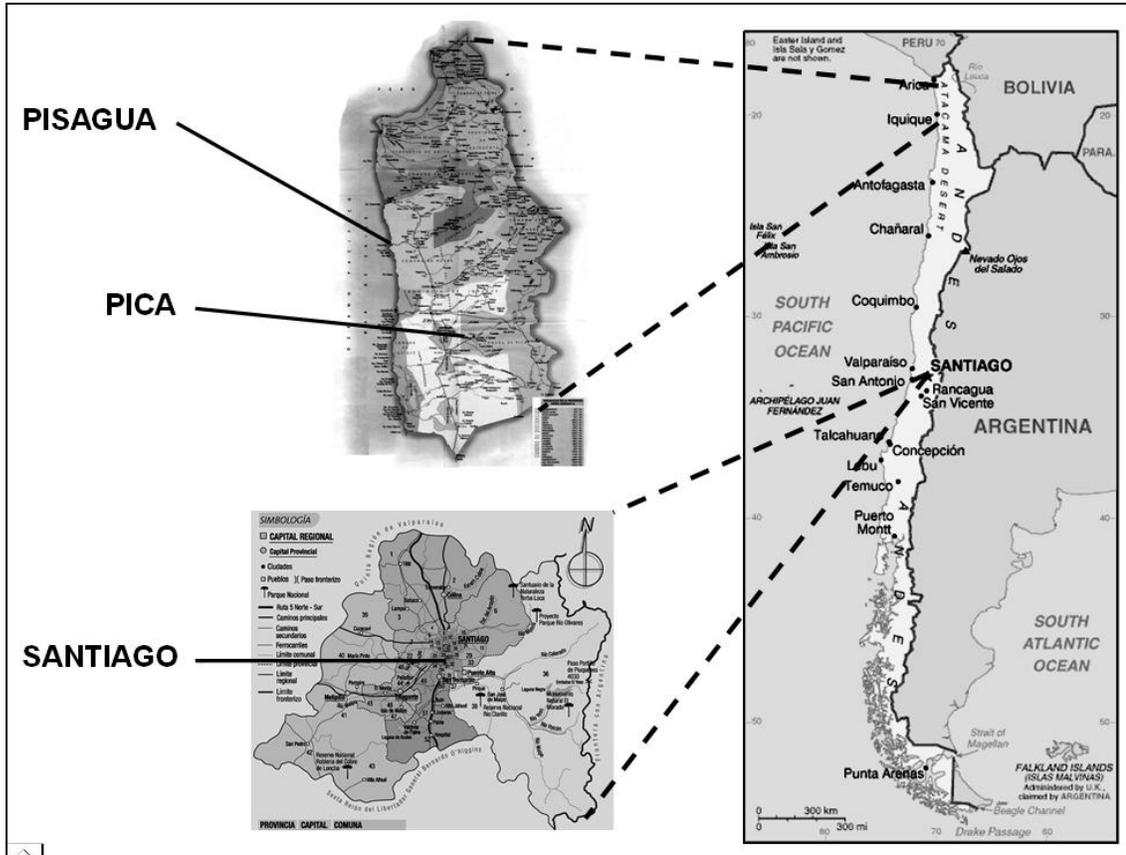
PISAGUA	FRONTAL		LATERAL	
	Fem	Masc	Fem	Masc
CE	2	3	1	2
CO	5	8	4	9
ND	2	7	3	7
TE	6	4	5	2
TO	2	7	5	7
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>29</b>	<b>18</b>	<b>27</b>

---

<sup>79</sup> Cocilovo, 1994.

<sup>80</sup> Uribe, 2003.

**Figura 1: Mapa con la localización relativa de los sitios estudiados en la presente investigación.**



### 3.5. MÉTODOS

Durante ya tres siglos, la Antropología Física como disciplina científica con claras bases en la Biología, se ha interesado en la variabilidad biológica de los seres humanos, con objetivos bastante claros<sup>81</sup>: evolución, comparación, clasificación y explicación de la diversidad biológica humana; lo que ha llevado a esta disciplina a tomar de las ciencias biológicas una gran cantidad de metodologías, entre ellas las involucradas con la descripción y análisis del tamaño y la forma de los objetos biológicos.

Los primeros estudios realizados empleando estas metodologías se basaban principalmente en la descripción de su objeto de estudio. Durante el

<sup>81</sup> Cuvier, 1800.

siglo XX, junto con la incorporación de análisis estadísticos a los análisis descriptivos, esta ciencia, junto con la Biología, comienza a experimentar una transición desde un nivel descriptivo a uno cuantitativo<sup>82</sup>. Los análisis morfológicos incluían, además de las descripciones de la forma, tratamientos estadísticos como el coeficiente de correlación de Pearson<sup>83</sup>, el análisis de varianza<sup>84</sup> y el análisis de componentes principales, que le proveían rigor científico a las investigaciones y capacidad predictiva. Según Adams *et al.*<sup>85</sup>, a mediados del siglo XX, la descripción cuantitativa de la forma biológica estaba combinada con análisis estadísticos que describen los patrones de variación de la forma, dentro y entre grupos, dando inicio así a la Morfometría Clásica.

En la presente investigación, se definirá morfometría como el estudio de la variación de la forma y su covariación con otras variables<sup>86</sup>.

La morfometría clásica<sup>87</sup>, desarrollada principalmente durante el siglo XX, consiste fundamentalmente en la aplicación de análisis estadísticos multivariados a un set de variables morfológicas. Las medidas lineales (distancia entre dos puntos dentro de un objeto biológico) son las variables más utilizadas, aunque también se emplean ángulos y radios. Los análisis estadísticos multivariados más empleados son los análisis de componentes principales, análisis de variables canónicas y análisis de funciones discriminantes<sup>88</sup>.

Uno de los problemas fundamentales de las técnicas morfométricas tradicionales es la dependencia entre la forma y el tamaño del objeto estudiado (Bookstein *et al.*, 1995). Por ello, se emplearon factores de corrección del tamaño, con el fin de disminuir el efecto que éste provocaba en los análisis. Sin

---

<sup>82</sup> rev. Bookstein, 1998

<sup>83</sup> Pearson, 1895

<sup>84</sup> Fisher, 1935

<sup>85</sup> Adams *et al.*, 2003

<sup>86</sup> Bookstein, 1991; Dryden and Mardia, 1998; Adams *et al.*, 2003

<sup>87</sup> Marcus, 1990; Reyment, 1991

<sup>88</sup> Adams *et al.*, 2003

embargo el uso de dos factores de corrección en un mismo análisis podían dar resultados muy diferentes<sup>89</sup>.

Por otra parte, la homología de las distancias lineales es muy difícil de precisar, puesto que no se emplean puntos homólogos, sino que se emplean medidas de distancias entre hitos (por ejemplo: anchos mínimos y máximos), que reduce a una sola dimensión la información morfológica contenida en los objetos biológicos que, por su naturaleza, son de tres dimensiones<sup>90</sup>. Es decir, las técnicas de análisis lineales no dan cuenta de la forma de los objetos analizados, al contemplar en su estudio, distancias entre hitos y no la geometría que existe entre ellos. Adams<sup>91</sup> ejemplifica esto cuando se mide el largo y ancho máximo de una gota de agua comparada con un óvalo, en tanto que los dos objetos pueden tener estas medidas iguales y sin embargo, ser absolutamente diferentes morfológicamente.

Por último, el uso de las técnicas de morfometría lineal no permite generar representaciones gráficas de la forma, debido a que no se conservan las relaciones geométricas de los objetos analizados.

A diferencia de la morfometría lineal o clásica, la morfometría geométrica (M.G.) captura la forma geométrica de los objetos biológicos, además de estar incorporada con análisis estadísticos multivariados y funciones de visualización de la variación de los componentes de la forma, que refuerzan la capacidad predictiva de las investigaciones que utilizan estos métodos. La morfometría geométrica surge a finales de los años 80 como una nueva manera de estudiar la variación morfológica, considerando la globalidad de la forma. Esta disciplina deriva de la síntesis de dos escuelas: por una parte de la biometría de Karl Pearson (1857-1936), Francis Galton (1822-1911), W. Weldon (1860-1906) y Ronald Fisher (1890-1962), quienes aplicaron el álgebra de la estadística multivariante (principalmente matrices de covarianza) a conjuntos de distancias

---

<sup>89</sup> Adams *et al.*, *op. cit.*

<sup>90</sup> *Op. cit.*

<sup>91</sup> *Op. cit.*

a partir de una muestra de individuos; por otra parte del uso de la representación de la diferencia de la forma mediante rejillas de deformación asociada a D'Arcy Thompson (1860-1948)

Se definirá morfometría geométrica (M.G.) como el análisis estadístico de la covarianza entre la forma y los factores causales que la modifican<sup>92</sup>. Uno de sus principales objetivos es la descripción de la diversidad de los objetos biológicos y la búsqueda de explicaciones causales a su variación en tamaño y forma<sup>93</sup>. En sentido extenso, esta nueva disciplina biométrica se ocupa de los métodos que permiten la descripción, partición y análisis de la variación de la forma en poblaciones de organismos, independientemente de las variaciones de tamaño y en relación a factores tales como el crecimiento, el tratamiento experimental y/o la evolución de un grupo finito de organismos<sup>94</sup>.

Las propiedades de la M.G. que hacen de ella una herramienta útil para el estudio de la variación de la forma son:

- El empleo de matrices de hitos de coordenadas como dato primario. Las matrices de morfocoordenadas recuperan la información espacial de dos o tres dimensiones propia de los objetos biológicos: hitos homólogos (*landmarks*) contenidos en matrices de morfocoordenadas bi o tridimensionales, o bien, contornos (*outlines*) definidos por secuencias continuas de códigos o de coordenadas.
- En segundo lugar, el análisis de las configuraciones de estos hitos extrae las diferencias debidas a escala, rotación y traslación, recuperando la información espacial contenida en las estructuras a comparar.
- Por último, las técnicas de MG permiten la representación visual de los cambios de la forma en su sentido geométrico original, así como el análisis numérico y estadístico de dichos cambios, aumentando

---

<sup>92</sup> Bookstein, 1991

<sup>93</sup> Pigliucci y Schlichting, 1998

<sup>94</sup> Rohlf & Marcus, 1993

significativamente el valor predictivo de los resultados y las conclusiones a los que llega el investigador.

### **3.5.1. Análisis de hitos anatómicos o *landmarks***

En M.G. existen dos tipos de análisis estándar: los que analizan los contornos o planos de las formas biológicas de dos o tres dimensiones, conocido como “análisis de *outlines*” y los que analizan la variación de la forma a través de puntos o hitos anatómicos dispuestos sobre los objetos, conocido como “análisis de *landmarks*” o de hitos discretos. A continuación se explicará con mayor detalle esta última técnica.

#### 1. Datos Primarios:

El “análisis de *landmarks*” comienza con el relevamiento del dato primario del objeto biológico sometido a estudio, el cual puede ser recogido en tres dimensiones, o a través de una imagen del objeto biológico, como una fotografía, una radiografía u otro tipo de imagen.

Este es uno de los puntos más cruciales que separa la morfometría lineal (M.L.) de la M.G. Mientras la M.L. recoge la medida de la distancia entre dos hitos, lo que trae como consecuencia la pérdida de la información espacial entre las medidas tomadas, la M.G. recupera esta información del objeto analizado, puesto que el hito o *landmark* relevado posee información tanto en el eje *x* como en *y*, para dos dimensiones y en los ejes *x*, *y*, *z*, para tres dimensiones.

Un conjunto de estos hitos conforma el mapa de morfocoordenadas que correspondería a una representación del objeto biológico relevado, de acuerdo a las regiones de interés de análisis para el investigador. Debido a lo anterior, la selección de estos hitos es parte fundamental dentro del análisis. La definición de los *landmarks* o hitos a considerar en la realización del mapa de morfocoordenadas posee ciertas propiedades que respaldan la técnica de la M.G. en contraste con la M.L.: los *landmarks* son puntos a los cuales el

investigador “ancla” sus explicaciones respecto de las causas de la variación morfológica<sup>95</sup>. Esta diferencia con la morfometría tradicional es relevante, ya que el investigador no “elige” los landmarks, sino sólo los ubica y reconoce sobre la base de los criterios operacionales de homología que utiliza.

De acuerdo al grado de información de cada *landmark*, se pueden establecer tres tipos<sup>96</sup>: I. regiones de diferenciación tisular o yuxtaposición de diversos tejidos o huesos, como suturas; II. aquellos que su homología se da por evidencias geométricas y no histológicas, por ejemplo, vectores biomecánicos, como uniones óseo-musculares, apófisis, procesos, espinas, etc. y III. aquellos que tienen al menos una coordenada deficiente, como por ejemplo, puntos de máxima curvatura. También se usan pseudolandmarks (puntos entre dos hitos anatómicos) y semilandmarks (puntos que definen un contorno)<sup>97</sup>. De acuerdo a la pregunta que se esté realizando el investigador, él seleccionará qué batería de puntos utilizará en su análisis.

## 2. Sobreposición

Esto se realiza mediante el análisis generalizado de Procrustes. Este análisis traslada las configuraciones de modo que coincidan los centroides respectivos, elimina las diferencias debidas a rotación y traslación, estandariza las dimensiones (partición de la dimensión) generando un tamaño geométrico o tamaño del centroide (*centroid size*) para cada espécimen<sup>98</sup>; calcula una configuración media o configuración de consenso, equivalente al promedio geométrico. En una lista de números, el promedio se extrae por la sumatoria de ellos y luego dividida por la cantidad de números de esa lista. Pero en este tipo de análisis no existen operaciones de adición que puedan realizar esto. Por ello se recurre al análisis de Procrustes, que consiste en la sobreposición de los

---

<sup>95</sup> Bookstein, 1991

<sup>96</sup> Bookstein, *op. cit.*

<sup>97</sup> Bookstein et al. 1999, Delson et al. 2001

<sup>98</sup> Bookstein, 1997

especímenes, a partir de los valores residuales derivados de las distancias mínimas cuadradas respecto de la configuración de consenso. El consenso para un set de especímenes es obtenido por una selección arbitraria del primer espécimen como un consenso de prueba, sobreponiendo luego todos los otros especímenes en este consenso de prueba y posteriormente promediando todas las configuraciones alineadas. La configuración promedio es, entonces, utilizada como un nuevo consenso de prueba y entonces el proceso es iterado hasta su convergencia<sup>99</sup>.

### 3. Espacios morfométricos multidimensionales

Una vez ocurrida la sobreposición de los distintos mapas de homologías, se representa cada espécimen como un punto en un espacio curvo, no Euclídeo, llamado espacio de Kendall<sup>100</sup>. Según Slice *et al.*<sup>101</sup>, el espacio de Kendall (*Kendall's shape space*) es la construcción geométrica fundamental en que se basa la morfometría geométrica. La distancia entre puntos en el espacio de Kendall se denomina distancia de Procrusto (*Procrustes distance*, ver glosario p.109), que se define como la raíz cuadrada de la suma de las diferencias al cuadrado entre las posiciones de los *landmarks* de dos configuraciones sobrepuestas al *centroid size*<sup>102</sup>. El espacio de Kendall provee un completo set de análisis de las distancias de Procrusto entre sets arbitrarios de *landmarks*. En este espacio los diferentes especímenes (matrices de morfocoordenadas) se ubican respecto del consenso (ubicado al centro del bivariado), de acuerdo a la distancia de Procrusto que poseen con respecto a éste. El espacio de Kendall adopta la forma de una esfera cuando el objeto analizado posee solamente tres *landmarks* (un triángulo). Mientras mayor sea la cantidad de *landmarks* que tenga un objeto, más dimensiones tendrá el espacio de Kendall, por lo que no

---

<sup>99</sup> Tps Relative Warp, tutorial.

<sup>100</sup> Kendall, 1984

<sup>101</sup> Slice *et al.*, 1998.

<sup>102</sup> Bookstein, 1996.

podrán ser representadas todas las dimensiones al mismo tiempo, debido a la imposibilidad del ser humano de representar objetos en un espacio mayor de tres dimensiones (hiperespacio).

Las propiedades matemáticas del espacio de la forma son muy complejas, por lo que no se pueden realizar análisis estadísticos multivariados convencionales. Una alternativa es hacer una aproximación del espacio de la forma no Euclídeo a un espacio tangente que presenta una geometría Euclídea, quedando estas matrices ordenadas en un plano bidimensional. En este nuevo espacio se proyectan los especímenes que se encontraban en el espacio de Kendall. El punto de tangencia se ubica en la configuración de consenso.

#### 4. Función de Placa Delgada (T.P.S.)

Para visualizar este espacio tangente, Bookstein<sup>103</sup> adaptó un algoritmo (*thin plate spline*) basada en el estudio de la deformación de finas láminas metálicas a las deformaciones de las formas biológicas, análogo a las grillas propuestas por D'Arcy Thompson<sup>104</sup>

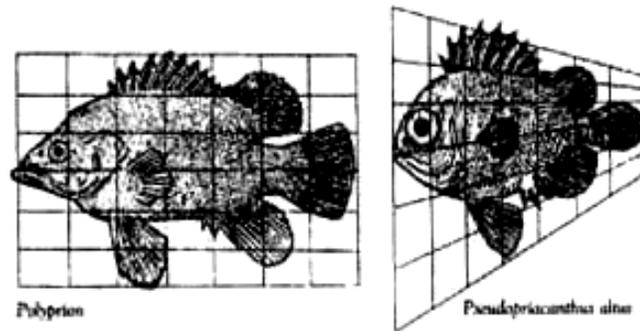
*"Podemos inscribir en un sistema de coordenadas cartesianas el contorno de un organismo [...] A continuación podemos tratar esta [...] figura en términos generales, como una función de x e y. [...] Si sometemos nuestro sistema rectangular a deformación [...] alterando por ejemplo la dirección de los ejes, la relación x/y [...] obtendremos un nuevo sistema de coordenadas, cuya deformación respecto al tipo original será seguida exactamente por la figura inscrita. En otras palabras, obtenemos una nueva figura que representa a la anterior bajo una fuerza más o menos homogénea, y que es una función de las nuevas coordenadas, exactamente del mismo modo que la figura original era función de x e y [...]"*

En la Figura 2 mostramos un ejemplo de este autor.

---

<sup>103</sup> Bookstein, 1989.

<sup>104</sup> Thompson, 1917, pp. 262 – 263.



**Figura 2: Deformación de grillas cartesianas según D'arcy Thompson.**

Para poder realizar lo anterior, se crea y minimiza la energía de torsión (*bending energy matrix*) necesaria de deformación de una hoja metálica para hacer coincidir los *landmarks* de la configuración media con los de una forma determinada, es decir la torsión que debe generar la grilla para transformarse desde el consenso hasta cada uno de los especímenes. Luego de una serie de transformaciones a partir del cálculo de la matriz de energía de torsión, que buscan dar una base ortogonal para la descripción de las diferencias de la forma en el espacio tangente al espacio de Kendall (*principal warps*) y representar las modificaciones de la forma de cada espécimen respecto a la configuración de consenso (*weight matrix*), se realiza un análisis de componentes principales de una distribución de formas en el espacio tangente (*relative warps*). Los *relative warps* se calculan a partir de las distancias de Procrusto o de los vectores propios de la deformación parcial (*partial warps*) y dependen del parámetro  $\alpha$ . Este parámetro es el exponente con que se calcula la matriz de deformaciones relativas (*partial warps*) en el análisis de *relative warps*. Cuando  $\alpha=0$ , los ejes de la deformación relativa se consideran análogos a los ejes de un análisis de componentes principales, propios de los análisis clásicos de estadística multivariada y las distancias entre cada uno de los especímenes registrados están contenidas en las distancias de Procrusto<sup>105</sup>. La grilla de torsión puede reflejar las variaciones uniformes (componente uniforme) que sufre, es decir, las variaciones que sufren todos los puntos hacia

<sup>105</sup> Rohlf y Marcus, 1993

una dirección determinada, conservándose los ejes paralelos y sólo modificándose el ángulo entre ellos (como la transformación de un cuadrado a un rombo o rectángulo) o también las variaciones locales que sufren unos pocos puntos o variaciones no uniformes (componente no uniforme), que hacen perder el paralelismo entre las líneas (transformación de un cuadrado a un trapecio o trapezoide). Así, el investigador puede observar la variación de un espécimen a otro como un continuo, llamado en la literatura anglosajona, *morphing*.

### 5. Análisis estadísticos

Uno de los puntos más importantes es que los resultados de la sobreposición pueden ser analizados estadísticamente con esta técnica del mismo modo que en morfometría tradicional. Es en esta fase en donde el investigador contrasta las hipótesis estadísticas y biológicas, elaboradas anteriormente a la investigación, como tradicionalmente se realiza en Biología. La contrastación se logra a partir del análisis de componentes principales mencionado anteriormente, donde los componentes de la forma (*relative warp*), actúan como variables dependientes de la variación de la forma dentro de un análisis estadístico multivariado, que pueden ser sometidas a prueba bajo las variables independientes que el investigador considera explican la variación de la forma. Generalmente se ha utilizado la regresión múltiple, principalmente dentro del estudio de procesos ontogenéticos.

Por consiguiente, para llevar a cabo la ejecución del Programa de Investigación sugerido por la M.G., se realizaron los siguientes pasos:

1. Los cráneos arqueológicos y subactuales fueron fotografiados en norma anatómica frontal y lateral izquierda, siguiendo plano de Frankfurt, con una cámara digital *Fuji FinePix* 6900, a 1.3 Mb de resolución. Las fotografías fueron relevadas en escala de grises y posteriormente a su obtención se rotularon y editaron computacionalmente.
2. Las imágenes de la Colección de Pisagua se obtuvieron de la base de

datos disponible en el Laboratorio de Citología Evolutiva de Mamíferos, Facultad de Medicina (proyecto FONDECYT 1020375).

La estimación de sexo de la colección de Pica 8 fue llevada a cabo siguiendo las indicaciones sugeridas por White y Buikstra y Ubelaker<sup>106</sup>, para la morfología postcraneal, principalmente del hueso coxal.

La estimación de sexo de la colección Pisagua fue llevada a cabo por la arqueóloga Silvia Quevedo<sup>107</sup>, siguiendo los indicadores no métricos que se usan de consenso para el cráneo humano (desarrollo y dirección del proceso mastoides, desarrollo de glabella, prominencia de inion, desarrollo de eminencias frontales, desarrollo de protuberancia occipital externa, desarrollo de eminencia retrottemporal, angulaciones en general, desarrollo del borde orbital, forma de las órbitas, etc.<sup>108</sup>), en tanto que la colección de Cementerio General posee sexo y edad conocido, por lo que su asignación fue llevada a cabo siguiendo la información aportada por sus respectivas fichas. La clasificación de la D.C.I. fue llevada a cabo por el arqueólogo Oscar Espouey, siguiendo los parámetros de Imbelloni<sup>109</sup>.

En la etapa de obtención del dato primario, se definieron, a partir del relevamiento fotográfico, 16 hitos anatómicos homólogos para la vista frontal (Mapa 11.1, Anexo 4) y 15 para la vista lateral izquierda (Mapa 11.2 del Anexo 4). Para la vista lateral se incluyeron 4 pseudolandmarks (ver glosario, Anexo 6) con el propósito de analizar la energía de torsión de la bóveda craneana, producto de la D.C.I. El registro de estos hitos se realizó con el software **tpsDig v. 1.40**<sup>110</sup>.

---

<sup>106</sup> White, 1991; Buikstra y Ubelaker, 1994.

<sup>107</sup> Informe de Proyecto Fondecyt 1020375.

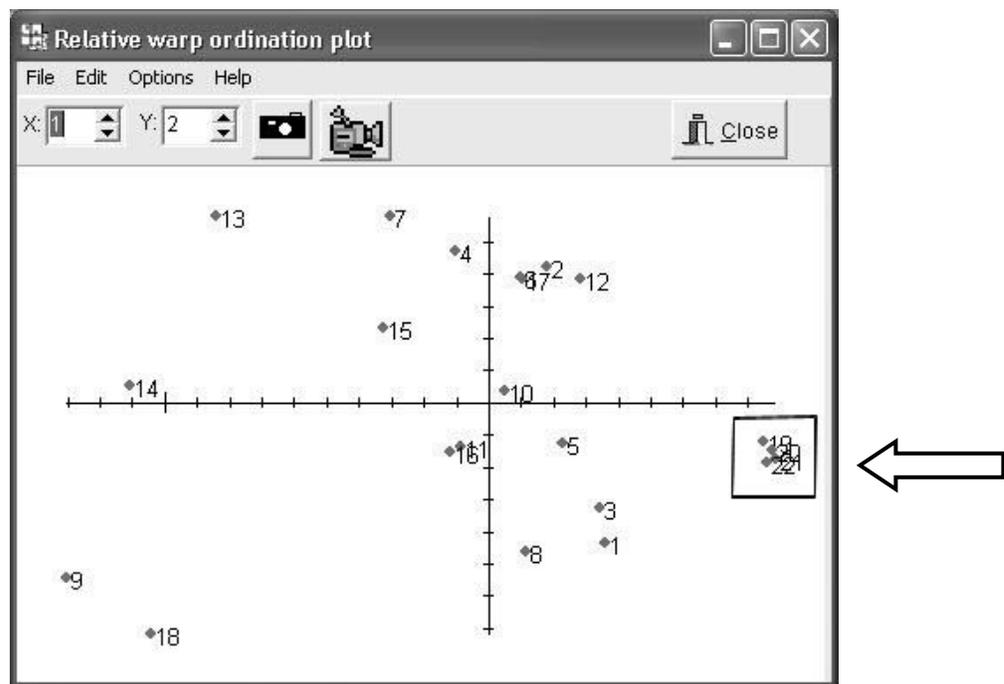
<sup>108</sup> Ascádi y Nemeskéri, 1970

<sup>109</sup> Imbelloni, s/f.

<sup>110</sup> State University of New York, Stony Brook, NY: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/soft-dataacq.html>

Para poner a prueba el error de digitalización, se realizaron test de confianza en cada una de las poblaciones para ambas vistas. La Figura 3 muestra como ejemplo, la prueba de confianza realizada en esta investigación para mujeres de Cementerio General. La nube de puntos (dentro del cuadrado) a la derecha del bivariado muestra la convergencia de las digitalizaciones sobre un mismo espécimen, indicador de la menor varianza intrapoblacional (*repeats*), al compararla con la varianza interpoblacional.

**FIGURA 3: Prueba de confianza de la precisión de las mediciones. El cuadrado indica la digitalización repetida de la misma imagen, que se separa del resto de la nube de puntos.**



La puesta a prueba de las hipótesis nulas de ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre grupos, se realizó mediante análisis multivariado para datos 2D (ANOVA de una y dos vías, MANOVA, regresión múltiple multivariada y análisis discriminante). Los estadígrafos empleados son  $\lambda$  de Wilks y F de Goodall, aceptando su significancia bajo el 5% (0.05) de probabilidad de efecto del azar. Las variables independientes sometidas a prueba en esta investigación son sexo, D.C.I., tamaño y sitio, que fue incluida

solamente durante los análisis interpoblacionales.

Se consideró dentro de las variables dependientes de la forma, la variación total de la forma y el componente no uniforme (variación local de la forma), cada uno analizado independientemente. También se realizaron análisis discriminantes con los componentes de la forma para comprobar la robustez de los análisis confirmatorios.

Se realizaron análisis de agrupamiento, método de medias no ponderadas. (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*, UPGMA) de las distancias de Procrustes de las configuraciones de consenso de cada grupo.

Los programas empleados en este estudio fueron obtenidos en el sitio web <http://life.bio.sunysb.edu/morph><sup>111</sup>. Los análisis discriminantes fueron realizados mediante el programa STATISTICA<sup>112</sup>. El análisis de agrupamiento fue llevado a cabo empleando el programa NTSYS-pc<sup>113</sup>. Los gráficos de dispersión arrojados en los análisis exploratorios fueron mejorados en su presentación utilizando el programa Excel.

La Figura 4 siguiente muestra el diagrama de flujo con los pasos del análisis estándar de M.G. que se siguieron en la presente investigación.

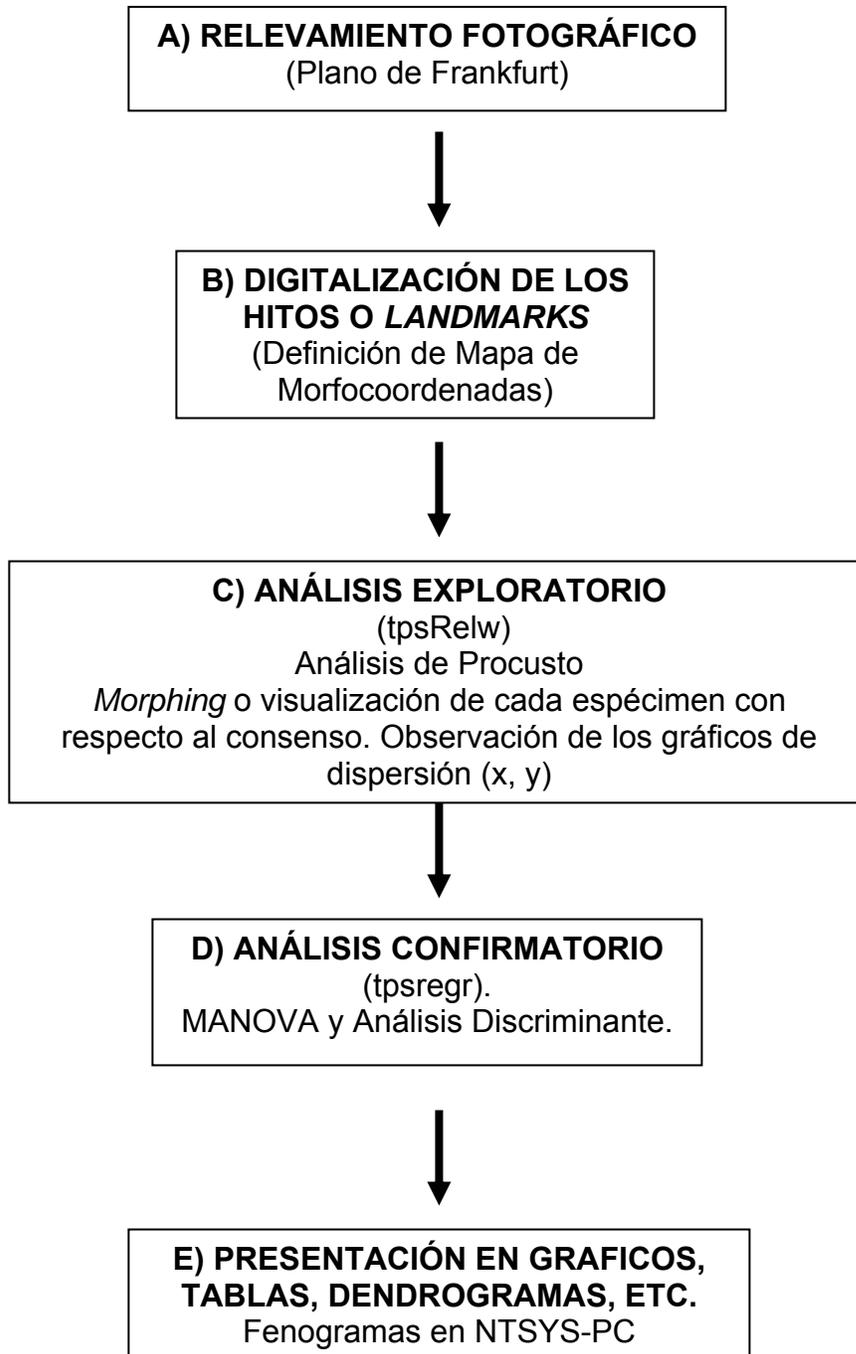
---

<sup>111</sup> State University of New York, Stony Brook, NY

<sup>112</sup> v. 4.5 Statsoft inc. 1993

<sup>113</sup> Rohlf, 2000

Figura 4. Esquema del algoritmo del método utilizado en el presente estudio.



## 4. RESULTADOS

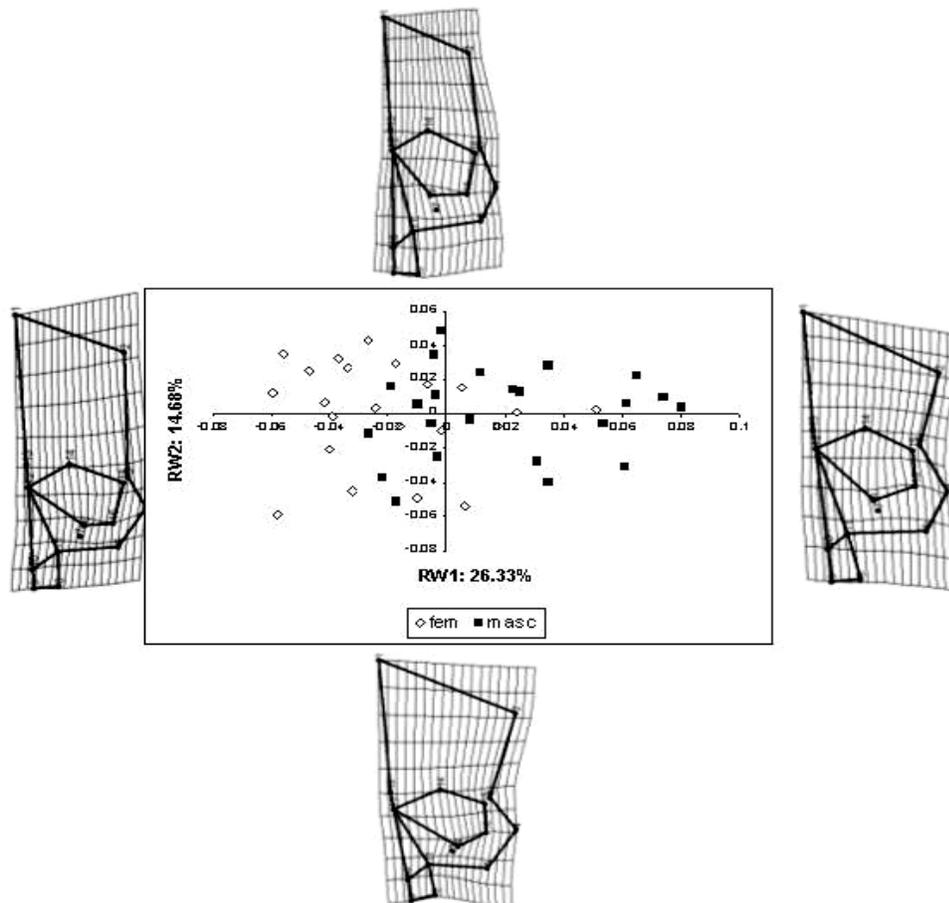
### 4.1. Análisis Intrapoblacional:

#### 4.1.1. Cementerio General:

##### 4.1.1.1. Vista Frontal:

La Figura 5 muestra la distribución de los cráneos en vista frontal para los dos primeros *relative warps* ( $x = RW1$ ;  $y = RW2$ ).

**FIGURA 5. Distribución de los especímenes de Cementerio General en vista frontal. Se incluyen las grillas de torsión con respecto al consenso para cada RW (x10).**



En este gráfico se aprecia claramente la separación por sexo de los especímenes a lo largo del primer *relative warp* (RW1). Las variaciones entre el componente uniforme y no uniforme no fueron significativas.

El dimorfismo sexual en esta población se expresa en la escama frontal en el eje cráneo-caudal. Los hombres presentan menor expansión respecto de las mujeres; en la eminencia parietal respecto al plano sagital en el plano transversal. Los cráneos masculinos presentan mayor expansión transversal respecto de cráneos femeninos, como se observa en cigion. Los cráneos masculinos presentan mayor expansión respecto de cráneos femeninos, en los hitos en la región facial en el eje cráneo-caudal. Los hombres presentan mayor expansión facial respecto de las mujeres.

La correspondencia entre estas variaciones es la siguiente:

La expansión de la escama frontal se asocia con la contracción de la eminencia parietal, la contracción de cigion respecto al plano sagital y la contracción facial en el eje apical-caudal. Este tipo es característico de cráneos femeninos.

Al contrario, la contracción de la escama frontal se asocia con la expansión de la eminencia parietal respecto del plano sagital, la expansión de cigion respecto al plano sagital y la expansión facial en el eje cráneo-caudal. Este tipo es característico de cráneos masculinos.

En cuanto al segundo *relative warp* (RW2), este no refleja la separación por sexo en la muestra, debido a que explica un bajo porcentaje de la varianza total (14,68%).

Las variaciones reflejada por el RW2 ocurren en la eminencia parietal, cigion, respecto al plano sagital, órbita respecto al plano sagital, región facial en el eje cráneo-caudal.

La correspondencia entre estas variables es la siguiente:

La expansión de la eminencia parietal respecto del plano sagital se asocia con expansión de cigion respecto al plano sagital, expansión transversal de la órbita y contracción facial en el eje cráneo-caudal.

Al contrario, la contracción de la eminencia parietal se asocia con contracción de cigion, de la órbita y de la región facial en el eje cráneo-caudal.

Los análisis estadísticos (Tablas 8.1 y 8.2 del Anexo 8) arrojan valores significativos para variable sexo, en tanto que no lo hace para la variable tamaño (tabla 8.5 del Anexo 8)

En resumen, los resultados obtenidos de la técnica muestran la robustez del enfoque para discriminar el dimorfismo sexual en el cráneo humano, confirmado ampliamente al utilizar los métodos clásicos

#### **4.1.1.2. Vista Lateral:**

La Figura 5.1 del Anexo 5 muestra la distribución de los cráneos en vista lateral para los dos primeros *relative warps* (RW1 y RW2).

No se observa una clara separación por sexo, ya que los cráneos se agrupan al centro del bivariado, aunque se observa separación en los extremos del eje x.

Para RW1, las variaciones de la forma se observan entre inion y la proyección de lambda, en la curvatura de la bóveda, en la curvatura de la escama parietal, en los hitos esplanocraneales, de acuerdo al eje anteroposterior.

La correspondencia entre estas variaciones es la siguiente:

La expansión entre inion y la proyección de lambda se asocia con menor curvatura de la bóveda y de la escama frontal y con la contracción anteroposterior de la región esplanocraneana.

Por el contrario, la contracción entre inion y la proyección de lambda se asocia con aumento de la curvatura de la bóveda y de la escama frontal y con expansión anteroposterior de la región esplanocraneana.

RW2 refleja también variaciones de la forma a nivel del neurocráneo y esplanocráneo.

Las variaciones se presentan entre inion y el proceso mastoides, en la curvatura de la bóveda, en la curvatura de la escama del frontal, en los hitos

esplacnocraneales en el eje cráneo-caudal y en el perfil facial (prognatismo).

La correspondencia entre estas características es la siguiente:

La expansión entre inion y el proceso mastoides se asocia con disminución de la curvatura de la bóveda y del frontal, con la contracción anteroposterior de los hitos faciales en el eje anteroposterior y aumento del prognatismo alveolar.

Por el contrario, la contracción entre inion y el proceso mastoides se asocia con aumento de la curvatura de la bóveda y del frontal, expansión de los hitos faciales en el eje anteroposterior y menor prognatismo alveolar.

Los análisis estadísticos (Tabla 1.1 y 1.2 del Anexo 1) de esta muestra revelan que las diferencias observadas para sexo no son significativas ( $\lambda$  de Wilks no significativo), en tanto que las diferencias para tamaño (Tabla 1.5) sí lo son.

En resumen: el dimorfismo sexual no es observable en vista lateral. El tamaño del centroide arroja valores significativos.

#### **4.1.2. Pica 8:**

##### **4.1.2.1. Vista Frontal:**

La figura 5.2 del Anexo 5 muestra la distribución de la muestra de Pica 8 en vista frontal para RW1 y RW2.

En esta muestra, la separación por sexo es menos notoria en comparación con Cementerio General, probablemente debido a su escasez muestral. La deformación de placa delgada (tps) a lo largo del RW1 presenta variaciones similares a las observadas en Cementerio General, indicando su asociación con el dimorfismo sexual.

Estas deformaciones, a lo largo del RW1 se observan en la eminencia parietal, tanto respecto al plano sagital como al eje cráneo-caudal, en el hueso parietal, entre la sutura zigomático-frontal y la eminencia parietal y en la región facial, principalmente porción alveolar del hueso maxilar.

La correspondencia entre estas modificaciones es la siguiente:

La expansión de la eminencia parietal respecto al plano sagital se asocia con expansión del hueso parietal entre la sutura cigomático frontal y la eminencia parietal y con la expansión de la región facial en eje apical-caudal. Este tipo es propio del sexo masculino.

Al contrario, la contracción de la eminencia parietal respecto al plano sagital se asocia con contracción del hueso parietal entre la sutura cigomático frontal y la eminencia parietal y con la contracción de la región facial en eje apical-caudal. Este tipo es propio del sexo femenino.

Las variaciones para RW2 se observan en la eminencia parietal, la órbita y la región facial.

La correspondencia entre estas variaciones es la siguiente:

La expansión de la eminencia parietal respecto al plano sagital se asocia con la expansión transversal de la órbita y con la expansión facial. Al contrario, la contracción de la eminencia parietal respecto al plano sagital se asocia con la contracción transversal de la órbita y con la contracción facial.

No se observa separación por sexo a lo largo del RW2.

Los análisis estadísticos (Tabla 1.1 y 1.2 del Anexo 1) arrojan valores significativos para la variable sexo, en tanto que para D.C.I. (Tablas 1.3 y 1.4, del Anexo 1) y tamaño (Tabla 1.5 del Anexo 1) no son significativas.

En resumen: en vista frontal se observa separación de los especímenes por sexo, por lo que se puede inferir que la variable D.C.I. no está afectando el dimorfismo sexual en la población de Pica 8.

#### **4.1.2.2. Vista Lateral:**

La figura 5.3 del Anexo 5 muestra la distribución de los cráneos en vista lateral para RW1 y RW2. Como se observa, no hay una clara separación de la muestra por sexo.

Las variaciones de la forma explicados por RW1 se observan en la escama occipital, entre inion y la proyección de lambda, en la curvatura de la

escama frontal y en la inclinación del perfil facial (Prognatismo).

La correspondencia entre estas características es la siguiente:

La contracción de la escama occipital, entre inion y la proyección de lambda se asocia con aumento de la curvatura de la escama frontal y con menor inclinación del perfil facial (menor prognatismo). Por el contrario, la expansión de la escama occipital, entre inion y la proyección de lambda se asocia con disminución de la curvatura de la escama frontal y con mayor inclinación del perfil facial (mayor prognatismo).

Las variaciones de la forma explicadas por RW2 se observan en la escama occipital, entre inion y la proyección de lambda, en el perfil esplanocraneano en el eje cráneo-caudal.

La correspondencia entre estas características es la siguiente:

La expansión de la escama occipital, entre inion y la proyección de lambda, se asocia con la contracción del perfil esplanocraneano. Al contrario, la contracción de la escama occipital, entre inion y la proyección de lambda, se asocia con la expansión del perfil esplanocraneano.

Los análisis estadísticos (Tablas 1.1 y 1.2 del Anexo 1) de esta muestra revelan que las diferencias observadas para sexo no son significativas, en tanto que las diferencias para tamaño del centroide sí lo son, así como también lo son para D.C.I.

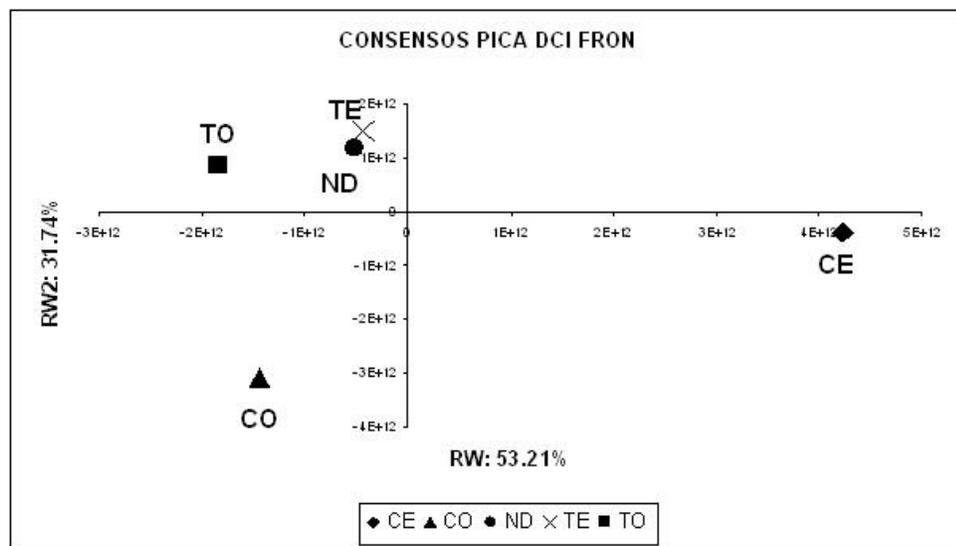
Para ambas variables independientes, los análisis de regresión y análisis discriminante dan resultados divergentes.

En cuanto a la variable D.C.I., el análisis de regresión arroja resultados estadísticamente significativos, en tanto que el análisis discriminante arroja valores no significativos, existiendo muchos casos asignados como incorrectos y un bajo porcentaje de correctos para todos los tipos (hasta un 50% para los no deformados). Lo anterior genera dudas sobre la clasificación de estos cráneos, o bien, los componentes de la forma derivados del mapa de homologías utilizado, no reflejan fielmente las variaciones relevantes para cada sexo.

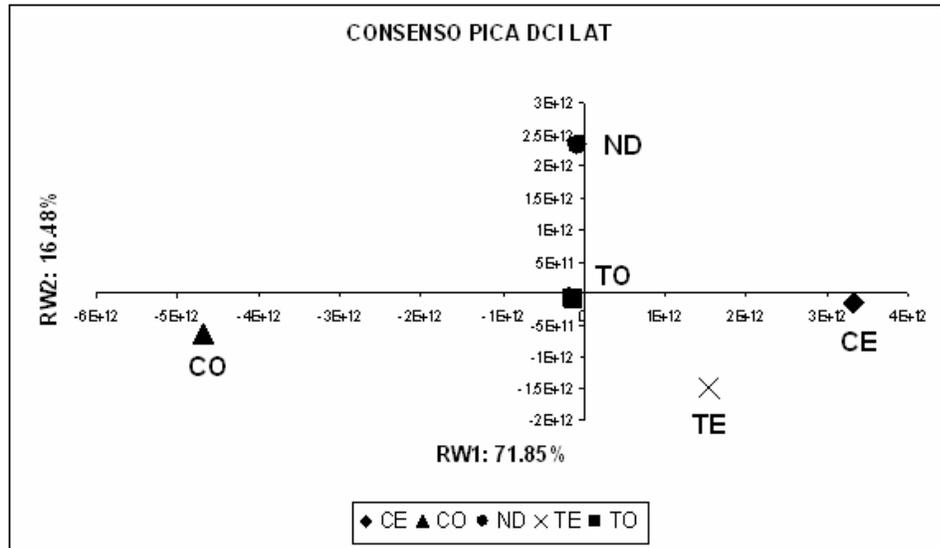
En resumen, en la vista lateral, solamente el tamaño del centroide arroja valores significativos en esta muestra. Debido a que en la presente investigación, la aceptación de la variable (en este caso la variable D.C.I.) se realiza solamente cuando ambos análisis arrojan resultados significativos, se descarta el efecto de esta variable en este análisis, además el resultado significativo se encuentra en el límite de la significancia.

En las Figuras 6 y 7 se han graficado las configuraciones de consenso de cada tipo de D.C.I., junto con cráneos no deformados de la población de Pica 8.

**Figura 6. Distribución del consenso de cada tipo de D.C.I. y no deformado de los especímenes de Pica 8 en vista frontal.**



**Figura 7. Distribución del consenso de cada tipo de D.C.I. y no deformado de los especímenes de Pica en vista lateral.**



En ambas vistas no se observa una distribución clara de los tipos de deformaciones. Los tipos circular erecto y oblicuo se separan por el primer componente principal, a pesar de que comparten la mecánica de la deformación, que haría suponer que se agruparían relativamente cerca. Para los tipos tabular erecto y oblicuo, la separación es diferente en cada vista: mientras que en vista frontal se separan por el RW1, en vista lateral se separan por RW2, aunque se encuentran más homogéneos en comparación con los tipos circulares. La población no deformada en vista frontal se agrupa con TE, en tanto que en vista frontal se agrupa más bien con CE. Lo anterior sugiere que el mapa de homologías empleado para las vistas laterales refleja la dirección de la deformación, más que la mecánica deformatoria. Los tipos tabulares oblicuos, entonces, tienen mucho menor grado de dirección de la deformación en comparación con los tipos circulares.

### **4.1.3. Pisagua**

#### **4.1.3.1. Vista Frontal:**

La Figura 5.4 del Anexo 5 muestra la distribución de los cráneos en vista frontal para RW1 y RW2. Como se observa, no existe clara separación entre sexos, ya que se superponen. Las mujeres se ubican preferentemente en los puntajes medios, en correspondencia con el eje x, a diferencia de los hombres que se encuentran dispersos dentro de ambos ejes.

Las variaciones de la forma para RW1 se observan en la escama frontal, en la región parietal, entre la sutura zigomático frontal y la eminencia parietal y en la región facial (órbita, zigomático, maxilar, nasal y alveolar).

La correspondencia entre estas características es la siguiente:

La expansión de la escama frontal en el eje cráneo-caudal se asocia con contracción transversa de la eminencia parietal y con contracción en sentido cráneo-caudal del esplanocráneo.

Las variaciones de la forma a lo largo del RW2 se observan en la escama frontal en sentido transverso y en la región facial, en sentido transverso (entre sutura zigomático maxilar y plano sagital).

La correspondencia entre estas características es la siguiente:

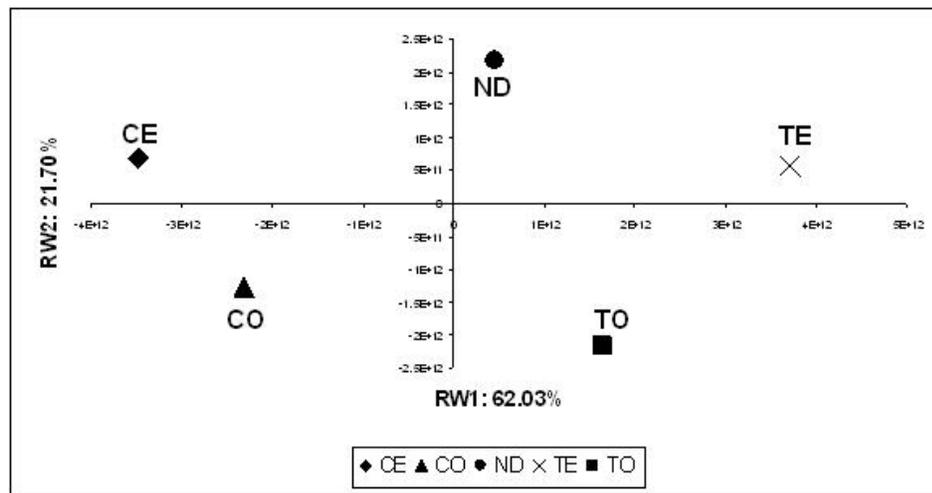
La contracción transversal de la eminencia parietal se asocia con la expansión de la región facial. Este conjunto de características es propia del sexo masculino. Al contrario, la expansión transversal de la eminencia parietal se asocia con contracción transversa de la región facial. Este conjunto de características es representativo del sexo femenino.

A pesar de que no haya una visualización clara de la separación entre los sexos, se logra observar que los especímenes femeninos tienden a presentar neurocráneo y esplanocráneo estrecho, a diferencia de los masculinos.

Los análisis estadísticos (Tablas 1.6 y 1.7 del Anexo 1) revelan que las diferencias observadas para las tres variables independientes son significativas. A continuación (figura 8) se presenta la distribución del consenso de cada tipo

de D.C.I. y no deformado de esta población en vista frontal.

**Figura 8: gráfico de distribución de las configuraciones de consenso de la población de Pisagua para cada tipo de D.C.I. en vista frontal, incluyendo especímenes no deformados en vista frontal en la población de Pisagua (CE: Circular Erecto, CO: Circular Oblicuo, ND: No Deformado, TE: Tabular Erecto, TO: Tabular Oblicuo).**



Como se puede observar, existe una distribución bastante sugerente de la D.C.I. en esta población. Las variantes circulares y tabulares se separan a través del eje x (RW1), en tanto que las variedades oblicuas y erectas de cada una de estas variantes se ubican relativamente cercanas, lo que indica homogeneidad, estableciendo diferencias de acuerdo al eje y (RW2).

En resumen: las tres variables analizadas (sexo, tamaño y D.C.I.) ejercen un efecto significativo sobre la variación de la morfología calvaria.

#### **4.1.3.2. Vista Lateral:**

La Figura 5.5 del Anexo 5 muestra la distribución de los cráneos en vista lateral para RW1 y RW2. La distribución de los especímenes presenta una leve separación por sexo a lo largo del eje x.

Las variaciones morfológicas se observan, para RW1, en la escama occipital entre inion y proceso mastoides. Este es el rasgo más característico y

notorio del RW1; en la curvatura de la bóveda, representada en la región occipital, produciendo aplanamiento con pronunciada curvatura hacia el occipucio y viceversa, produciendo contracción de la región apical de la bóveda craneana, conjuntamente con aplanamiento de la curvatura de la bóveda craneana, en variaciones de la curvatura del frontal, desde aplanado a curvo y en la región facial, en sentido cráneo-caudal.

La correspondencia entre estas variaciones es la siguiente:

La contracción de la escama occipital, entre inion y proyección de lambda se asocia con la expansión del occipital entre inion y el proceso mastoides, con la menor curvatura de la bóveda, principalmente en la región occipital y mayor curvatura del frontal. Al contrario, la expansión de la escama occipital, entre inion y proyección de lambda se asocia con la contracción del occipital entre inion y el proceso mastoides, con la mayor curvatura de la bóveda, principalmente en la región occipital y menor curvatura del frontal.

Las variaciones representadas a lo largo de RW2 se observan en la región occipital, entre inion y el proceso mastoides, en la región occipital, entre proyección de lambda e inion, en la región facial, en un eje cráneo-caudal y en la curvatura de la escama frontal.

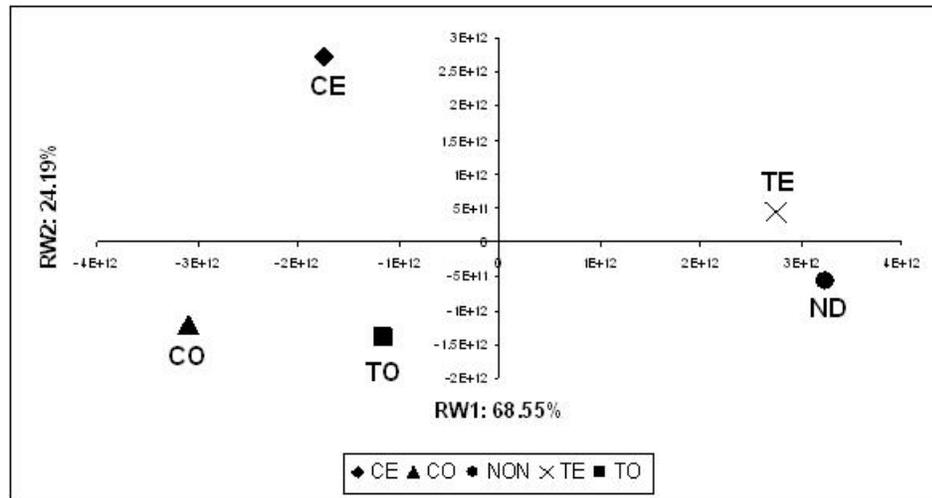
La correspondencia entre estas variaciones es la siguiente:

La contracción de la escama occipital, entre inion y el proceso mastoides se asocia con expansión entre la proyección de lambda e inion, con aumento de la curvatura del frontal y contracción del perfil esplanocraneano. Al contrario, la expansión de la escama occipital, entre inion y el proceso mastoides se asocia con contracción entre la proyección de lambda e inion, con aplanamiento de la curvatura del frontal y expansión del perfil esplanocraneano.

El análisis estadístico arroja valores significativos solamente para la variable tamaño.

A continuación (Figura 9) se muestra la distribución de la configuración de consenso para cada tipo deformativo, incluyendo los especímenes no deformados.

**Figura 9: gráfico de distribución de las configuraciones de consenso de la población de Pisagua para cada tipo de D.C.I., incluyendo especímenes no deformados en vista lateral (CE: Circular Erecto, CO: Circular Oblicuo, ND: No Deformado, TE: Tabular Erecto, TO: Tabular Oblicuo).**



Mientras que los tipos circulares se separan por el eje y, las variantes tabulares lo hacen por x, la variedad tabular erecta se encuentra cercana a la variante no deformada.

En resumen: Sólo hay efecto significativo de la variable tamaño del centroide. También se observan claramente las deformaciones de las grillas producto de la D.C.I.. Sin embargo, las diferencias para esta variable no fueron significativas.

## **4.2. Análisis entre Poblaciones:**

### **4.2.1. Vista Frontal:**

La Figura 5.6 del Anexo 5 muestra la distribución de los especímenes pertenecientes a las tres poblaciones para RW1 y RW2. Se considera el factor sitio como variable independiente dentro del análisis.

Se observa que Pica 8 y Pisagua se separan de la muestra Cementerio General por el eje x; en tanto que las dos primeras se separan por el eje y, existiendo mayor grado de superposición entre ellas.

Las modificaciones morfológicas observadas a lo largo de RW1 se observan en la escama frontal, en el eje cráneo-caudal, en la región facial, a lo largo del eje cráneo-caudal, en la región a lo largo del eje transverso.

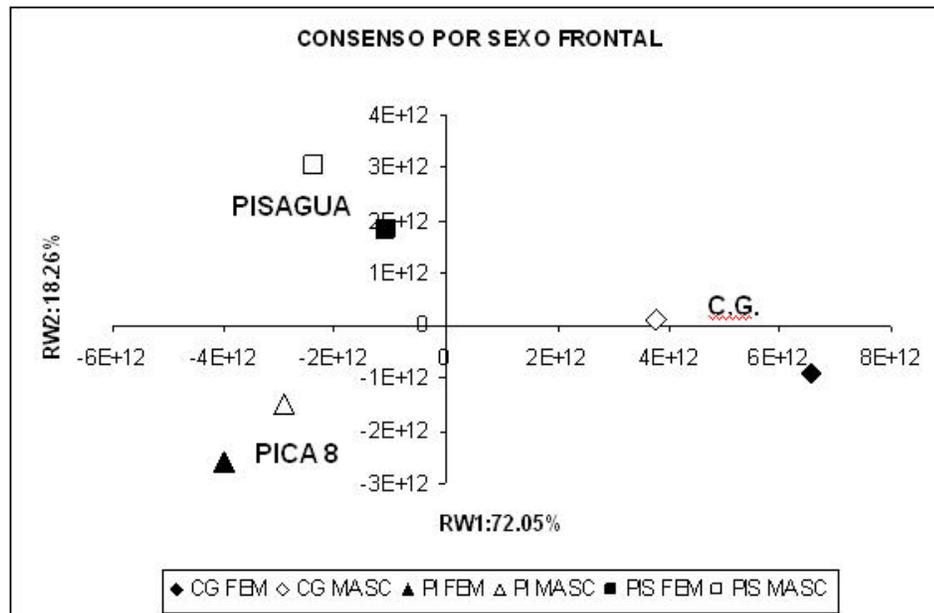
La correspondencia entre estas variaciones es la siguiente:

La expansión de la escama frontal se asocia con expansión cráneo-caudal de los hitos esplanocraneales y con expansión transversa de la región facial. Este conjunto de características es propio de Pica 8 y Pisagua. Por el contrario, la contracción de la escama frontal se asocia con contracción apical caudal de los hitos esplanocraneales y con contracción transversal de la región facial. Este conjunto de características es propio de Cementerio General.

Los análisis estadísticos (Tablas 1.6 y 1.7 del Anexo 1) de esta muestra revelan que todas las variables independientes son significativas.

La siguiente figura presenta la distribución de los consensos de cada sexo en cada una de las poblaciones sometidas a estudio en vista frontal.

**Figura 10: gráfico de distribución de las configuraciones de consenso de cada sexo de cada población en vista frontal.**

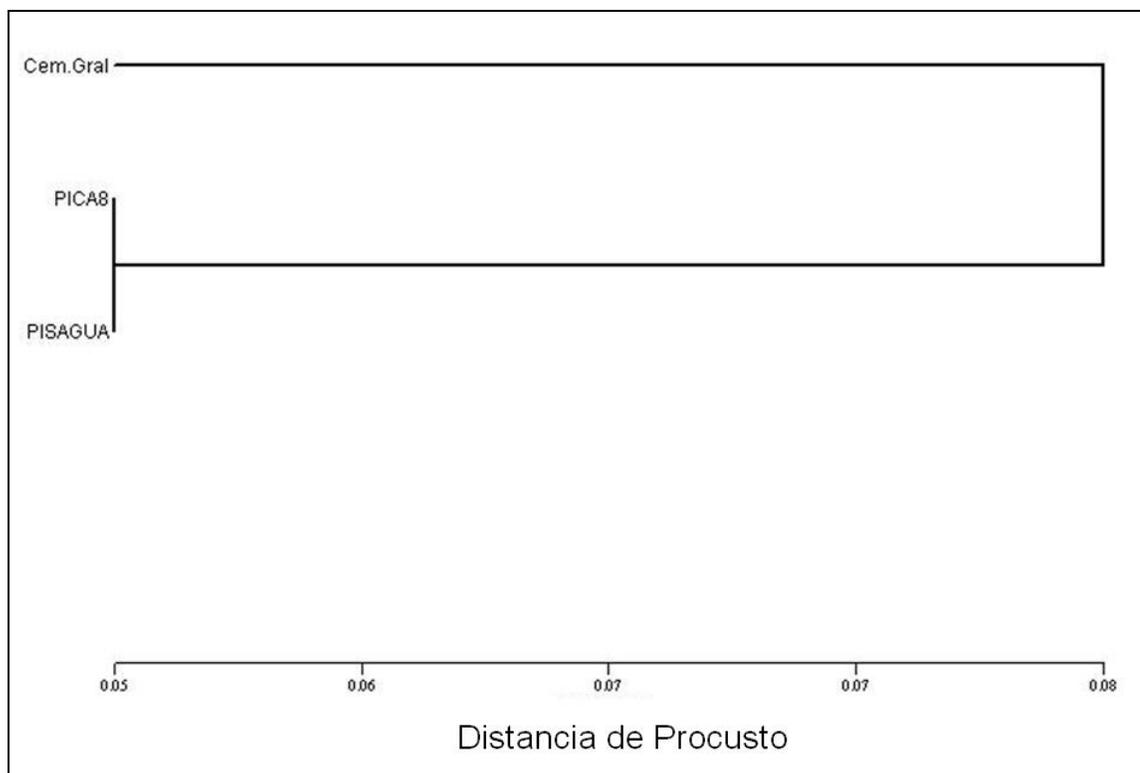


Como se observa, ambos sexos permanecen relativamente agrupados de acuerdo a cada población y, en tanto que en las poblaciones de

Cementerio General y Pica 8 son las variantes femeninas las que tienden hacia los extremos del bivariado, la variante masculina de Pisagua es la que tiende a alejarse del consenso.

Por otra parte, en el fenograma realizado a través de un análisis de agrupamiento por UPGMA de las distancias de Procusto de las configuraciones de consenso, se observa que Pica 8 y Pisagua son morfológicamente más semejantes entre ellas respecto de Cementerio General, lo que sugiere una mayor afinidad genética entre ellas, en comparación con Cementerio General.

**Figura 11 Fenograma de las tres poblaciones en vista frontal.**



Esta observación apoya la afirmación de que los análisis morfométricos geométricos dan cuenta de las similitudes morfológicas entre distintas poblaciones, debidas, ya sea a similitudes ambientales o genéticas de las vistas frontales de los cráneos en las poblaciones sometidas a estudio en la presente investigación.

En resumen: Todas las variables independientes arrojan valores significativos en el análisis interpoblacional de las vistas frontales. Por otra parte, los resultados permiten sugerir que las vistas frontales de cráneos expresan las afinidades morfológicas entre poblaciones, reflejo de la composición genética de ellas o de presiones ambientales similares, respecto de otros grupos.

#### **4.2.2. Vista Lateral:**

La Figura 5.7 del Anexo 5 muestra la distribución de los especímenes para RW1 y RW2, en donde se observa una clara separación entre las tres poblaciones, con casi nula sobreposición entre ellas.

Cementerio General presenta mayor homogeneidad, a diferencia de Pica 8 y Pisagua, en donde se observa mayor dispersión.

Las variaciones morfológicas reflejadas en el RW1 se observan en la escama occipital, entre inion y proceso mastoides, en la escama occipital, entre inion y proyección de lambda, en la curvatura de la escama frontal, en el neurocráneo, en el perfil esplanocraneano (prognatismo), en la región facial, en el eje antero posterior y en el relieve del arco superciliar.

La correspondencia entre estos hitos es la siguiente:

La expansión de la escama occipital, entre inion y el proceso mastoides se asocia con contracción del occipital, entre inion y la proyección de lambda, con mayor curvatura de la escama frontal, menor prognatismo, expansión de la bóveda craneana y mayor relieve del arco superciliar. Este tipo es más común entre la población de Pica y de Cementerio General. Al contrario, la contracción de la escama occipital, entre inion y el proceso mastoides se asocia con expansión del occipital, entre inion y la proyección de lambda, con menor curvatura de la escama frontal, mayor prognatismo, contracción de la bóveda craneana y menor el relieve del arco superciliar. Este tipo es más común entre la población de Pisagua.

Las variaciones morfológicas reflejadas en el RW2 se observan en la

curvatura de la zona occipital, en la curvatura de la escama frontal, en la curvatura de la bóveda craneana, en la inclinación del perfil facial (prognatismo), en la región facial, en el eje antero posterior y en el relieve del arco superciliar.

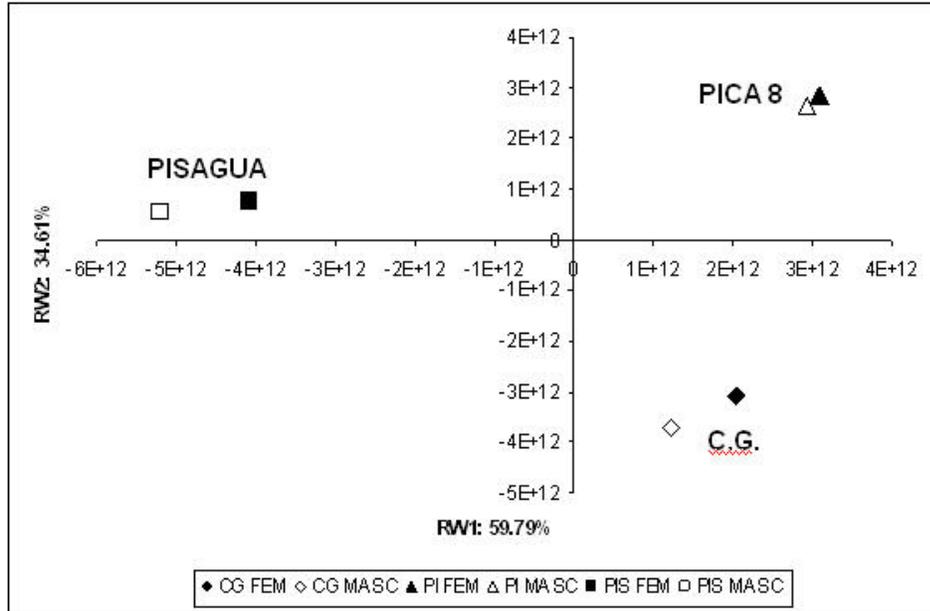
La correspondencia entre estos hitos es la siguiente:

La mayor curvatura de la zona occipital se asocia con mayor curvatura de la escama frontal, con menor curvatura de la bóveda craneana, menor prognatismo, menor distancia de los hitos esplanocraneanos (región facial) y mayor relieve del arco superciliar. Este tipo es común entre la población de Cementerio General. Al contrario, la menor curvatura de la zona occipital se asocia con menor curvatura de la escama frontal, con mayor curvatura de la bóveda craneana, mayor prognatismo, mayor distancia de los hitos esplanocraneanos (región facial) y menor relieve del arco superciliar. Este tipo es más común entre la población de Pica y en menor medida, de la población de Pisagua.

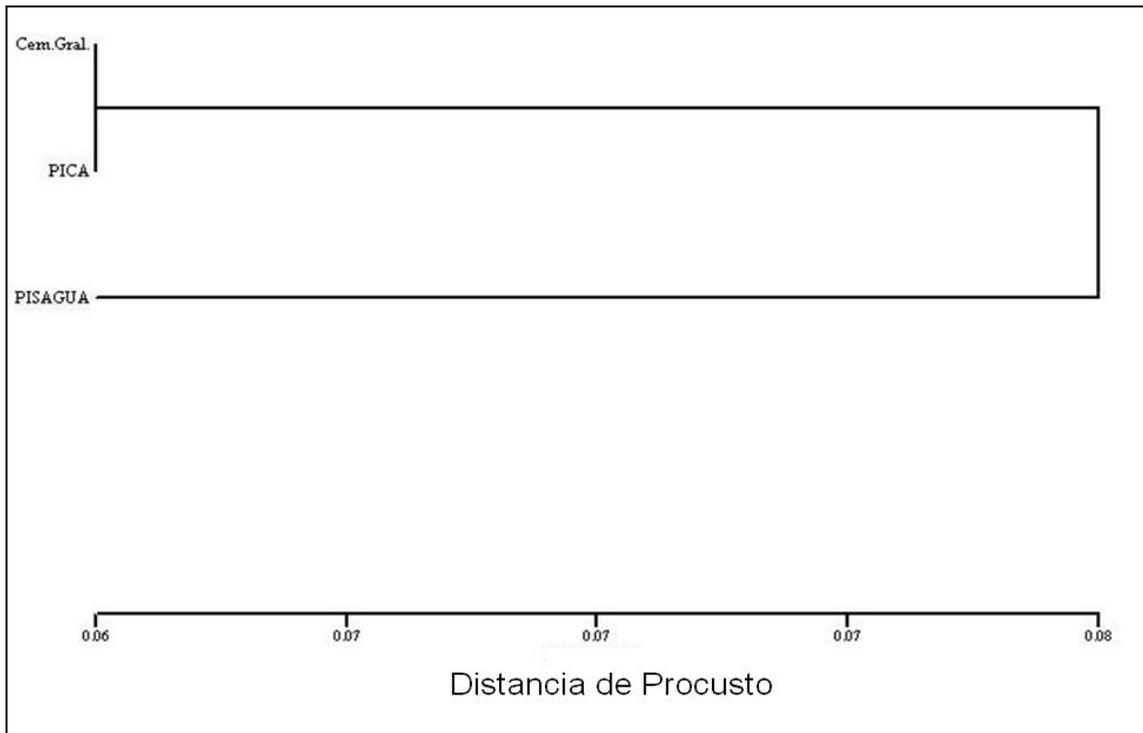
El análisis estadístico de esta muestra revela que todas las variables independientes son significativas.

Como se observa en el gráfico de dispersión de la Figura 9, cada sexo se mantiene bastante agrupado de acuerdo a cada población, sobretodo en la población de Pica 8. Por otra parte, se observa que Cementerio General y Pica 8 presentan separación de acuerdo al RW2; en tanto, la población de Pisagua se separa de estas dos poblaciones por el RW1, lo que indica que Pisagua presenta mayores diferencias morfológicas que las dos anteriores (RW1 presenta mayor varianza que sus sucesores).

**Figura 12: gráfico de dispersión de las configuraciones de consenso de cada sexo de cada población en vista lateral.**



**Figura 13. Fenograma de las tres poblaciones en vista lateral**



En el fenograma de las distancias de Procrusto de las configuraciones de consenso en esta vista, se observa un claro contraste con la vista frontal, dado que Pica 8 se agrupa con Cementerio General, en tanto que Pisagua queda en una rama aparte. De esto se puede inferir que la vista lateral y/o el mapa de homologías confeccionado, están expresando variables diferentes a caracteres genéticos o evolutivos de las poblaciones sometidas a estudio. Uno de estos factores causales puede ser el efecto de la D.C.I.

En resumen: Todas las variables sometidas a análisis son significativas en el análisis interpoblacional. El fenograma confeccionado da cuenta que no existe en esta vista relaciones de similitud por etnicidad, como se pudo observar en el fenograma de las vistas frontales. Posiblemente esas agrupaciones obedezcan a otro tipo de variables que la explican, como puede ser el grado de DCI, como se discutirá más adelante.

A continuación se resumen los resultados del análisis confirmatorio.

**Tabla VI Resumen de los resultados arrojados para cada población y su interpretación respecto a la hipótesis nula planteada en el presente trabajo**

(\*: resultado significativo; N: resultado no significativo).

	SEXO		DCI		H0: No hay efecto significativo de DCI sobre DS	
	FRONTAL	LATERAL	FRONTAL	LATERAL	FRONTAL	LATERAL
<b>Cementerio General</b>	*	N	-----	-----	Grupo control	Grupo control
<b>PICA 8</b>	*	N	N	N	-----	-----
<b>PISAGUA</b>	*	N	*	N	ACEPTADA	-----

## **5. DISCUSION**

### **5.1. DIMORFISMO SEXUAL**

El dimorfismo sexual en la vista frontal se observa en todas las poblaciones analizadas en este estudio, tanto en los análisis exploratorios como en los confirmatorios, así como a nivel intrapoblacional e interpoblacional. Esto sugiere que los hitos utilizados en esta vista anatómica, han sido apropiados para la estimación de los parámetros y en general, que la morfometría geométrica es capaz de analizar y separar eficazmente individuos masculinos de femeninos.

Cementerio General presenta con claridad en el bivariado, la separación por dimorfismo sexual. De hecho, recuerda la distribución de la curva bimodal a lo largo del RW1, distribución observada comúnmente cuando se analiza la expresión morfológica del dimorfismo sexual, a partir de variables métricas<sup>114</sup>. Esto sugiere fuertemente que el dimorfismo sexual es una de las características más conspicuas dentro de las causas de variación morfológica de la biología, lo que es concordante con lo establecido por otros autores<sup>115</sup>, utilizando procedimientos derivados tanto de la morfometría lineal como de morfometría geométrica.

El tipo femenino presenta expansión vertical de la escama frontal, contracción transversal de las eminencias parietales y contracción vertical y transversal de la región facial, contrariamente al tipo masculino. Estas características que diferencian cráneos masculinos de femeninos, concuerdan con el aumento de la robusticidad observado en el sexo masculino, expresión morfológica del dimorfismo sexual, que se refleja en un aumento de las inserciones musculares, que conllevan a la expansión de las eminencias parietales, producto de una mayor inserción del músculo temporal; expansión transversal y vertical de la región facial, que se puede atribuir a la expansión del

---

<sup>114</sup> White, 1991

<sup>115</sup> Hanken y Hall, 1993; Plavcan, 1994; Word y Lynch, 1996.

espacio naso y orofaríngeo, como ha sido propuesto anteriormente por Rosas y Bastir<sup>116</sup>, que guarda relación en el requerimiento diferencial de oxígeno entre hombres y mujeres y, en consecuencia, en diferencias sexuales en el requerimiento metabólico. Las diferencias en la expansión de la eminencia parietal entre especímenes masculinos y femeninos también sugieren variaciones craneofaciales, fenómeno llamado comúnmente braquicefalización. Sintéticamente, la braquicefalización es un proceso que produce cambio morfológico de la cabeza ósea humana, desde un tipo dolicoide (en vista apical, predominio del largo anteroposterior por sobre el mediolateral, es decir, cráneos alargados) hacia el tipo braquioide (en vista apical, cráneos en donde no existe un notorio predominio de algunas de estas medidas, es decir, cráneos redondos)<sup>117</sup>. Estas modificaciones relacionadas también con diferencias en la altura basal<sup>118</sup> (bóvedas bajas asociadas generalmente con el tipo dolicoide y bóvedas altas con tipos braquioides), fueron utilizadas ampliamente en todo el mundo como indicadores de afinidades biológicas entre poblaciones<sup>119</sup>. Trabajos posteriores<sup>120</sup> revelaron que estas modificaciones se debían a una reducción de la actividad de la musculatura masticatoria, producto de cambio de una dieta dura a una más blanda, que se fundamenta en cambios tecnológicos de la preparación de los alimentos. Esta hipótesis, denominada *hipótesis masticatoria-funcional* postula que la reducción de la actividad de los músculos masticatorios produce decremento en la carga mecánica del esqueleto craneofacial. La alteración de las funciones masticatorias inhibe la estimulación del crecimiento óseo, que conduce a una reducción de la robusticidad craneofacial, además de provocar alteración progresiva del crecimiento de toda

---

<sup>116</sup> Rosas y Bastir, 2002.

<sup>117</sup> Munizaga, J., 1986

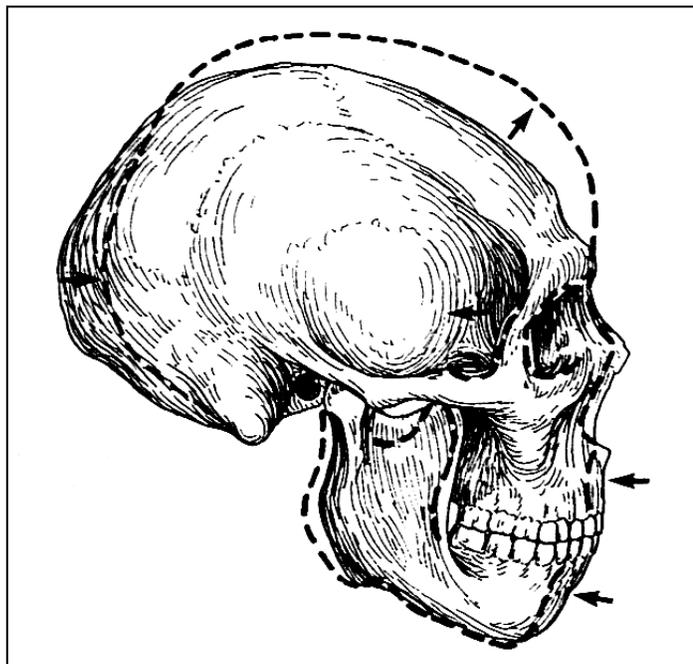
<sup>118</sup> Stewart, T. 1943.

<sup>119</sup> Armelagos, 1968; Armelagos *et al.*, 1982; Boas, 1912, 1916; Carlson, 1976a, 1976b; Carlson y Van Gerven, 1977, 1979; Weindereich, 1945 *en* Larsen, 1997.

<sup>120</sup> Armelagos *et al.*, 1984; Carlson, *op. cit.*, Carlson y Van Gerven, *op. cit.*, Van Gerven *et al.*, 1973, 1977 *en* Larsen, 1997.

la cara y la bóveda craneal, resultando en una cara más pequeña e inclinada más inferioposteriormente hacia la bóveda (Figura 14).

**Figura 14. Proceso de braquicefalización. El cráneo en línea continua representa el tipo dolicoide y la silueta en línea segmentada, un cráneo braquioide (tomado de Larsen, 1997)**



Como se observa en la Figura 14, existen ciertas similitudes entre individuos femeninos y masculinos de Cementerio General y los tipos braquicefálicos y dolicocefálicos. Individuos masculinos y dolicoideos presentan bóvedas más achatadas (o más bien, simetría entre la escama frontal y la región facial) y la región facial más expandida, mientras que la eminencia parietal se dirige más hacia lateral respecto las apófisis zigomáticas del frontal. A su vez, los individuos femeninos y braquioideos presentan una bóveda más expandida verticalmente (asimetría entre la escama frontal y la región facial) y la región facial contraída, mientras que la eminencia parietal se encuentra prácticamente alineada al plano parasagital con las apófisis zigomáticas del frontal. Esto sugiere que el desarrollo muscular en el sexo masculino, propio de

la aparición de los caracteres sexuales secundarios, estimula las regiones de inserciones musculares, como la región parietal, que es zona de origen del músculo temporal. Esto produciría constricciones en esta zona y en consecuencia, un achatamiento de la región craneana. Al contrario en el sexo femenino, el menor desarrollo muscular de la masticación provocaría una liberación de esta zona y un crecimiento sin achatamiento, además de una disminución del crecimiento de la región facial, como ha sido sugerido anteriormente por otros investigadores <sup>121</sup>. Veremos luego, que el mismo fenómeno ocurre cuando se analizan las tres poblaciones en conjunto.

Otra región que muestra expansión en el sexo masculino es la apófisis alveolar en sentido transversal. Es sugerente que estas diferencias puedan relacionarse con la expansión de las cavidades naso y orofaríngeas, como ya fue mencionado anteriormente, además de un incremento en el espacio bucal, que puede estar relacionado con los mayores requerimientos alimenticios que presenta un hombre a diferencia de una mujer. Por ejemplo, el Índice Metabólico Basal (I.M.B.) en hombres siempre es mayor en comparación con las mujeres <sup>122</sup>. Es probable que el aumento del espacio bucal del sexo masculino pueda estar involucrado con una ingesta mayor de productos alimenticios. Por otra parte, la expansión de la apófisis alveolar puede estar también relacionada con factores biomecánicos involucrados en una mayor carga masticatoria por parte del sexo masculino en comparación con el femenino, como han sugerido experimentos realizados con primates no humanos <sup>123</sup>, además de recientes estudios realizados en población humana viva <sup>124</sup> que mostraron una mayor extensión en los arcos mandibulares y maxilares en niños griegos entre siete y doce años sometidos a experimentación.

---

<sup>121</sup> Lieberman *et al.*, 2003

<sup>122</sup> Moore, M., 1994.

<sup>123</sup> Ciochon *et al.* 1997

<sup>124</sup> Ingervall y Bitsanis, 1987; en Lieberman, 2004.

Respecto de las variaciones en sentido transversal del neurocráneo, es importante hacer notar que deben ir acompañadas con variaciones en este mismo sentido en la región facial, para poder establecer separación por sexo, ya que las variaciones ocurridas solamente en el neurocráneo no guardan relación con el dimorfismo sexual, como se observa en el RW2. Esta característica puede ser útil para estimar el dimorfismo sexual en cráneos que no hayan sufrido el efecto de la D.C.I. Sobre todo, cabe la posibilidad de analizar la covarianza entre diferentes regiones, como, por ejemplo, entre la región frontal y facial en el eje cráneo-caudal, en donde se supone, en base a los resultados obtenidos, que frontales expandidos y caras contraídas son características del sexo femenino; al contrario, frontales contraídos y caras expandidas son características del sexo masculino.

## **5.2. EFECTO DE LA D.C.I. SOBRE EL DIMORFISMO SEXUAL**

En vista de que las variables D.C.I. y dimorfismo sexual en vistas frontales arrojan valores significativos en Pisagua se puede afirmar que la D.C.I. **no ejerce un efecto significativo sobre el dimorfismo sexual**, es decir, no altera la forma de los hitos anatómicos que caracterizan a cada sexo, por lo que se rechazan las hipótesis alternativas estadísticas y biológicas y en consecuencia, se acepta la hipótesis nula (H0: DE LA INTRASCENDENCIA DE LA DEFORMACIÓN CRANEANA INTENCIONAL EN LA ESTIMACIÓN DEL SEXO).

De acuerdo con los resultados, ambas variables actúan paralela e independientemente sobre la variación de la morfología calvaria humana, sin que la primera interfiera en la segunda.

**Es sumamente notoria la separación observada en el bivariado de la vista frontal de Pisagua, representando el RW1 al dimorfismo sexual (del mismo modo que en C.G.) y el RW2 la D.C.I. Lo anterior sugiere fuertemente que la MG logra captar la forma geométrica de los cráneos**

**con DCI además de discriminarlos por sexo.**

En este bivariado, es notorio que algunos individuos masculinos que presentan D.C.I. se ubican en el extremo femenino a lo largo del eje x (RW1), aparentando, debido a la contracción transversal de la escama frontal (tipos circulares) una morfología más femenina. Es probable entonces, que una población que presente deformación circular puedan presentar cráneos masculinos gráciles en vista frontal, debido a la detención de la expansión transversal de las eminencias parietales provocada por esta deformación.

Lo anterior debe tomarse con precaución puesto que lo observado es solamente una parte de la variación total de la forma (RW1), por lo que otros *relative warps* pueden estar contribuyendo en la representación del dimorfismo sexual, además de que el tamaño de la muestra puede estar sesgando la imagen total de la población.

Respecto al RW2 se observa claramente en Pisagua una distinción entre circulares y tabulares (Figura 8, p.52). Mientras que el tipo circular presenta contracción transversal de la escama frontal, los tabulares presentan una extensión en el mismo sentido. Llama la atención que junto con estas diferencias, también se observen variaciones de la región facial, en donde especímenes circulares presentan expansión tanto vertical como transversal de esta zona, en tanto que los individuos tabulares presentan una contracción en ambos sentidos. Es posible entonces que pueda existir efecto de la D.C.I. sobre el esplanocráneo, lo que concuerda con los estudios realizados por Rhode<sup>125</sup>, aunque estas modificaciones no modifican la expresión del dimorfismo sexual, en el presente trabajo. Al observar las variaciones de las vistas frontales de Cementerio General experimentadas en el RW2, se aprecia que las variaciones morfológicas que suceden en este componente de la forma también guardan relación con expansión/contracción en sentido transversal de la escama frontal y de expansión/contracción de la región facial tanto vertical como transversalmente. Con respecto a Cementerio General, sugiere que las

---

<sup>125</sup> Rhode, 2002.

variaciones de la forma pueden ser producidas por variaciones normales del esqueleto, estimadas por la morfometría lineal a través de diferentes índices (índice frontal, índice yugo-frontal, índice facial morfológico, índice facial superior, índice transverso zigomático, índice orbitario, índice nasal, entre otros), que dividen los cráneos analizados en diferentes categorías relacionadas con la estrechez o expansión de estas regiones (estenometópico-eurimetópico; euriprosopo-leptoprosopo; eurieno-lepteno; criptozigio-fenozigio, etc.). En vista de que Pisagua asocia estas variaciones morfológicas con D.C.I., es posible que la D.C.I. puede alterar la variación normal de los cráneos en vista frontal. Esta coincidencia puede generar errores en la estimación de la D.C.I. (falsos positivos y negativos, es decir individuos deformador considerados no deformados y viceversa).

Es probable que algunas de las medidas propuestas por Cocilovo<sup>126</sup> para la estimación del dimorfismo sexual en el esplacnocráneo, que eventualmente no sufrirían alteración producto de la D.C.I., (ancho frontal mínimo, ancho bicigomático, altura nasal, altura orbital, ancho orbital, ancho palatal) puedan sufrir variación debido a la D.C.I.

Lo anterior sugiere que existe covariación entre la forma de la cara y el neurocráneo y el efecto de la D.C.I. Los resultados sugieren fuertemente que el uso exclusivo de datos primarios en valores interhito propio de la morfometría tradicional no es suficiente para explicar el efecto de la deformación intencional sobre la morfología esplacnocraneal y probablemente, del dimorfismo sexual<sup>127</sup>, apoyando de este modo, las afirmaciones aportadas por Rhode<sup>128</sup>, respecto de la trascendencia del efecto de la D.C.I. sobre la morfología esplacnocraneal. En conclusión, se observan variaciones eventualmente provocadas por la D.C.I., aunque ellas no alteran la expresión del dimorfismo sexual.

---

<sup>126</sup> Cocilovo, 1978.

<sup>127</sup> Cocilovo, 1975, 1978, 1994

<sup>128</sup> Rhode, 2001, 2002

En Pica 8 se observa que si bien la variable sexo es estadísticamente significativa para la variación total de la forma (Overall Shape Variation), no sucede lo mismo cuando se analiza sólo el componente no uniforme (variación local, Tabla VII).

**Tabla VII: resultados del análisis de regresión para la variable sexo, considerando solamente el componente no uniforme.**

$\Lambda$ Wilks	Df1, df2	P	Goodall's Fs	df1, df2	P
0.141	26, 9	<b>0.122</b>	1.240	26, 884	<b>0.189</b>

Lo anterior sugiere que variaciones de la forma que explican el dimorfismo sexual se encuentran incluidas en el componente uniforme (variaciones de todos los puntos hacia una dirección determinada, conservándose los ejes paralelos, como la transformación de un cuadrado a un rombo o rectángulo).

A diferencia de Pica 8, en Pisagua y Cementerio General la variación de la forma del cráneo es significativa aún cuando se extrae del análisis el componente uniforme.

Al observar la función de placa delgada en los análisis con y sin componente uniforme, se observa que la principal diferencia entre ambos análisis reside en la contracción vertical de la región facial, presente sólo en los análisis con componente uniforme. Otras modificaciones anatómicas son comunes en ambos análisis. Es posible que, en este sentido, la D.C.I. pueda estar afectando levemente el dimorfismo sexual. Es sugerente que las deformaciones provoquen alteraciones en la inclinación de la región facial, posiblemente por el uso de aparatos que comprimen los huesos planos de la bóveda craneal, los que a su vez ejercerían presión hacia los huesos esplanocraneales, modificando su forma original.

Por otra parte, el análisis de las vistas frontales de la colección de Pica 8 no arroja valores significativos respecto de la variable D.C.I., lo que se observa

en el correspondiente gráfico de dispersión (4.2 del Anexo 4). Esto sugiere que las deformaciones de Pica 8 presentan tipos o grados de deformaciones que no pueden ser captadas. Por una parte, es posible que las deformaciones de Pica 8 sean más leves que Pisagua, ya que cuando se observa el dendrograma generado para las vistas laterales de las tres poblaciones (p.60), Pica agrupa con Cementerio General, siendo que en vistas frontales agrupa con Pisagua, una colección más afín biológicamente a ella que Cementerio General. Conjuntamente con lo anterior, hay que considerar el hecho de que en el cementerio Pica 8 se registró la existencia de *capachos* en el 12.6% de las tumbas<sup>129</sup>. El *capacho* es un dispositivo para la carga de objetos pesados similar a un bolso, que se utilizaba pendiendo de la frente del individuo que los transportaba (Figura 15). Es probable que el uso del *capacho* durante la infancia pudo haber provocado deformaciones no intencionales, comprometiendo solamente la región frontal, en tanto que la región occipital no presentaría deformación al no estar involucrada en la presión ejercida por la carga, que pueden confundirse con deformaciones circulares oblicuas, debido a que la presión ejercida es en sentido oblicuo. Basado en lo anterior, no se descartan errores metodológicos originados por la clasificación, por lo que nuevas clasificaciones, considerando este tipo de variables, pueden generar tipologías más precisas.

---

<sup>129</sup> Núñez, 1962; Zlatar, 1982

**Figura 15: esquema del *capacho* aparato para el transporte de objetos, que posiblemente puede generar deformación no intencional sobre la población de Pica 8 (Tomado de Munizaga, 1964, Vol II).**



Por último, hay que hacer notar que la técnica que se ha aplicado en la presente investigación, emplea como dato primario hitos de dos dimensiones, lo que eventualmente puede reducir la información de la morfología calvaria durante el traspaso de un objeto de tres dimensiones a dos dimensiones. Es posible que posteriores análisis morfométricos geométricos en tres dimensiones sobre estas colecciones, puedan ser capaces de relevar mayor información morfológica que logre dilucidar problemas como el mencionado anteriormente.

### **5.3. LA VARIACIÓN DE LA FORMA EN VISTA FRONTAL COMO ESTIMADOR DE AFINIDADES BIOLÓGICAS ENTRE POBLACIONES**

Una vez agrupadas las tres poblaciones sometidas a estudio y realizados los análisis exploratorios, se pudo observar que ellas se agrupaban diferencialmente y no a partir del sexo o alguna otra variable para ambas vistas, definiendo de este modo, grupos discretos dentro del bivariado. A la variable independiente que reflejaba el sitio se le denominó O.T.U. (Operational Taxonomic Unit) y se sometió a análisis confirmatorio. Para ambas vistas, la variable O.T.U. resultó estadísticamente significativa, por lo que se realizó un análisis de agrupamiento por UPGMA. Es importante mencionar que la

variable O.T.U. adquiere mayor peso fenotípico frente a las variables DCI y dimorfismo sexual (representado en el RW1), como se observa en el gráfico de dispersión de las vistas frontales, lo que permite sugerir que no existen errores de superposición de esta variable aún en presencia de D.C.I. y de dimorfismo sexual.

Otro punto interesante es cuando se observa la distribución de los consensos de cada una de las colecciones analizadas, divididas por sexo (p.56), se observa que los especímenes masculinos, indistintamente a la colección que pertenezca, siempre se ubican sobre los especímenes femeninos (hacia los valores positivos del eje y). Esto sugiere que al realizar análisis interpoblacionales, el dimorfismo sexual queda representado en el segundo componente principal de la forma (RW2), siendo morfológicamente más conspicuas las diferencias interpoblacionales.

El fenograma de la vista frontal (Figura 11 anterior) dio cuenta de la afinidad fenotípica presente en Pica 8 y Pisagua respecto de Cementerio General, reflejo posiblemente, de mayores afinidades biológicas, que presupone que las poblaciones que comparten atributos están relacionadas más estrechamente que las poblaciones que expresan mayores diferencias<sup>130</sup>, aunque no se descarta que las similitudes morfológicas se deban también a factores ambientales. De hecho, como fue discutido anteriormente respecto a las diferencias morfológicas entre especímenes masculinos y femeninos de Cementerio General, también a nivel interpoblacional se pueden hallar interesantes variaciones craneofaciales. Anteriormente (p.63 y siguientes), cuando se discutieron las similitudes entre formas braquioides y dolicoideas entre especímenes femeninos y masculinos respectivamente, era notorio que los cráneos masculinos presentaban mayor robusticidad, producto del aumento del desarrollo muscular característico de este sexo. Ahora bien, al observar el bivariado 4.6 (Anexo 4, p.108), llama la atención que la colección Cementerio General se separa de Pica 8 y Pisagua por el primer componente principal de

---

<sup>130</sup> Larsen, 1997.

variación de la forma (RW1) y la grilla que los representa adopta una configuración similar a la adoptada por los especímenes femeninos de todas las colecciones, una vez realizados los análisis intrapoblacionales. Esto sugiere fuertemente una tendencia secular de disminución de la carga de la masticación desde poblaciones prehistóricas a poblaciones subactuales (hipótesis masticatoria-funcional), hipótesis apoyada por muchos investigadores <sup>131</sup> . Aunque este fenómeno se observa desde el Paleolítico Medio (100.000 a 35.000 a.P)<sup>132</sup> e incluso durante la revolución industrial (mediados del siglo XVIII)<sup>133</sup>, el período más dramático registrado es durante las postrimerías del Neolítico (posterior al 4.000 a.C.)<sup>134</sup> y se acompaña con las modificaciones craneales anteriormente mencionadas (braquicefalización, entre otras). Así es como las poblaciones subactuales, al reducir la carga masticatoria en relación con las poblaciones prehistóricas, tienden a presentar un aspecto más grácil, que llega a confundirse con los tipos femeninos de poblaciones prehistóricas. Entre estos cambios figura fundamentalmente una notoria disminución de la zona facial en comparación con la escama frontal, variación completamente opuesta con lo ocurrido en las poblaciones de Pica 8 y Pisagua, que presentan una notoria expansión de la región facial y contracción de la escama frontal, ambas en sentido vertical. El aumento en extensión de los procesos zigomáticos que se observa en las poblaciones prehispánicas utilizadas en el presente estudio, apoya la hipótesis de una correlación entre la capacidad de

---

<sup>131</sup> Agrawal *et al.*, 1997; Bouvier y Hylander, 1996; Carlson, 1976; Carlson and Van Gerven, 1977; Corruccini, 1984, 1990; Corruccini and Beecher, 1982; Lieberman, 1993; Lukacs, 1989; Richards *et al.*, 2001; Stiner *et al.*, 1999; Stiner, 2001; Strait, 1997; Wrangham *et al.*, 1999; entre otros, en Lieberman, 2004.

<sup>132</sup> Stiner *et al.*, 1999; Wrangham *et al.*, 1999; Richards *et al.*, 2001; Stiner, 2001; en Lieberman, 2004.

<sup>133</sup> Varrela, 1992; en Lieberman, 2004.

<sup>134</sup> Carlson, 1976; Carlson and Van Gerven, 1977; en Lieberman, 2004.

carga masticatoria y la expansión transversa de los zigomáticos planteada por Lieberman<sup>135</sup>.

Entre las poblaciones prehistóricas sometidas a estudio no se aprecia una distinción clara en las nubes de puntos, que puedan dar cuenta de diferencias notorias en la dieta entre estos dos grupos, por lo que se sugiere que las poblaciones presentaban una relativa similitud en la carga de masticación necesaria para el consumo de alimentos. No hay que olvidar además, que la cercanía geográfica y contemporaneidad entre Pica y, por lo menos un cementerio de Pisagua (cementerio H), permiten suponer contactos entre estos grupos, durante el Período Intermedio Tardío, por lo que también es probable encontrar señales de miscegenación entre ambos grupos, que puede generar algún grado de homogeneidad craneofacial. Para contrastar lo anterior, es necesario analizar indicadores de afinidades biológicas utilizados comúnmente en Antropología Física, como rasgos discretos en cráneo y dientes<sup>136</sup>.

Como conclusión a este apartado, se sugiere fuertemente que la morfometría geométrica en dos dimensiones para las vistas frontales de cráneos, puede ser utilizada para realizar análisis de afinidades biológicas o patrones ambientales comunes entre poblaciones sometidas a estudio. Queda explícito que muchas de las observaciones generadas durante esta discusión pudieron ser realizadas gracias a la posibilidad de visualización que posee esta técnica (función de placa delgada), además del tratamiento estadístico realizados (análisis de componentes principales) sobre un dato primario que no pierde la configuración espacial una vez relevada la información (matrices de morfocoordenadas en dos dimensiones), beneficios que la morfometría tradicional posiblemente no puede lograr hasta el momento.

Posiblemente futuras investigaciones en torno a preguntas relativas a las dinámicas poblacionales, tanto prehistóricas como actuales y subactuales,

---

<sup>135</sup> Lieberman, 2004

<sup>136</sup> Larsen, 1997.

utilizando esta técnica, logren generar diferentes respuestas que hasta el momento no habían sido dilucidadas.

Sólo como un ejemplo, en el Anexo 2 se presentan fenogramas confeccionados a partir de las distancias morfológicas (de Procrustes) entre las vistas frontales de las poblaciones sometidas a estudio en la presente investigación, junto con poblaciones del período Arcaico y Diaguita del norte semiárido. Puesto que estos análisis escapan del tema central de la presente investigación, no se ahondará en esta discusión, sino que éste se discutirá en el correspondiente apéndice. Sólo cabe mencionar que se han incluido estos fenogramas con el fin de exponer gráficamente la contribución de la morfometría geométrica en el estudio de las afinidades biológicas entre poblaciones de distinto origen étnico o geográfico.

#### **5.4. EL TAMAÑO DEL CENTROIDE COMO ESTIMADOR DE LA VARIACIÓN DEL TAMAÑO EN AUSENCIA DE ALOMETRIA.**

Las vistas frontales de Cementerio General y Pica 8 muestran que la variable tamaño del centroide no ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre la variación de la forma, lo que sugiere el tamaño no está afectando la variación de la forma en las poblaciones sometidas a estudio.

Pisagua, en cambio, es la única población que presenta para las vistas frontales valores significativos para esta variable.

Tradicionalmente se ha aceptado<sup>137</sup> que el tamaño es una variable utilizada para la estimación del dimorfismo sexual en cráneos, dado que esta medida se distribuye bimodalmente, desde cráneos pequeños y gráciles pertenecientes al sexo femenino, hacia cráneos grandes y robustos, pertenecientes al sexo masculino.

Las variaciones de la forma se traducen como contracción y expansión de las estructuras y no como un aumento o disminución de la distancia entre los

---

<sup>137</sup> White, 1991

hitos anatómicos. Hay que considerar que se analiza la forma de los objetos biológicos, en este caso el cráneo humano y no la relación entre las distancias de los diversos hitos que la componen. Este punto es crucial para comprender la dificultad de expresar, interpretar y sobre todo de analizar a partir de variables métricas, el tamaño y la forma de los objetos biológicos.

La contradicción observada entre análisis morfométricos clásicos y morfométricos geométricos se explica a partir de una de las interrogantes que presenta la morfometría clásica. Frente a un análisis de componentes principales, se asume en morfometría clásica, que el primer componente principal recoge las diferencias debidas al tamaño, porque posee el mayor porcentaje de la variación total de la forma. Como la morfometría clásica no es capaz de particionar la variable tamaño de la variable forma, es probable que el porcentaje explicado por la variable tamaño extraiga parte del porcentaje explicado por la forma, reduciendo el aporte de ella.

## **5.5. LA VISTA LATERAL:**

En el presente análisis, las vistas laterales no arrojaron diferencias significativas respecto a la variable del dimorfismo sexual, lo que queda evidenciado claramente en el grupo control. En otras palabras, el mapa de homologías confeccionado para la vista lateral no refleja las variaciones de la forma producto del dimorfismo sexual, posiblemente reflejando otras variables distintas al dimorfismo sexual, como puede ser la D.C.I. En la selección de puntos desestimamos regiones que comúnmente se utilizan para la estimación del dimorfismo sexual en las vistas laterales, como son el proceso mastoides y los arcos superciliares, sobrestimando los puntos que dan cuenta de las modificaciones de la bóveda craneana (*pseudolandmarks*) y otros que no guardan marcada relación con el dimorfismo sexual (hitos 7, 8, 9, 10 y 11). Recientemente Sáez<sup>138</sup> y Muñoz y Pereira<sup>139</sup>, aplicando la misma técnica en el

---

<sup>138</sup> Sáez, 2004

<sup>139</sup> Muñoz y Pereira, 2004

mismo grupo control que en el presente trabajo, encuentra diferencias significativas para la vista frontal. Interesante resultaría, entonces, aplicar el mismo mapa de homologías en cráneos con DCI.

De todos modos, los puntos seleccionados para la bóveda craneana aportaron una información importante para la discusión. Como se observa en Cementerio General, las mayores variaciones anatómicas se presentan en la bóveda craneana, en la región occipital y en la escama frontal, reflejadas en aumento o disminución de la curvatura en estas regiones. Asumiendo que estas variaciones se encuentran dentro del rango de normalidad para esta población, estas variaciones craneo faciales podrían ser producto de variables genéticas o bien de variaciones ambientales propias de una población relativamente heterogénea como es Cementerio General.

El conocimiento de la variación normal de la forma a nivel del neurocraneano puede aportar valiosa información sobre el efecto de la D.C.I. sobre estas variantes. Es probable que esta variación normal del cráneo produzca diferentes tipos de resultados deformatorios al aplicarse la misma mecánica de la deformación. En vista de lo anterior, se sugiere que el estudio morfométrico geométrico de la variación normal del neurocráneo puede arrojar importante información sobre el efecto de la D.C.I. en la morfología calvaria, como puede ser ofrecer una mayor claridad en la clasificación de cada uno de los tipos deformatorios.

De hecho, se puede observar a partir de la función de deformación de placa delgada (tps) que, en comparación con las variaciones normales de la forma reflejadas en Cementerio General, las poblaciones de Pica y Pisagua presentan variaciones morfológicas más acentuadas, aunque se encuentran en las mismas regiones que las evidenciadas en Cementerio General (curvatura frontal y occipital de la bóveda craneana), observado en distorsión que experimentan las grillas de las poblaciones deformadas (figuras 7, 9 y 13).

A diferencia de la vista frontal, la vista lateral arroja en todas las poblaciones, valores significativos de la variable tamaño del centroide, lo que apoya las

afirmaciones aportadas por Rosas y Bastir<sup>140</sup>, quienes también encuentran resultados estadísticamente significativos para esta variable en la vista lateral. En base a lo anterior se puede asumir que la significancia de la variable tamaño no implica necesariamente, efecto de la D.C.I. sobre ella.

---

<sup>140</sup> Rosas y Bastir, 2002

## **6. CONCLUSIONES**

1. El dimorfismo sexual en vistas frontales es la característica más conspicua dentro de las causas de variación morfológica de la biología de las poblaciones sometidas a análisis. Esto concuerda con lo establecido por otros autores.

2. La D.C.I. no altera la expresión morfológica del dimorfismo sexual, así como tampoco los hitos anatómicos utilizados para la estimación del sexo en los cráneos utilizados en este estudio. De este modo, se rechazan las hipótesis alternativas estadísticas y biológicas y en consecuencia se acepta la Hipótesis Nula (H0: DE LA INTRASCEDENCIA DE LA DEFORMACIÓN CRANEANA INTENCIONAL EN LA ESTIMACIÓN DE SEXO EN INDIVIDUOS).

3. Si bien en las vistas frontales de Pica 8 la separación de los cráneos según el tipo de D.C.I. arrojó valores no significativos, en Pisagua, la discriminación según esta variable resultó evidente, distinguiendo claramente a las muestras por el tipo de aparato deformador (tabular v/s circular).

4. Queda en evidencia que la M.G. es una técnica capaz de captar las variaciones morfológicas derivadas de la D.C.I., independiente de las provocadas por el dimorfismo sexual, además de darles tratamiento estadístico para su análisis.

5. De lo anterior se desprende que la D.C.I. altera regiones esplanocraneales, esto observado en las vistas frontales. El análisis de las vistas frontales muestra además la ocurrencia de una covariación de la forma de la cara con el efecto de la D.C.I. Lo anterior sugiere fuertemente que el uso exclusivo de datos primarios de valores entre hitos propio de la morfometría tradicional no es suficiente para explicar el efecto de la deformación intencional sobre el dimorfismo sexual.

6. Durante los análisis Interpoblacionales de la vista frontal, las poblaciones se agruparon según población, lo que indica que esta variable tiene mayor peso fenotípico que las otras variables sometidas a análisis (sexo y D.C.I. en el presente trabajo), además que estas últimas variables no afectaron la expresión morfológica de la primera. En base a lo anterior se sugiere que el análisis morfométrico de vistas frontales puede ser un buen estimador de afinidades poblacionales o de variaciones debidas al ambiente, aun en presencia de diferencias provocadas por el dimorfismo sexual y la D.C.I.

7. Las vistas laterales no arrojaron valores estadísticamente significativos para la variable sexo. Esto queda claramente evidenciado en el grupo control, el cual no separa por sexo en esta vista. De lo anterior resulta evidente que el mapa de homologías que se aplicó en la presente investigación no está dando cuenta del dimorfismo sexual en este grupo, posiblemente al subestimar regiones utilizadas comúnmente como estimadores del dimorfismo sexual, como el triángulo mastoides (porion, apófisis mastoides, asterion).

8. El tamaño del centroide no es significativo para las vistas frontales en dos de las poblaciones sometidas a estudio (Pica 8 y Cementerio General), incluido el grupo control dentro de ellas. La vista lateral en cambio, muestran valores significativos en todas las poblaciones, lo que coincide con afirmaciones de otros autores (Rosas y Bastir, 2002). Posiblemente esto esté reflejando que las variaciones de tamaño se encuentran a nivel neurocraneano.

## **7. BIBLIOGRAFIA**

ADAMS, D. C., ROHLF, F. J., SLICE, D. E., 2003. Geometric Morphometrics: Ten Years of Progress Following the 'Revolution'. *Italian Journal of Zoology* 2002.

AIRTON, L. y SEGRE, M. 2003 Sexing the human skull through the mastoid process *Rev. Hosp. Clín. Fac. Med. S. Paulo* 58: 15-20

ALLISON, M., FOCACCI, G., ARRIAZA, B., STANDEN, V., RIVERA, M y LOWENSTEIN, J. 1984 Chinchorro, Momias de Preparación Complicada: Métodos de Momificación. *Chungara* 13: 155-173.

AMPUERO, G., 1973 Nuevos Resultados de la Arqueología del Norte Chico. *Actas del X Congreso de Arqueología Chilena* 311-351.

ANTON, S. 1989 Intentional Cranial Vault Deformation and Induced Changes of the Cranial Base and Face. *Am.Jour.Phys.Anthropol.* 79:253-267.

ASCÁDI, G y NEMESKÉRI, J. 1970. *History of human life span and mortality.* Budapest Akadémiai Kiadó.

BACON, A. 2000 Principal components analysis of distal humeral shape in Pliocene to recent african Hominids: the contribution of geometric morphometrics. *Am.Jour.Phys.Anthropol.* 111 : 479-487.

BISKUPOVIC, M. y AMPUERO, G., 1991 Excavación Arqueológica en la Parcela N°24 de Peñuelas, Coquimbo, Chile. *Actas del X Congreso de Arqueología Chilena* p. 41-48.

BOAS, F. 1890 First General Report on the Indians of British Columbia Report of the Fifty Ninth Meeting of the British *Association for the Advancement of Science*, 801-855.

BOOKSTEIN, F. 1991 *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge University Press, Cambridge.

BOOKSTEIN, F. 1996 Combining the tools of geometric morphometrics. En Marcus, L.F., Corti, M., Loy, A., Naylor, G. J. P. & D. Slice (eds.): *Advances in morphometrics*. Pp. 131-151 Plenum Press, New York.

BOOKSTEIN, F. 1989 Principal warps: thin-plate splines and the decomposition of deformations. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intelligence*, 11: 567-585.

BOOKSTEIN, F. 1997 Shape and the Information in Medical Images: A Decade of the Morphometric Synthesis *Computer Vision And Image Understanding* Vol. 66, No. 2, May, pp. 97-118, 1997

BOOKSTEIN, F. 1998 A hundred years of morphometrics. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 44:7-59.

BOOKSTEIN, F. 2002 Creases as morphometric characters. In Morphology, shape and phylogeny. (MacLeod, N., and P. L. Forey, eds.). Pp. 139-174. *Systematics Association Special Volume Series* 64. Taylor and Francis, London.

BOOKSTEIN, F., SCHÄFER, K., PROSSINGER, H., SEIDLER, H., FIEDER, M., STRINGER, C., WEBER, G., ARSUAGA, J., SLICE, D., ROHLF, J., RECHEIS, W., MARIAM, A. y MARCUS, L., 1999. Comparing Frontal Cranial Profiles in Archaic and Modern Homo by Morphometric Analysis. *The Anatomical Record*

(New Anat.) 375:217-224, 1999.

BROCA, P 1875. *Instructions Craniologiques et Craneométriques de La Société D'Anthropologie de Paris* –T. 2, 2ª S. Librairie Georges Masson, 203 pp, Paris.

BUIKSTRA, J. y UBELAKER, D. 1994 *Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains*. Research Series, no. 44. Arkansas Archaeological Survey, Fayetteville.

BUXTON, H y MORANT, G 1933. The Essential Craniological Technique. *J. R. Anthropol. Inst.*, 63: 19-47.

CIOCHON, R., NISBETT, R. y CORRUCINI, R. 1997. Dietary consistency and craniofacial development related to masticatory function in minipigs. *J. Craniofac. Genet. Dev. Biol.* 17, 96–102.

COCILOVO, J.A., 1973 Dimorfismo Sexual y Deformación Craneana Intencional en Patagones del Chubut. *Actas II Simp. Internacional Ciencias Morfológicas*, pp. 633-642, Córdoba.

COCILOVO, J.A., 1975 Estudio de dos factores que influyen la morfología craneana en una colección andina: el sexo y la deformación artificial. *Rev. Inst. Antrop.*, 3S, 2:197-212, Tucumán, Argentina.

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

COCILOVO, J.A. 1994 Continuidad y Cambio en Pisagua. *Tesis Doctoral*. Universidad de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina.

COCILOVO, J.A., ROTHHAMMER F., QUEVEDO, S. Y LLOP, E. 1982 Microevolución en Poblaciones Prehistóricas del Area Andina. 3. La Población del Morro de Arica. *Craneometría. Rev. U.N.R.C.* 2(2):91-111, Río Cuarto, Argentina.

CUVIER, G. 1800 Leçons d'anatomie comparée.

CHAMBERLAIN, W. 1939. Basilar impresión (Platibasia). *Yale J. Biol. Med.*, 11 (5): 487-496.

CHATAIN, I & BUSTAMANTE, J. 1986 *Anatomía Macroscópica Funcional y Clínica.* Addison-Wesley Iberoamericana, Chile.

CHEVERUD, J., KOHN, L., KONINGSBERG, L. 1992 Effects of Fronto-Occipital Artificial Vault Modification of de Cranial Base and Face. *Am.Jour.Phys.Anthropol* 62:323-345.

DELSON, E., HARVATI, K., REDDY, D., MARCUS, L., MOWBRAY, K., SAWYER, G., JACOB, T. y MARQUEZ, S. 2001 The Sambungmacan 3 *Homo erectus* calvaria: A comparative morphometric and morphological analysis. *The Anatomical Record* 262: 380-397.

DEMBO, A. e IMBELLONI, J. [s.f] Deformaciones Intencionales del cuerpo humano de carácter étnico. *Humanior. Secc. A.*, 3, Bs. As.

DINGWALL, E.J. 1931 *Artificial cranial deformation: A contribution to the study of ethnic mutilation* John Bale, Sons, and Danielson, London.

ESPOUEYS, O. en prensa Continuidad y cambio en Pisagua: Aproximación al

carácter cultural de la deformación craneana intencional; métodos y técnicas.

FALKENBURGER, 1938 Recherches anthropologiques sur la déformation artificielle du crâne. *Revista de Antropología de la Universidad de Tucumán* 1:1-70.

FELSENSTEIN, J. 1988. Phylogenies and quantitative characters. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 19:445-471.

FELSENSTEIN, J. 2002. Quantitative characters, phylogenies, and morphometrics. In *Morphology, shape and phylogeny*. (MacLeod, N., and P. L. Forey, eds.). Pp. 27-44. *Systematics Association Special Volume Series 64*. Taylor and Francis, London.

FEREMBACH, D. 1974. Techniques anthropologiques, Craniologie. *Ecole Pratique des Hautes Etudes Laboratoire d'Anthropologie Biologique* (Laboratoire BROCA).

FINK, W. y ZELDITCH, M. 1995 Phylogenetic analysis of ontogenetic shape transformations: a reassessment of the piranha genus *Pygocentrus* (Telesotei). *Systematic Biology* 44: 343-360.

FISHER, R. A. 1935. The logic of inductive inference. *Journal of the Royal Statistical Society*. 98:39-82.

FRANCHI, L., BACETTI, T. y MCNAMARA, J. 2001 Thin-Plate spline analysis of mandibular growth. *Angle Orthodontist* 71: 83-89.

FRASSETTO, F. 1950. La méthode standard pour l'étude des formes du crâne humaine et de la face. – S.A.S. ; 20, 167 pp.

FREE, S., O'HIGGINS, P., MAUDGIL, D., DRYDEN, I., LEMIEUX, L., FISH, D. y SHORVON, S. 2001 Landmark-based morphometrics of the normal adult brain using MRI. *Neuroimage* 13: 801-813.

FRIEß, M. y BAYLAC, M, 2003 Exploring artificial cranial deformation using elliptic Fourier analysis of Procrusto aligned outlines. *Am.Jour.Phys.Anthropol*, 122:11-22. 2003.

GERSZTEN, P. y GERSZTEN, E. 1995 Intentional Cranial Deformation: A Disappearing Form of Self-Mutilation. *Neurosurgery*, Vol. 37, No. 3.

GORDON, A. (1964) El Método de Excavación Aplicado en el Cementerio Pica – 8 *Sociedad Amigos de la Arqueología de Santiago*. Boletín N°2.

HAGEDORN, A y KEERS, W.. 1937. Skull index and skull capacity *Acta Neerl. Morph.* 1, 68.

HANKEN, J y HALL, B., editores 1993. *The skull*. Chicago: Univesity of Chicago Press. p 1-36.

HOWELLS, W. 1937. The designation of the principal anthropometrics landmarks on the head and skull. *Am.Jour.Phys.Anthropol.* 22: 477-494.

HOWELLS, W. 1957. The cranial vault; factors of size and shape *Am.Jour.Phys.Anthropol* (N.S.) 15: 19-48.

HOWELLS, W. 1973. Cranial variation in man: A study by multivariate analysis of patterns of difference among recent human populations. *Papers of Peabody Museum of Archaeology and Ethnology* 67, Harvard University, Cambridge,

Massachusetts.

HRDLICKA, A. 1950. Relation of the size of the head and skull to capacity in the two sexes. *Am.Jour.Phys.Anthropol.* (S.N.) 8: 65-78.

HRDLICKA, A. 1952. *Practical Anthropometry*. Edición de T.D. Stewart, Winstler Inst. of Anat. and Biol., Philadelphia.

IMBELLONI, J. 1925 Deformaciones Intencionales del Cráneo en Sudamérica; Polígonos Craneanos Aberrantes. *Revista del Museo de La Plata* 28:329-407, Argentina.

KEEN, J. A., 1950 A study of the differences between male and female skulls. *Am.Jour.Phys.Anthropol*, 8:65-79, U.S.A.

KENDALL, D. G. 1984. Shape-manifolds, Procrustean metrics and complex projective spaces. *Bulletin of the London Mathematical Society* 16:81-121.

KOHN, L., LEIGH, S., JACOBS, S., CHEVERUD, J. 1993 Effects of Annual Cranial Vault Modification on the Cranial Base and Face. *Am.Jour.Phys.Anthropol* 90:147-168.

LARSEN, C. 1997 *Bioarchaeology: Interpreting behavior from the human skeleton*. Cambridge University Press 461 pp.

LEE, A y PEARSON, K. 1901. A first study of the correlations of the human skull. *Phil. Trans. of the Roy. Soc.*, S.A. 196:225-264.

LE DOUBLE, A. 1903 *Traité des variations de os du crâne de l'homme et de leur signification ou point de vue de l'anthropologie zoologique* Vigot edit. 400pp.

LE DOUBLE, A. 1906. *Traité des variations de os du crâne de l'homme et de leur signification ou point de vue de l'anthropologie zoologique*. Vigot edit. 47 pp.

LESCHI, J. 1954. Forme du crâne et capacité crânienne. L'indice crânien horizontal. *L'Anthropologie*, 55 : 445-462.

LIEBERMANN, D.E.; ROSS, C. F. y RAVOSA, M. J. 2000 The Primate Cranial Base: Ontogeny, Function and Integration *Yearbook of Physical Anthropology* 43:117-169 (2000).

LIEBERMAN, D., MCBRATNEY, B. y KROVITZ, G. 2002 The evolution and development of cranial form in *Homo sapiens* *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 1134-1139 E.E.U.U.

LIEBERMAN, D., KROVITZ, G., YATES, F., DEVLIN, M. y ST. CLAIRE, M. 2004 Effects of food processing on masticatory strain and craniofacial growth in a retrognathic face *Journal of Human Evolution* 46:655-677

LLAGOSTERA, A. 1995. San Pedro de Atacama: modo de complementariedad reticular. Integración Surandina: Cinco siglos después, X. Albó *et al.* (Eds.), *Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas, Corporación Norte Grande, Taller de Estudios Andinos*, Universidad Católica del Norte, Cuzco-Antofagasta.

MACLEOD, N. 2002 Phylogenetic signals in morphometric data. In Morphology, shape and phylogeny. (MacLeod, N., and P. L. Forey, eds.). Pp. 100-138. *Systematics Association Special Volume Series 64*. Taylor and Francis, London.

MANRIQUEZ, G. 2004 La morfometría geométrica y su contribución al estudio

de la variación de la forma en los objetos biológicos: programa de investigación y aplicaciones manuscrito en preparación.

MANRIQUEZ, G., GONZALEZ, F., SALINAS, J. y ESPOUEYS, O. Contribución de la morfometría geométrica y la telerradiografía craneofacial al conocimiento antropométrico de las poblaciones prehispánicas del valle de Azapa, Chile manuscrito en preparación.

MARCUS, L. F. 1990. Traditional morphometrics En *Proceedings of the Michigan morphometrics workshop*. (Rohlf, F. J., and F. L. Bookstein, eds.). Pp. 77-122. Special Publication Number 2. University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor.

MARROIG, G. y CHEVERUD, J. 2001 A comparison of phenotypic variation and covariation patterns and the role of phylogeny, ecology, and ontogeny during cranial evolution of New World monkeys. *Evolution* 55: 2576-2600.

MARTIN, J. H. 1998 *Neuroanatomía* 2ª Edición. Columbia University, New York.

MCNEILL, R. Y NEWTON, G. 1965 Cranial base morphology in association with intentional cranial vault deformation. *Am. Jour. Phys. Anthropol.* (23): 241-254.

MOORE, M. 1994 Nutrición y dietética. *Mosby Year Book* 6: 101-128; 8:146-164

MORAGAS, C. 1995. Desarrollo de las comunidades prehispánicas del litoral Iquique-desembocadura río Loa *Hombre y Desierto* 9, Tomo I, Antofagasta.

MOREL, P., 1964 *La Antropología Física*. Editorial Universitaria de Buenos Aires.

MOSS, M. 1958 The pathogenesis of artificial cranial deformation. *Am.Jour.Phys.Anthropol.* 16:269-286.

MUNIZAGA, J. 1965 Skeletal Remains from sites of Valdivia and Machalilla Phases. *Smithsonian Contributions to Anthropology*, vol.1, Washington.

MUNIZAGA, J. 1966 Restos Oseos de Poblaciones Precolombinas Precerámicas de la Costa de la Provincia de Coquimbo, Chile. Apéndice 2. *Revista Universitaria* (Universidad Católica del Norte), año 50-51. Fasc.II. Santiago de Chile.

MUNIZAGA, J. 1974 Deformación Craneal y Momificación en Chile *Anales de Anatomía*, Vol. XI, México.

MUNIZAGA, J. 1974a Paleopatología chilena (Informe Preliminar). *Antropología (Nueva Epoca)* 1:35-39

MUNIZAGA, J. 1986 El Arcaico en Chile *Revista Chungará*, Nº16-17:107-113.

MUÑOZ, I. 1979 Algunas consideraciones sobre el período del desarrollo regional en los valles bajos y costa de Arica En *Actas del VIII Congreso de Arqueología Chilena*, Editorial Kultrún (1982), Santiago.

MUÑOZ, D. Y PEREIRA, C. 2004. Efecto de la deformación intencional del cráneo sobre el dimorfismo sexual en poblaciones chilenas prehispánicas y actuales: un análisis de morfometría geométrica. XII Congreso Unidades de Investigación, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, 20-21 de Diciembre, Santiago.

MURRA, J. V. 1972 El 'control vertical' de un máximo de pisos ecológicos en la

economía de las sociedades andinas. *Visita a la provincia de León de Huánuco en 1562*, Iñigo Ortiz de Zúñiga, J. V. Murra (Ed.), Huánuco.

MURRA, J. V. 1978 Los olleros del Inka: hacia una historia y arqueología del Qollasuyu. Historia, problema y promesa. *Homenaje a Jorge Basadre*, Volumen I, Lima.

NÚÑEZ, L. 1962 Contactos Culturales Prehispánicos entre la Costa y la Subcordillera Andina. *Boletín de la Universidad de Chile*. 31: 42-47.

NÚÑEZ, L. 1976. Geoglifos y tráfico de caravanas en el desierto chileno. *Homenaje a G. Le Paige S. J.*, J. M. Cassassas (Ed.), Antofagasta.

NÚÑEZ, L. 1979. Emergencia y desintegración de la sociedad tarapaqueña: riqueza y pobreza en una quebrada del norte chileno. *Atenea* 439, Concepción.

NÚÑEZ, L. 1984. Tráfico de complementariedad de recursos entre las Tierras Altas y el Pacífico en el área Centro-Sur Andina. *Tesis Doctoral*, Universidad de Tokio, Tokio.

NÚÑEZ, L. Y T. DILLEHAY. 1995. *Movilidad giratoria, armonía social y desarrollo en los Andes Meridionales: patrones de tráfico e interacción económica*. Universidad Católica del Norte, Antofagasta.

NÚÑEZ, P. 1983. Aldeas tarapaqueñas, notas y comentarios. *Chungará* 10, Arica.

O'HIGGINS P 1997 Methodological issues in the description of forms En *Fourier Descriptors and their Applications in Biology* (ed. Lestrel PE), pp. 74±105. Cambridge: Cambridge University Press. Human Evolution 25, 1±30.

O'HIGGINS P. 2000 Quantitative approaches to the study of craniofacial growth and evolution: advances in morphometric techniques. *Vertebrate ontogeny and phylogeny: Implications for the study of hominid skeletal evolution*. O'Higgins P. and Cohn M. (Eds) Academic Press.163-185

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

O'HIGGINS, P. y DRYDEN, I. 1993 Sexual dimorphism in hominoids: further studies of craniofacial shape differences in Pan, Gorilla, Pongo. *Journal of Human Evolution* 24: 183-205.

O'HIGGINS, P., MILNE, N., JOHNSON, D., RUNNION, C. y OXNARD, C. 1997 Adaptation in the vertebral column: a comparative study of patterns of metameric variation in mice and men. *Journal of Anatomy* (1997), 190, pp. 105±113, with 4 Ægures Printed in Great Britain

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

OLIVIER, G. 1960. *Pratique Anthropologique* Frères, editors, Paris.

ORTNER, D & PUTCHAR, W. (1981) *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains* Smithsonian Institution Press, Washington.

OSSENBERG N. 1970. The influence of artificial cranial deformation on

discontinuous morphological traits. *Am. Jour.Phys. Anthropol.* 33: 357-372.

PEARSON, K. 1895. Note on regression and inheritance in the case of two parents *Proceedings of the Royal Society of London.* 58:240-242.

PIGLIUCCI, M. y SCHLICHTING, C. 1998 Reaction norms of Arabidopsis. V. Flowering time controls phenotypic architecture in response to nutrient stress. *J. Evol. Biol.* 11, 85–301.

PLAVCAN, J. 1994 Comparison of four simple methods for estimating sexual dimorphism in fossils. *Am. Jour.Phys. Anthropol.* 94:465-476.

PONCE DE LEON, M. y ZOLLIKOFER, C. 2001 Neanderthal cranial ontogeny and its implications for late hominid diversity. *Nature* 412: 534-538.

PUCCIARELLI, H. M., R. CARNESE, F. M., GUIMAREY, L. M., 1996 Desnutrición y Dimorfismo Sexual *Ciencia Hoy*, Volumen 6 N°34 1996. Bs. As., Argentina.

RETAMAL, R y PACHECO A. 2003 *Informe Bioantropológico Cementerio Pica 8* Proyecto FONDECYT 1030923.

REYMENT, R. A. 1991. *Multidimensional paleobiology.* Pergamon Press, New York.

RHODE, M. 2001 Craniofacial Morphology and the Consequences of Intentional Cranial Deformation Among Prehistoric Andean Populations. *M.A. thesis.* Las Vegas: University of Nevada, Las Vegas.

RHODE, M. 2002 Cranial deformation and measurement stability among

prehistoric south central Andean populations. *Am. Jour.Phys. Anthropol.* [Suppl] 33:130.

ROHLF, F. J. 2000. On the use of shape spaces to compare morphometric methods. *Hystrix It. J. Mamm.* (N.S.), 11(1):8-24.

ROHLF, J. y MARCUS, L. 1993. A Revolution in Morphometrics. *Reprinted from Trends in Ecology and Evolution.* Vol. 8, N°4. pp. 129-132

ROSAS, A. y BASTIR, M, 2002 Thin Plate Análisis of Allometry and Sexual Dimorphism in the Human Craniofacial Complex. *Am. Jour.Phys. Anthropol.* 117:236-245 (2002)

ROTHHAMMER, F. Y ASPILLAGA, E. 2004 Breve historia de bioantropología chilena En *Poblaciones Chilenas, cuatro décadas de investigaciones bioantropológicas*, Editorial Universitaria, Santiago, Chile.

SAEZ, A y MANRIQUEZ, G. Efectos del dimorfismo sexual en la variación morfológica de cráneos de la población chilena: análisis de morfometría lineal y morfometría geométrica *manuscrito en preparación.*

SANHUEZA, J. 1985 Poblaciones tardías en playa "Los Verdes" costa sur de Iquique, I Región-Chile *Chungará* 14, Arica.

SCHIAPPACASSE, V., V. CASTRO Y H. NIEMEYER, 1989 Los Desarrollos Regionales en el Norte Grande (1000 -1400 DC). *Culturas de Chile. Prehistoria. Desde sus orígenes hasta los albores de la conquista*, J. Hidalgo et al. (Eds.), Editorial Andrés Bello, Santiago.

SLICE, D., BOOKSTEIN, F., MARCUS, L., ROHLF, J. 1998 *A Glosary of*

*Geometric Morphometrics: en internet* <http://life.bio.sunysb.edu/morph>

SOTO-HEIM, P. 1987 Evolución de deformaciones intencionales, tocados y prácticas funerarias en la Prehistoria de Arica. *Chungará* nº 19, U. de Tarapacá, Arica.

SPOOR, F., O'HIGGINS, P., DEAN, C. y de LIEBERMAN 1999 Anterior sphenoid in modern humans. *Nature* 397: 572.

STEWART, T. 1942 Anthropometric Nomenclature II. The indices of head height. *Am. Jour.Phys. Anthropol.* 29 (1): 23-39.

STEWART, T. 1943 Distribution of the cranial height in South America *Am. Jour.Phys. Anthropol.* Vol. I N°2:143-155.

STEWART, T.D. 1973 *The people of America* Charles Scribner's Sons, pp 184 – 190, New York.

SWIDERSKI, D. 1993 Morphological evolution of the scapula in tree squirrels, chipmunks, and ground squirrels (Sciuridae): an analysis using Thin-plate Splines. *Evolution* 47: 1854-1873.

THOMPSON, D. W. 1917. *On growth and form*. Cambridge University Press, London.

TODD, T. 1923. Cranial capacity and linear dimensions in Whites and Negroes of both sexes *Am. Jour.Phys. Anthropol.* 6 97-194.

UHLE, M, 1919b. La Arqueología de Arica y Tacna. *Boletín Sociedad Ecuatoriana de Estudios Históricos Americanos.* 3 (7-8): 1-49. Quito Ecuador.

URIBE, M. Y SANHUEZA, L. *Primer acercamiento sistemático a la alfarería tardía de Tarapacá: la cerámica de Pisagua*. Informe entregado para proyecto FONDECYT 1030923

VALLOIS, H. 1965 Anthropometric Techniques *Current Anthropology*, 6 (2): 127-143.

VIARSDÓTTIR, U., O'HIGGINS, P., STRINGER, C. 2002 A geometric morphometric study of regional differences in the ontogeny of the modern human facial skeleton *J. Anat.* 201, pp211–229.

WEISS, P. 1961 *Osteología Cultural-Prácticas Cefálicas*. 2ª parte, 140 pp. Lima.

WEISS, P. 1962 Tipología de las deformaciones cefálicas de los antiguos peruanos, según la osteología cultural. *Revista del Museo Nacional*, Tomo 31. Lima.

WHITE, T., 1991 *Human Osteology*. 1º Edición Academic Press. San Diego.

WILDER, H. 1920 *A laboratory manual of anthropometry* P. Blakiston's SON e Co., 193 pp.7, Philadelphia.

WOOD C. y LYNCH J. 1996 Sexual dimorphism in the craniofacial skeleton of modern humans En Marcus LF, (ed.) *Advances in morphometrics* Plenum Press p 407-414 New York,

ZELDITCH, M., SHEETS, H. y FINK, W. 2000 Spatiotemporal reorganization of growth rates in the evolution of ontogeny *Evolution* 54: 1363-1371,

ZLATAR, V. 1984 *Cementerio Prehispánico Pica-8* Universidad de Antofagasta, Antofagasta.

ZOLLIKOFER, C. y PONCE DE LEON, M. 2002 Visualizing patterns of craniofacial shape variation in *Homo sapiens* *Proceedings of the Royal Society B* 269: 801-807, Londres.

## **ANEXO 1: TABLAS CON RESULTADOS DE ANALISIS CONFIRMATORIO**

### 1.1) Regresión de la variable sexo.

SEXO		$\lambda$ Wilks	df1, df2	p	F Godall	df1, df2	p
<b>CEM GRAL</b>	F	0.157	28, 16	<b>0.011</b>	4.635	28, 1204	<b>0</b>
	L	0.336	26, 24	0.072	1.981	26, 1274	<b>0.002</b>
<b>PICA 8</b>	F	0.033	28, 7	<b>0.005</b>	1.253	28, 952	0.172
	L	0.084	26, 5	0.21	1.159	26, 780	0.266
<b>PISAGUA</b>	F	0.16	28, 17	<b>0.008</b>	1.619	28, 1232	<b>0.022</b>
	L	0.288	26, 18	0.120	1.591	26, 1118	<b>0.0306</b>
<b>TODOS</b>	F	0.535	28, 95	<b>0.05</b>	2.850	28, 3416	<b>0</b>
	L	0.598	26, 101	<b>0</b>	2.627	26, 3276	<b>0</b>

### 1.2) Análisis Discriminante de la variable sexo

SEXO		$\lambda$ Wilks	P	F	D.F.	% correcto
<b>CEM GRAL</b>	F	0.291	<b>0</b>	5.822	13, 31	91.11
	L	0.687	0.167	1.572	9,31	78.048
<b>PICA 8</b>	F	0.442	<b>0.024</b>	2.634	11,23	85.714
	L	0.382	<b>0.004</b>	3.953	9,22	87.5
<b>PISAGUA</b>	F	0.518	<b>0.009</b>	2.872	11,34	84.782
	L	0.637	0.075	1.929	10,34	88.889
<b>TODOS</b>	F	0.683	<b>0</b>	3.923	13,110	75
	L	0.081	<b>0</b>	32.777	18.234	95.312

### 1.3) Regresión de la variable D.C.I.

DCI		$\lambda$ Wilks	df1, df2	P	F Godall	df1, df2	p
PICA 8	F	0.145	28, 7	0.313	0.847	28, 952	0.694
	L	0.039	26, 5	<b>0.046</b>	1256	26, 780	0.177
PISAGUA	F	0.206	28, 17	<b>0.035</b>	3231	28, 1232	0
	L	0.419	26, 18	0.549	1393	26, 1118	0.09
TODOS	F	0.527	28, 95	<b>0</b>	15394	28, 3416	0
	L	0.443	26, 101	<b>0</b>	14415	26, 3276	0

### 1.4) Análisis Discriminante de la variable D.C.I.

DCI		$\lambda$ Wilks	p	F	D.F.	% correcto
PICA8	F	0.134	0.158	1.291	44,82	78.261
	L	0.175	0.25	1.202	36,72	71.875
PISAGUA	F	0.105	<b>0.002</b>	1.946	48.117	78.260
	L	0.075	<b>0</b>	3.926	32,123	84.444

### 1.5) Regresión de la variable tamaño

CSIZE		$\lambda$ Wilks	df1, df2	P	F Godall	df1, df2	p
CEM GRAL	F	0.436	28, 16	0.767	0.356	28, 1204	0.99
	L	0.018	26, 24	<b>0</b>	6.104	26, 127	0
PICA 8	F	0.093	28, 7	0.112	2.819	28, 952	0
	L	0.011	26, 5	<b>0.003</b>	3.896	26, 780	0
PISAGUA	F	0.175	28, 17	<b>0.013</b>	4.520	28, 1232	0
	L	0.09	26, 18	<b>0</b>	7.065	26, 1118	0
TODOS	F	0.319	28, 95	<b>0</b>	2.0200	28, 3416	0
	L	0.123	26, 101	<b>0</b>	2.2899	26, 3276	0

**1.6) Regresión de la variable sitio, dentro de los análisis interpoblacionales.**

OTU	$\lambda$ Wilks	df1, df2	p	F Godall	df1, df2	p
FRONTAL	0.177	28, 95	<b>0</b>	25111	28, 3416	<b>0</b>
LATERAL	0.121	26, 101	<b>0</b>	32726	26, 3276	<b>0</b>

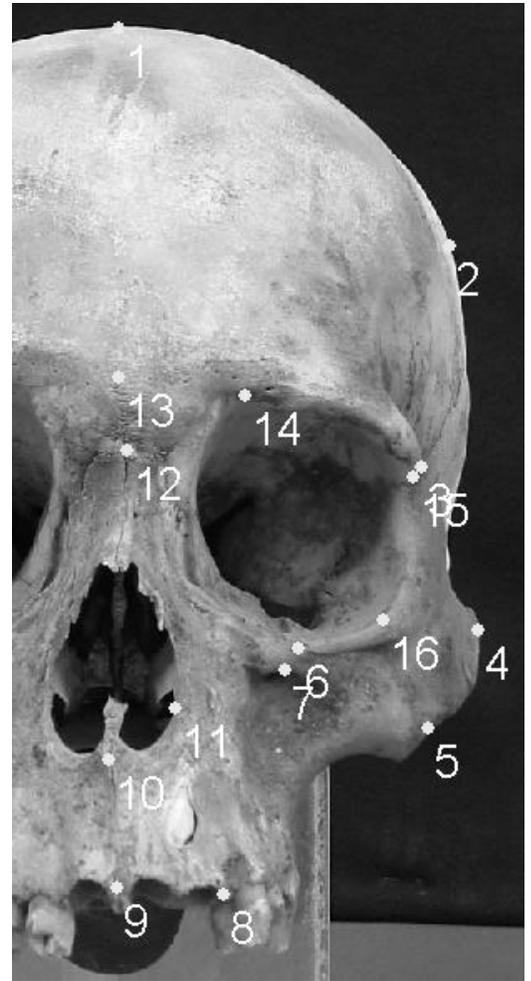
**1.7) Análisis Discriminante de la variable sitio, dentro de los análisis interpoblacionales.**

OTU	$\lambda$ Wilks	p	F	D.F.	% correcto
FRONTAL	0.074	<b>0</b>	22.402	26,218	95.161
LATERAL	0.081	0.081	32.777	18,234	95.325

## ANEXO 2: MAPAS DE HOMOLOGÍAS.

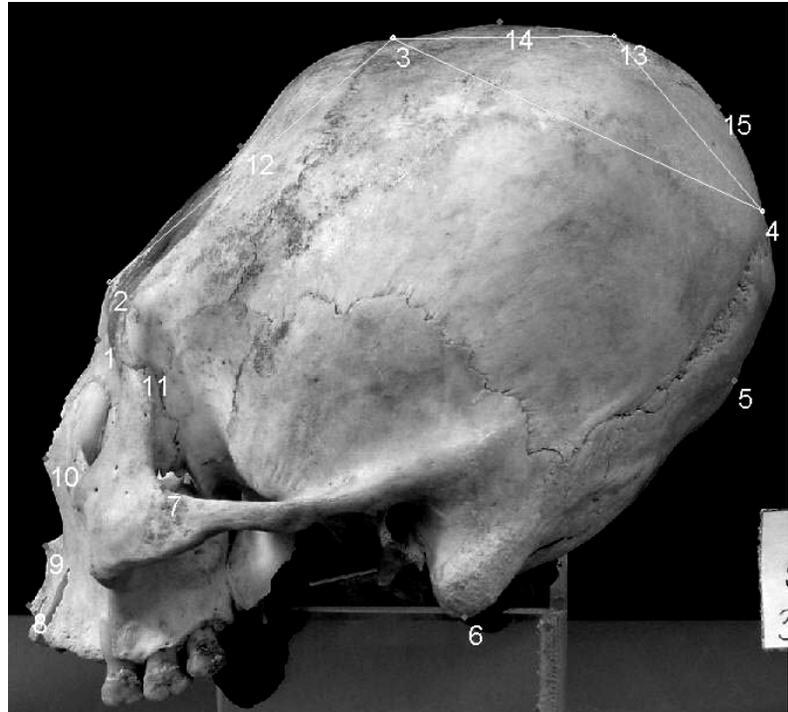
### 2.1. Mapa de homología de hitos anatómicos diseñado para vista frontal.

Nº	Hito anatómico ( <i>landmark</i> )	Tipo
1	Punto de máxima curvatura de la bóveda	III
2	Eminencia parietal	III
3	Sutura lateral de la apófisis fronto-malar	I
4	Cigion	I
5	Sutura lateral malar-maxilar	I
6	Sutura medial malar-maxilar	I
7	Punto más superior del agujero infraorbitario	II
8	Punto más distal del septo alveolar entre el 2º incisivo y el canino	II
9	Prostion	I
10	Nasoespinal	I
11	Punto más lateral de la fosa nasal	III
12	Nasion	I
13	Glabela	III
14	Punto más superior del agujero supraorbital	II
15	Sutura medial de la apófisis fronto-malar	I
16	Punto de mayor curvatura lateral de la órbita	III



**2.2. Mapa de Homología para vista lateral. Hitos marcados con asterisco reflejan pseudolandmark.**

Nº	Hito Anatómico ( <i>landmark</i> )	Tipo
1	Nasion	I
2	Glabela	III
3	Bregma	I
4	Proyección lateral de Lambda	I
5	Inion	II
6	Proceso mastoides	II
7	Sutura cigomático maxilar superior	I
8	Prostion	I
9	Nasoespinal	I
10	Punto más anterior de la sutura nasal-maxilar	I
11	Sutura cigomático frontal lateral	I
12	Punto definido geoméricamente ubicado entre glabela y bregma	*
13	Punto definido geoméricamente ubicado entre bregma y proyección de lambda	*
14	Punto definido geoméricamente ubicado entre bregma e hito 13	*
15	Punto definido geoméricamente ubicado entre proyección de lambda e hito 13	*



### **ANEXO 3: APLICACIONES DE LA MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA EN ANTROPOLOGÍA FÍSICA.**

Como primer punto, esta técnica ha enfocado gran parte de sus análisis sobre la morfología de las estructuras esqueléticas. El caso del dimorfismo sexual es posiblemente uno de los más representativos a este respecto. Hasta el momento no existen análisis, fuera del morfológico, que sea capaz de estimar el dimorfismo sexual en esqueletos humanos. De hecho, una vez aparecida esta técnica han aumentado los análisis sobre el dimorfismo sexual en diferentes segmentos esqueléticos, principalmente a nivel craneal (Rosas y Bastir, 2002).

Un punto que cabe hacer mención al respecto de la técnica es su bajo costo, por lo menos para los análisis de dos dimensiones. Sólo hace falta una cámara digital con zoom óptico, sobre 1 megapíxel de resolución, un trípode y un medio de soporte para el segmento a analizar. Los programas tienen un costo cero y se adquieren fácilmente en Internet ([life.bio.sunysb.edu/morph](http://life.bio.sunysb.edu/morph)).

No es invasivo.

Como se observó en la presente investigación, el análisis Morfométrico Geométrico ofrece un vasto arsenal de programas para el análisis de la variación de la forma, que ha sido empleado en diferentes áreas de la Biología, como son los estudios ontogénicos<sup>141</sup>, es estudio de polimorfismos<sup>142</sup> y sistemática y taxonomía<sup>143</sup>.

Dentro de los posibles temas de investigación relacionados con la Antropología Física que pueden ser analizados por la Morfometría Geométrica, se encuentra la Paleoantropología, en donde ya han aparecido varios trabajos, por ejemplo el

---

<sup>141</sup> O'Higgins & Jones, 1998; Spoor et al., 1999; Franchi, 2001; Ponce de León & Zollikofer, 2001; Lieberman et al., 2002; Zollikofer & Ponce de León, 2002

<sup>142</sup> O'Higgins, 2000; Free et al., 2001; Rosas & Bastir, 2002; Vioarsdottir et al., 2002; Manríquez et al. ms en preparación.

<sup>143</sup> O'Higgins & Dryden, 1993; Bookstein et al., 1999; Bacon et al., 2000; Delson et al., 2001; Marroig & Cheverud, 2001; Penin et al., 2002

análisis comparativo entre exocráneo y endocráneo de frontales pertenecientes a distintas especies del género *Homo*<sup>144</sup> y en general estudios filogenéticos<sup>145</sup>.

Otro estudio que puede ser abordado mediante esta técnica son los análisis microevolutivos de poblaciones emparentadas filogenéticamente, junto con observar las variaciones que han experimentado estas poblaciones desde su separación. Ligado con esto, se pueden realizar análisis de afinidades biológicas entre distintas poblaciones y observar cuáles han sido los cambios morfológicos que pueden explicar esta variación. Este tipo de análisis se puede realizar incluso durante la ontogenia de las poblaciones en estudio y observar así, en qué etapa comienzan a separarse morfológicamente.

También pueden realizarse estudios sobre el crecimiento y desarrollo de estructuras discretas de distintas poblaciones con la finalidad de observar las similitudes y diferencias entre ellas y observar patrones de crecimientos de la especie. Estudios similares se han realizado en *Cercocebus torquatus*<sup>146</sup> y en esplanocráneo humano<sup>147</sup>.

Otros estudios que se han realizado con la finalidad de establecer patrones morfológicos entre las poblaciones, de gran importancia para la Antropología Física, ha sido el análisis del dimorfismo sexual en poblaciones humanas<sup>148</sup>. Se pueden realizar análisis para contrastar aseveraciones realizadas mediante análisis métricos, como son los tipos craneométricos braquicéfalo/dolicocéfalo y sus implicaciones genéticas.

También se han realizado análisis sobre la adaptación de estructuras esqueléticas, como es el caso de un estudio comparativo entre ratones y

---

<sup>144</sup> Bookstein et al., 1999

<sup>145</sup> Fink and Zelditch, 1995; Swiderski et al., 2002; Zelditch et al., 2000; MacLeod, 2002; Bookstein, 2002; Felsenstein, 1988, 2002.

<sup>146</sup> O'Higgins y Jones, 1998

<sup>147</sup> Viðardóttir, O'Higgins y Stringer, 2002

<sup>148</sup> Rosas y Bastir, 2002

humanos en cuanto a la adaptación de la columna vertebral, realizado por O'Higgins *et al.*<sup>149</sup>.

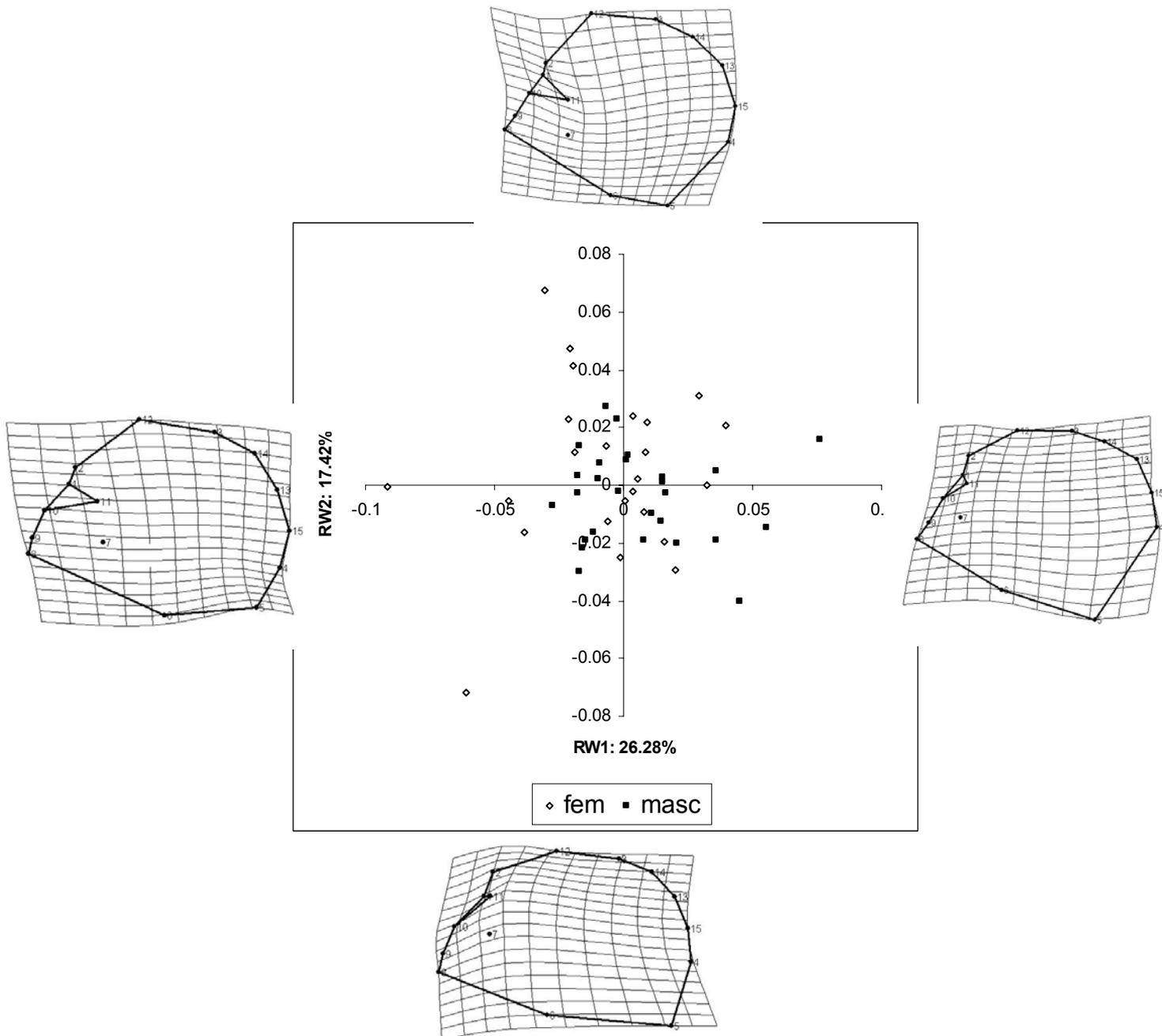
Uno de los estudios que pueden entregar aportes significativos a la Antropología Física son los relativos a los efectos que producen fenómenos culturales sobre la morfología normal del esqueleto, por ejemplo, el presente estudio que analiza el efecto de la deformación craneana intencional sobre el dimorfismo sexual en poblaciones prehispánicas.

---

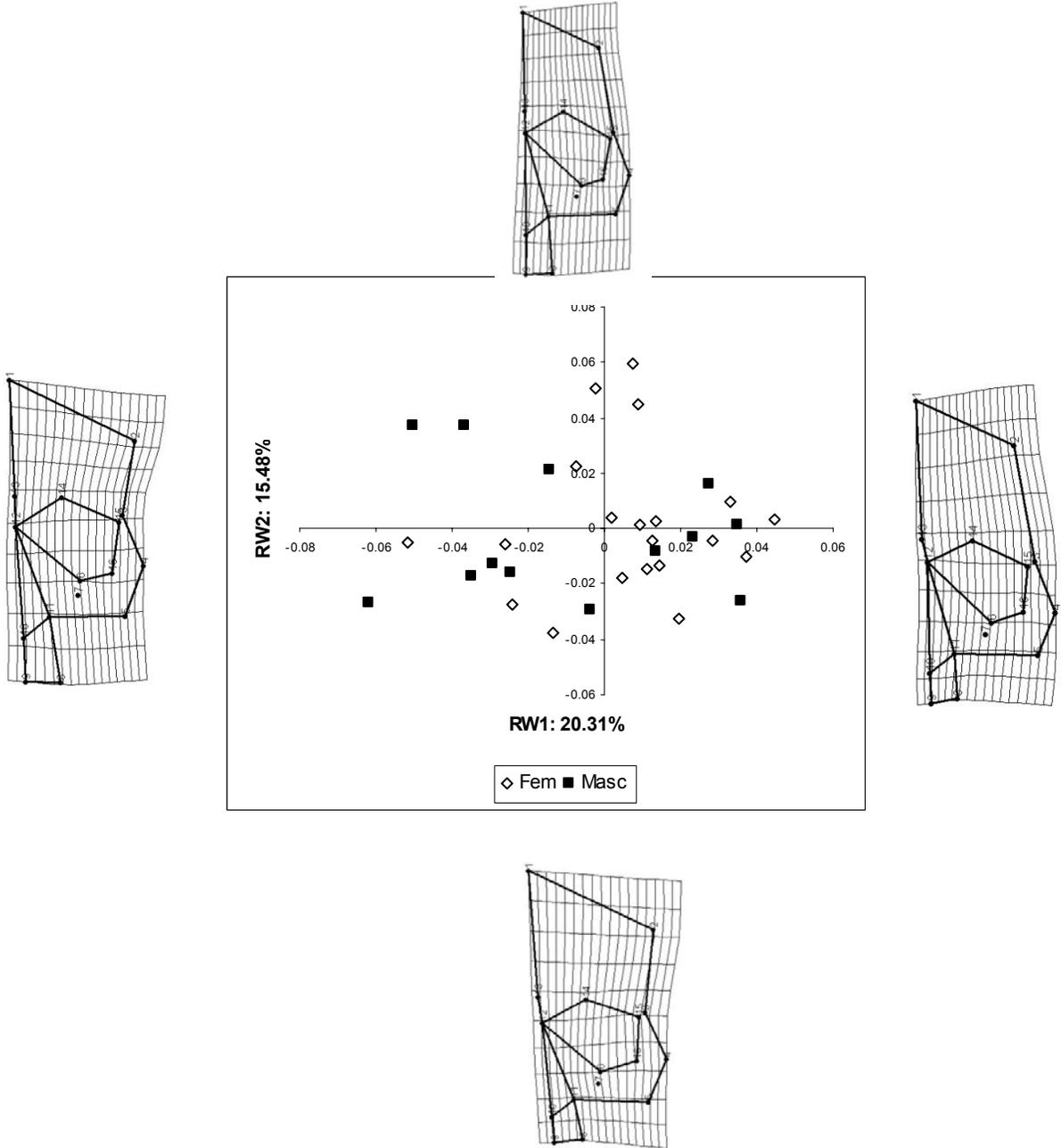
<sup>149</sup> O'higgins *et al.* 1997

## ANEXO 4: GRAFICOS DE DISPERSION Y FUNCIONES DE DEFORMACION DE PLACA DELGADA (tps).

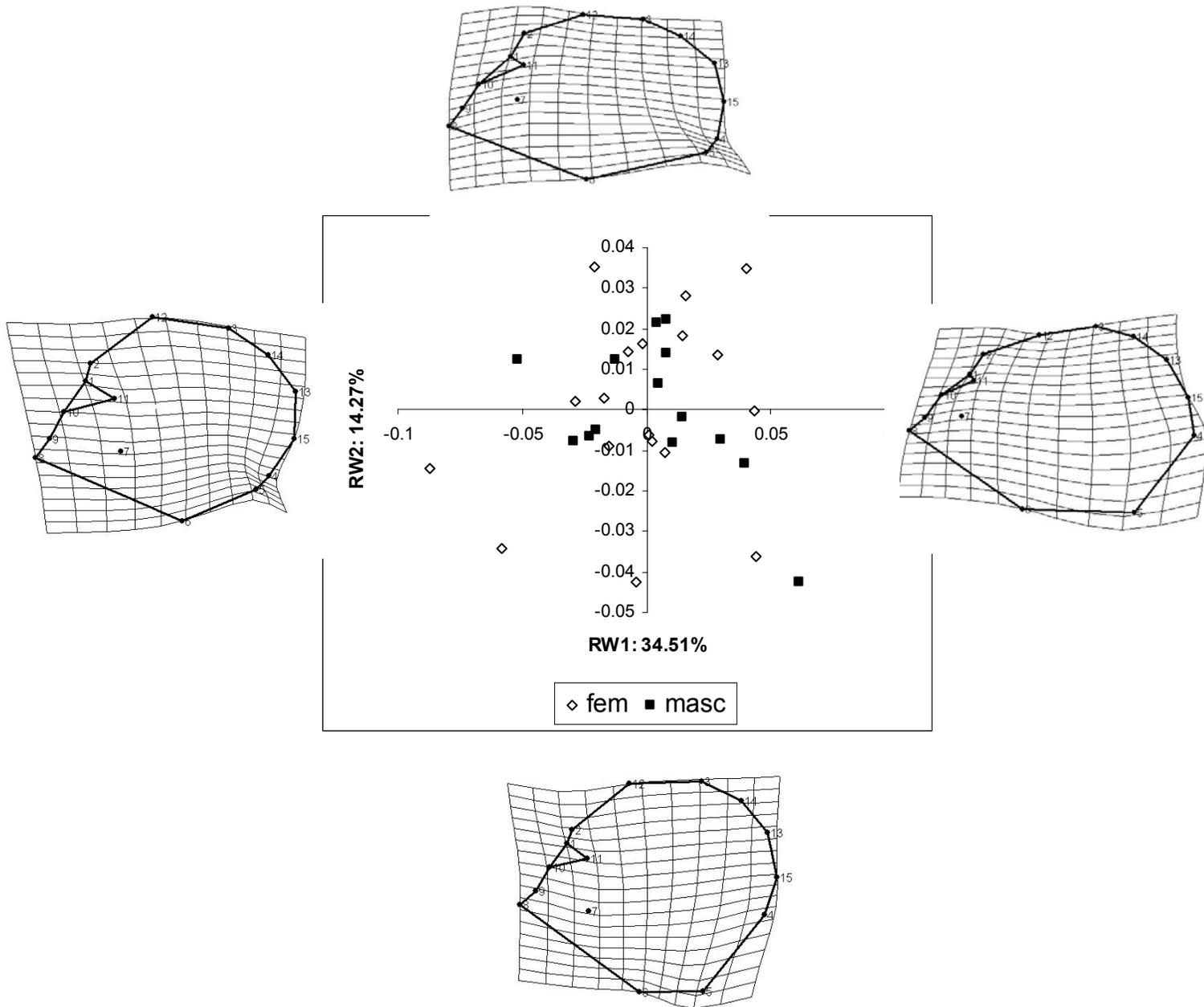
4.1. Distribución de los especímenes de Cementerio General en vista lateral. Se incluyen las grillas de torsión con respecto al consenso para cada RW (x10).



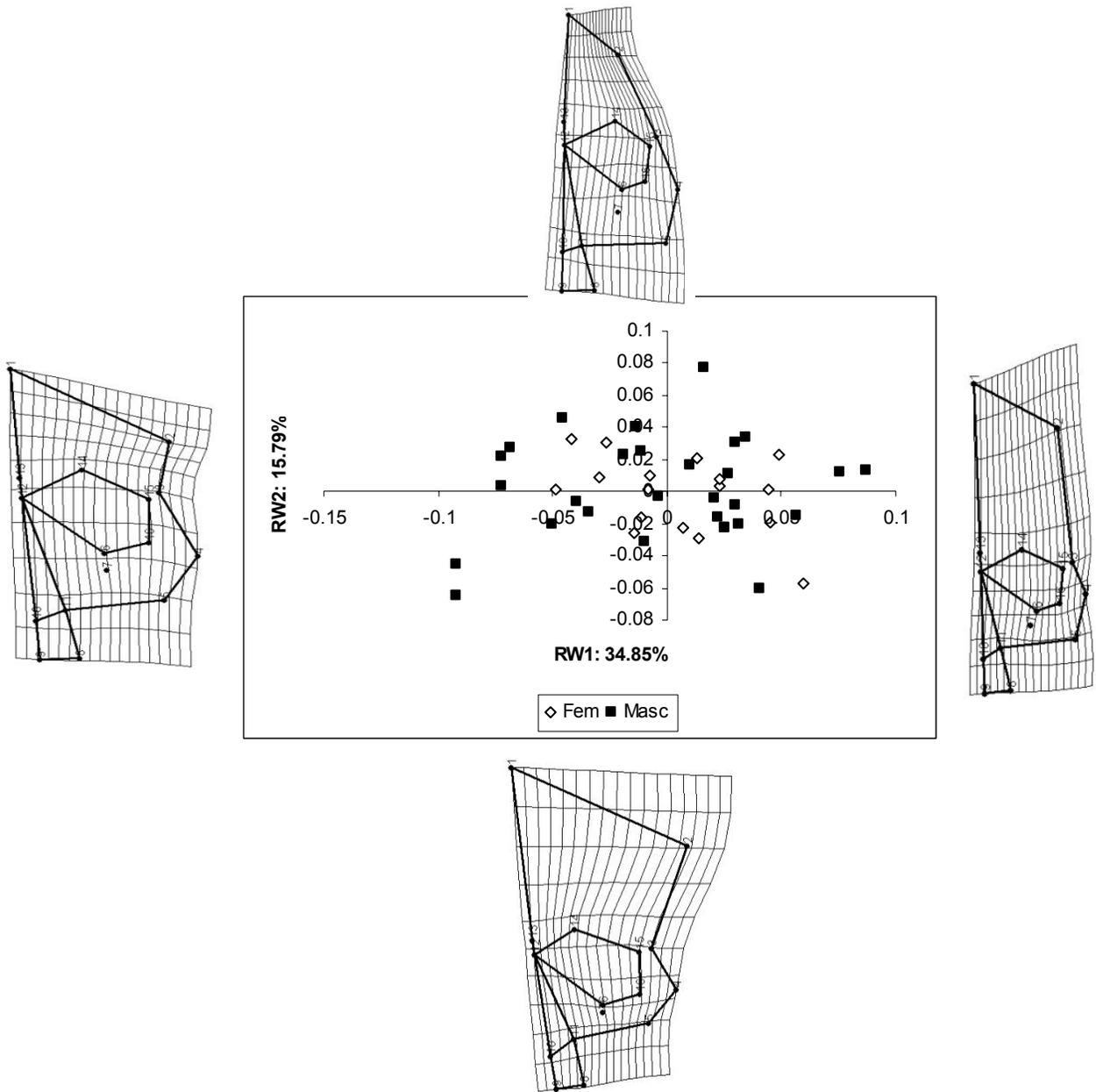
**4.2. Distribución de los especímenes de Pica 8 en vista frontal. Se incluyen las grillas de torsión con respecto al consenso para cada RW (x10).**



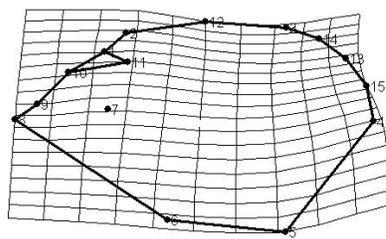
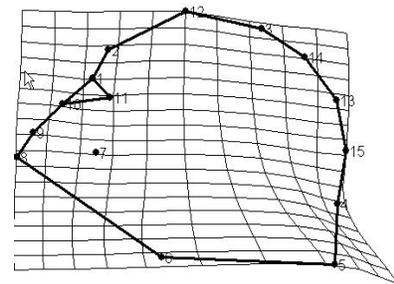
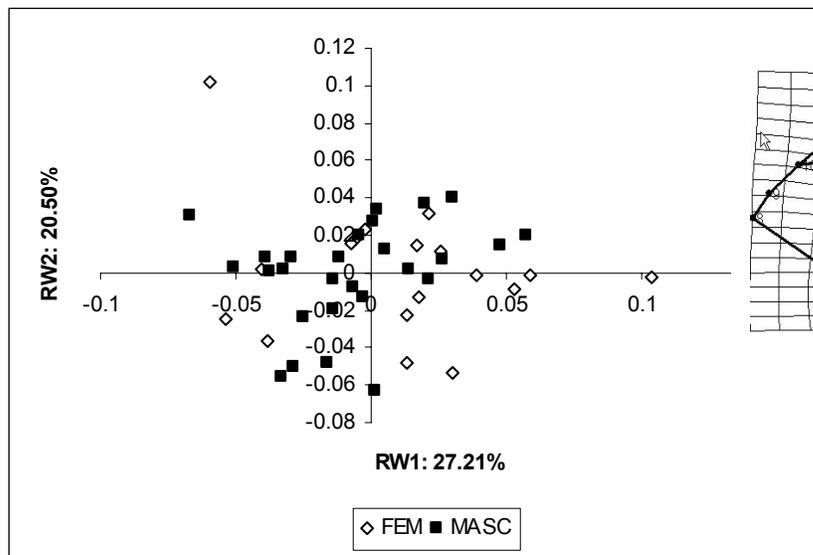
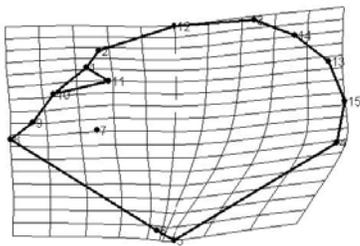
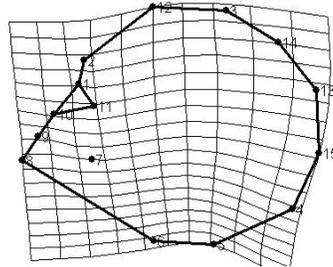
**4.3. Distribución de los especímenes de Pica 8 en vista lateral. Se incluyen las grillas de torsión con respecto al consenso para cada RW (x10).**



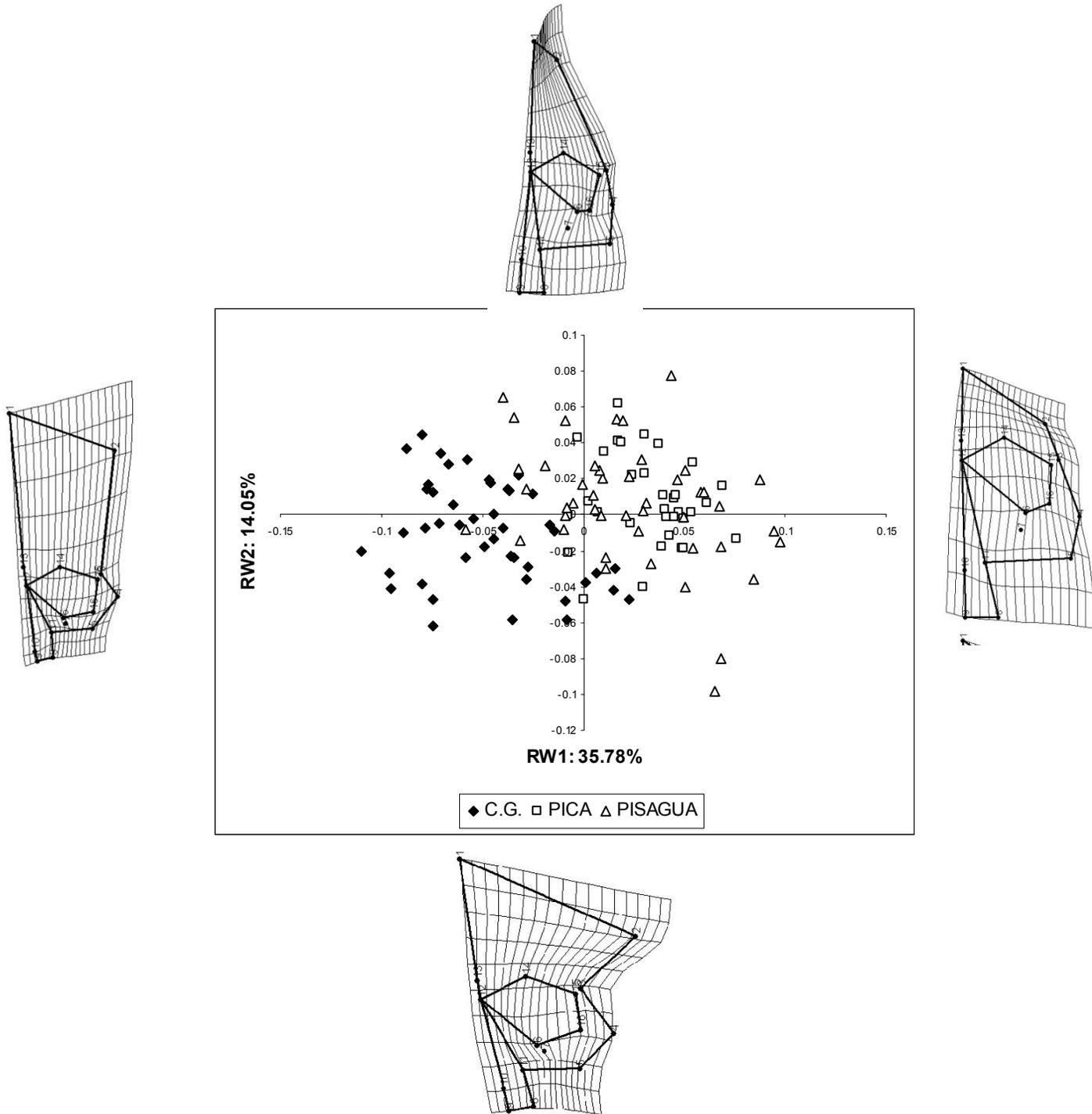
4.4. Distribución de los especímenes de Pisagua en vista frontal. Se incluyen las grillas de torsión con respecto al consenso para cada RW (x10).



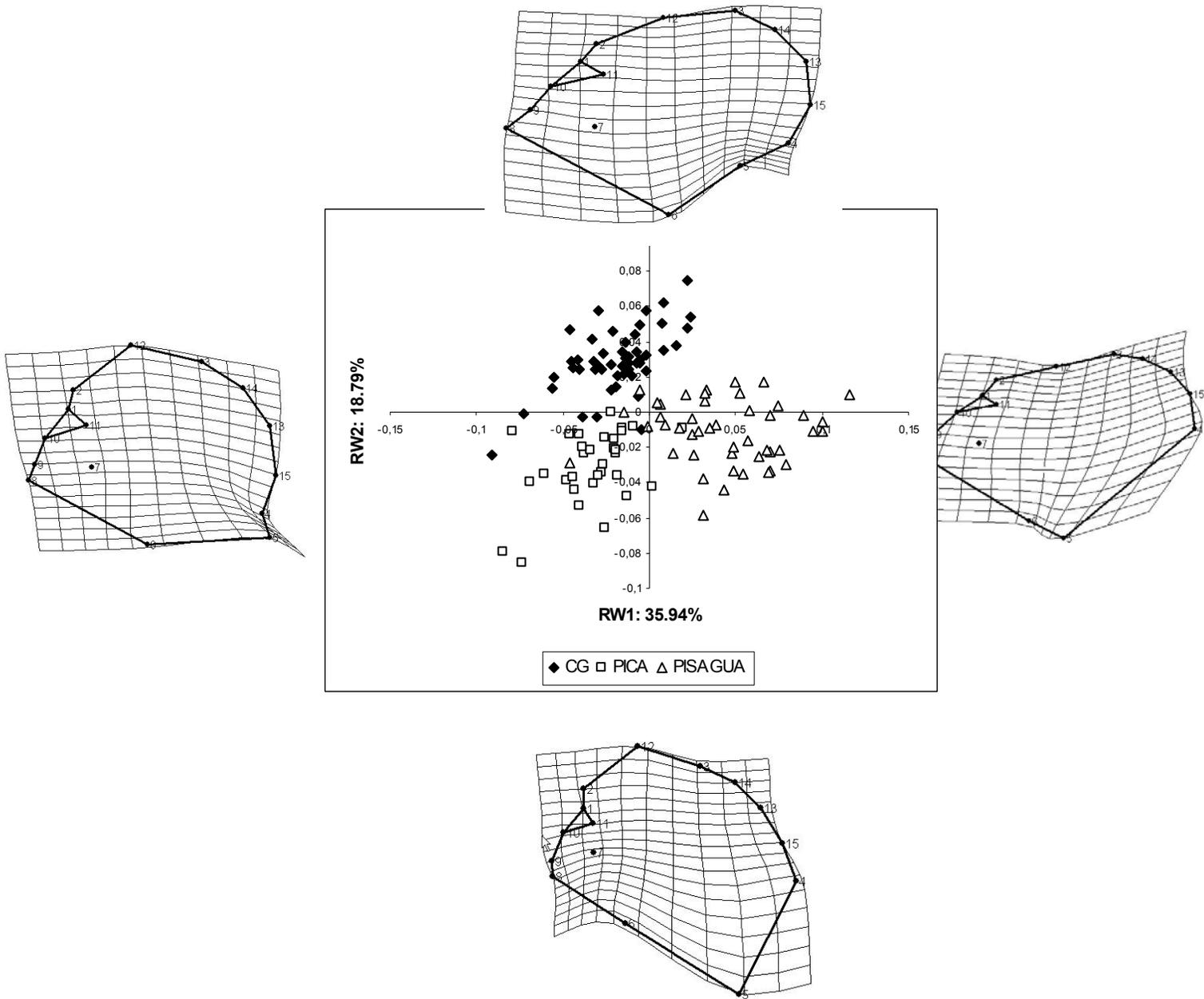
**4.5. Distribución de los especímenes de Pisagua en vista lateral. Se incluyen las grillas de torsión con respecto al consenso para cada RW (x10).**



4.6. Distribución de todos los especímenes en vista frontal. Se incluyen las grillas de torsión con respecto al consenso para cada RW (x10).



4.7. Distribución de todos los especímenes en vista lateral. Se incluyen las grillas de torsión con respecto al consenso para cada RW (x10)

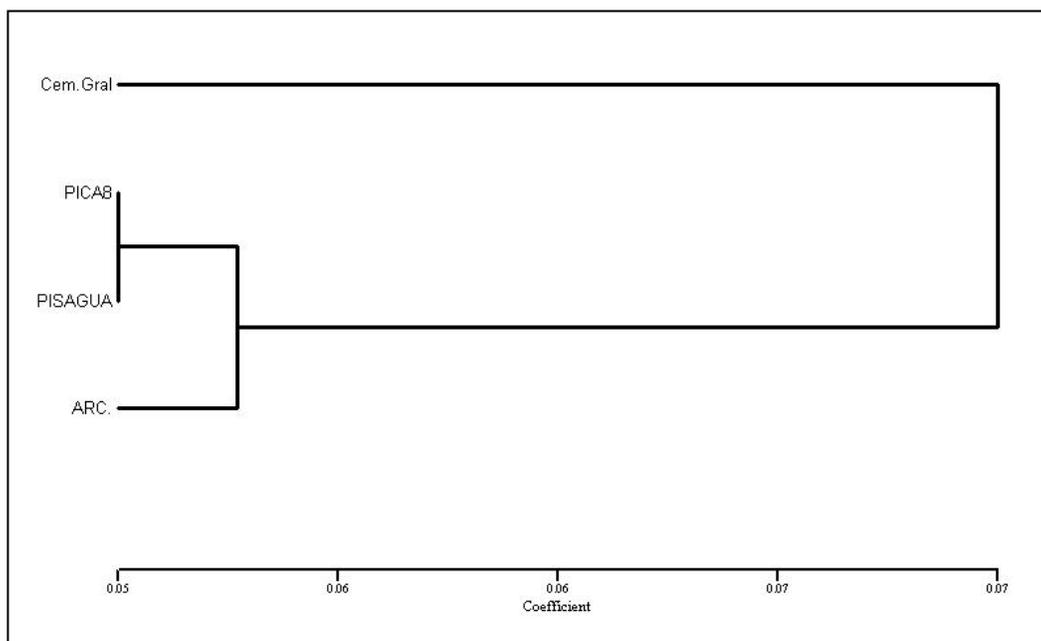


## ***ANEXO 5: COMPARACIÓN CON OTRAS POBLACIONES.***

La fuerza analítica del presente trabajo para el estudio de la variación de la morfología de los objetos biológicos queda demostrada en los siguientes fenogramas que fueron diseñado agregando junto a las poblaciones analizadas en la presente investigación, poblaciones pertenecientes al período arcaico del norte semiárido chileno (Conchal Las Cabinas, La Herradura, Punta Teatinos) y a la cultura Diaguita, en esta misma región (Compañía Baja, Peñuelas, Puclaro y Punta de Piedra). A las primeras las hemos denominado ARC. y a las segundas DIAG. Todo este material se encuentra depositado actualmente en el Museo Arqueológico de La Serena, Chile.

Los comentarios que se mencionarán a continuación tienen un carácter meramente especulativo, por lo que se deben tomar como tal. El hecho de entregar esta información se basa solamente en la intención de exponer las bondades que ofrece la técnica de la morfometría geométrica en diversas áreas.

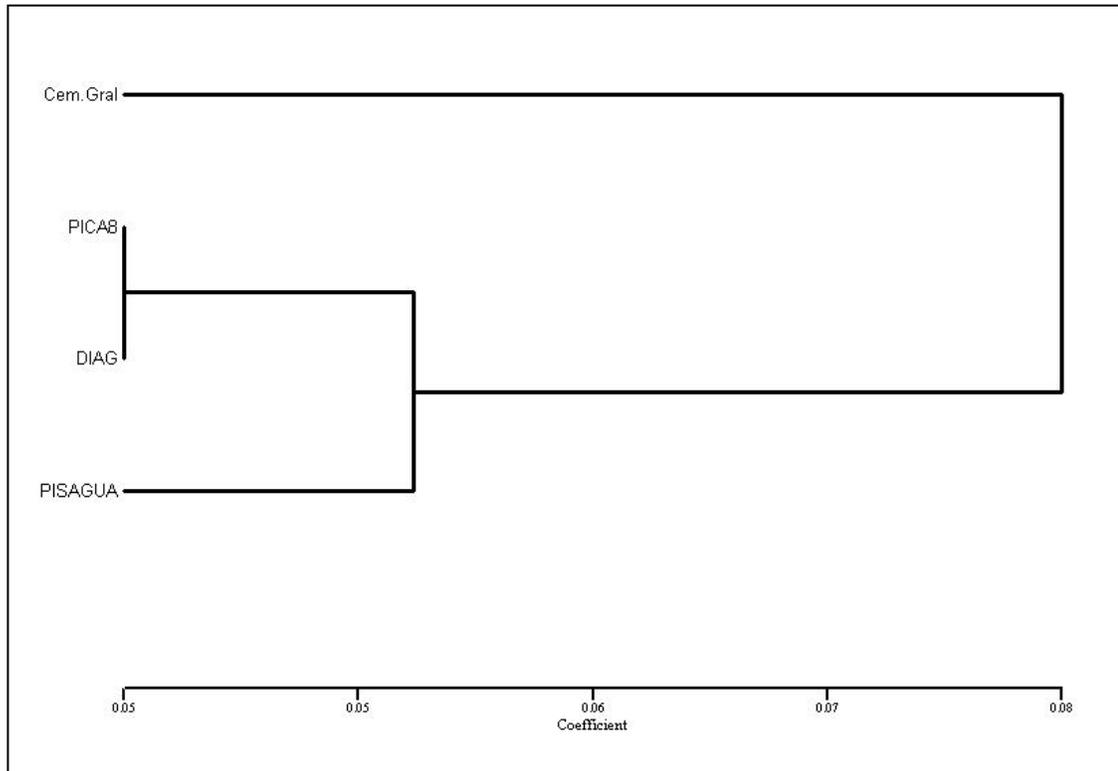
**FIGURA 5.1. Fenograma de las poblaciones sometidas a estudio junto con población del arcaico del norte semiárido.**



En primer lugar, se va a considerar a Cementerio General como el *outgroup* de estos análisis, ya que fenotípicamente y en consecuencia, probablemente genéticamente se va a encontrar más distanciado de los otros grupos.

El presente fenograma da cuenta de una situación esperada, puesto que cabía esperar que los grupos arcaicos del semiárido se encuentran más alejados fenotípicamente que las poblaciones de Pica y Pisagua. Esto da pie para sugerir que debe existir algún grado de afinidad genética entre estos dos últimos grupos, por lo menos en comparación con el grupo más temprano. Cabe hacer mención que la población perteneciente al período Arcaico del norte semiárido no presenta D.C.I.

Veamos el siguiente fenograma:



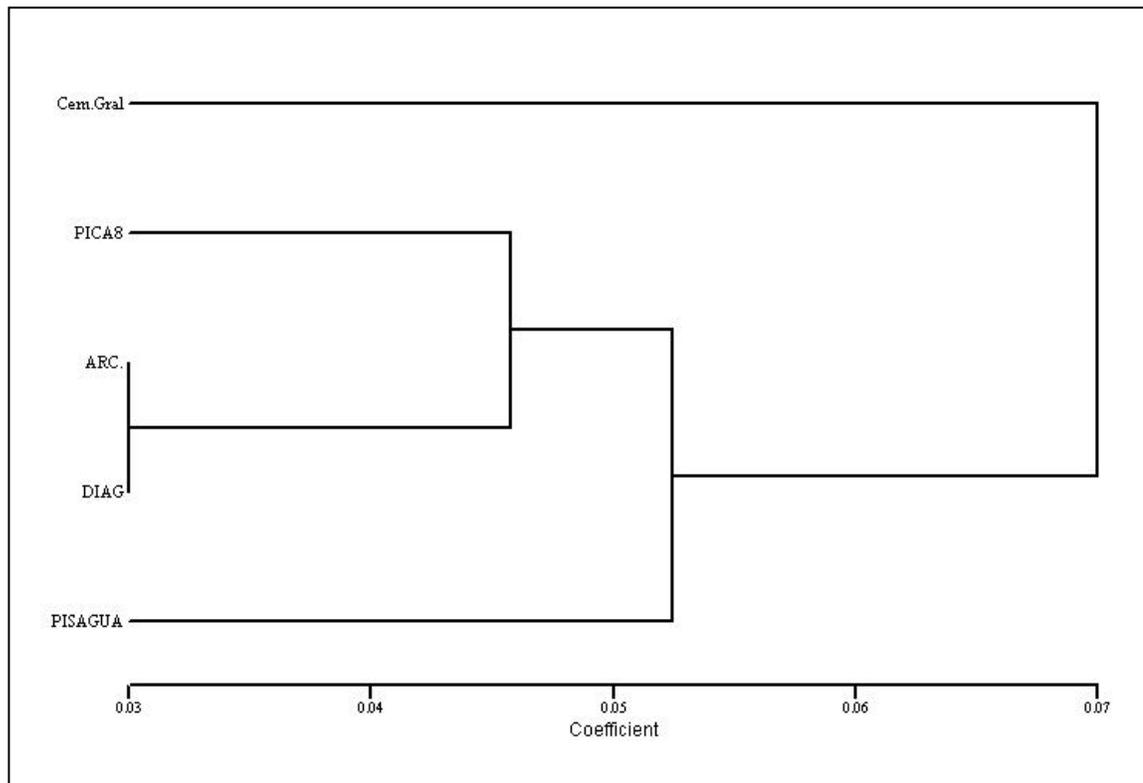
**FIGURA 5.2. Fenograma de las poblaciones sometidas a estudio junto con población perteneciente a la cultura Diaguita.**

En este fenograma se observa que Pica 8 se une con la población diaguita, quedando en una rama aparte la población de Pisagua. Este fenograma es sumamente interesante puesto que revela que, a pesar de la cercanía geográfica que posee Pisagua y de Pica, no se observa proximidad fenotípica, sino que ésta se observa con una población alejada mucho más al sur de Pica. Si tomamos en cuenta el dendrograma anterior a éste, se puede sugerir que las poblaciones de Pica y de Pisagua pueden provenir de un tronco común diferente al de la población Arcaica del norte semiárido y que por las dinámicas poblacionales diferenciales entre ambos grupos, sumado a un bajo flujo genético entre estas poblaciones, éstas comienzan a separarse genéticamente. Posiblemente Pica 8 y Diaguita tuvieron el aporte genético de

una población común, lo que se expresa en su genotipo, a diferencia de Pisagua, que no obtuvo este acervo genético o lo obtuvo en un grado poco significativo. También se puede sugerir tráfico caravanero interétnico, posiblemente integrados en una red de intercambio mayor, etc.

Las especulaciones pueden ser muchas, sin embargo, queda claro que la población de Pica con respecto a la población de Pisagua no presentan una marcada afinidad fenotípica, por lo menos para la técnica utilizada.

Veamos el último fenograma



**Figura 5.3. Fenograma con todas las poblaciones sometidas a estudio.**

En este caso, la población arcaica del semiárido se incluye dentro de la rama de diaguitas y de Pica 8, quedando igualmente separada la población de Pisagua. En este caso se supone que debido a las afinidades geográficas que presentan diaguitas y poblaciones arcaicas del norte semiárido, éstas también presenten afinidades genéticas. Esto debe traer como consecuencia que haya tan poca

distancia entre ellas, incluso con respecto a Pica 8 que es relativamente contemporánea a la población diaguita. Es decir, a pesar de la gran brecha temporal que separa a las poblaciones arcaicas del semiárido con la población diaguita, existen muchas afinidades biológicas, probablemente por miscegenación.

La próxima conexión con la rama superior que se relaciona con Pica 8 da pie para sugerir que, por lo menos entre la población Diaguita existe un grado de afinidad biológica lo suficientemente significativa como para separar a la población de Pisagua en una rama a parte de ellas. La población arcaica queda enmascarada fenotípicamente dentro de la población Diaguita y no muestra la distancia con las poblaciones de Pica y Pisagua.

Como se dijo en un principio, estos comentarios se encuentran únicamente en un nivel especulativo y sirven solamente como ejemplo de la técnica que se ha empleado en la presente investigación.

## **ANEXO 6: GLOSARIO DE TÉRMINOS FRECUENTES**

**Análisis de Procrustes:** Un término para los métodos de mínimos cuadrados para estimar los parámetros de las transformaciones Euclidianas de similitud. Es utilizado en morfometría geométrica para separar el efecto de la rotación, traslación y el tamaño, de la forma, así como también para crear una configuración de consenso de todos los objetos sometidos a análisis y para generar las distancias de Procrustes, que es la métrica con que se analizan los especímenes dentro del espacio de Kendall.

**Componente uniforme:** variaciones uniformes de la forma, que afecta a todos los *landmarks*. Es, por ejemplo, la deformación que sufre un cuadrado para transformarse en un rectángulo, rombo o romboide.

**Componente no uniforme:** Variaciones locales que sufre un *landmark* o conjunto discreto de *landmarks*.

**Deformación Craneana Intencional:** práctica cultural que consiste en la distorsión traumática practicada sobre el cráneo humano, específicamente sobre el neurocráneo, la cual posee una intencionalidad por parte de sus realizadores. Esta práctica es aplicada desde la primera infancia y eventualmente puede durar toda la vida.

**Dimorfismo sexual:** diferencias morfológicas, fisiológicas, bioquímicas y de comportamiento de machos y hembras de una misma especie.

**Distancia de Procrustes:** Aproximadamente, la raíz cuadrada de la suma de las diferencias al cuadrado entre las posiciones de los *landmarks* (hitos discretos) en dos configuraciones óptimamente sobreimpuestas (por mínimos cuadrados)

al tamaño del centroide landmarks. Esta es la distancia que define la métrica del espacio de Kendall.

**Espacio de Kendall:** construcción geométrica fundamental en que se basa la morfometría geométrica. El espacio de Kendall provee un completo set de análisis de las distancias de Procrustes entre sets arbitrarios de *landmarks*. Cada punto en este espacio representa la forma de una configuración de puntos, sin relación al tamaño posición u orientación. Es en este espacio en donde los diferentes especímenes o más bien, sus pares de morfocoordenadas, se ubican respecto del consenso (ubicado al centro) de acuerdo a la distancia (de Procrustes) que poseen con respecto a él. El espacio de Kendall adopta la forma de una esfera cuando el objeto analizado posee solamente tres *landmarks* (un triángulo). Mientras mayor sea la cantidad de *landmarks* tenga un objeto, más dimensiones tendrá el espacio de Kendall, por lo que no podrán ser representadas todas las dimensiones al mismo tiempo, debido a la imposibilidad del ser humano de representar objetos en un espacio mayor de tres dimensiones (hiperespacio).

**Landmark** (hito): Un punto específico de una forma biológica o la imagen de una forma localizada acorde a un mismo patrón (homología en biología).

**Matriz de energía de torsión** (*bending energy matrix*): Metáfora adoptada por la morfometría geométrica, prestada de la mecánica de metales delgados. Imagine dos especímenes homólogos (dos configuraciones de *landmarks* homólogas) han sido impresos (inscritos) sobre una placa de metal infinitamente delgada o sobre un plano cartesiano. Si uno de ellos adopta la forma del otro, el metal inscrito en éste debe torcer sus coordenadas con el fin de lograr adoptar la forma del otro espécimen.

**Morfometría geométrica:** análisis estadístico de la covarianza entre la forma y los factores causales que la modifican. Uno de sus principales objetivos es la descripción de la diversidad de los objetos biológicos y la búsqueda de explicaciones causales a su variación en tamaño y forma. En sentido extenso, esta nueva disciplina biométrica se ocupa de los métodos que permiten la descripción, partición y análisis de la variación de la forma en poblaciones de organismos, independientemente de las variaciones de tamaño y en relación a factores tales como el crecimiento, el tratamiento experimental y/o la evolución de un grupo finito de organismos.

**Outline** (contorno): Una curva matemática que se emplea dentro de una imagen de dos dimensiones de un contorno físico.

**Partial warps:** Estructura auxiliar para la interpretación de los cambios de la forma en un set de *landmarks*. Geométricamente, los *partial warps* son una base ortogonal de la tangente del espacio de Kendall.

**Relative warps:** Componentes principales de una distribución de formas en el espacio tangente al espacio de Kendall.

**Seudolandmarks:** *landmarks* ubicados entre dos hitos anatómicos.

**Semilandmarks:** *landmarks* que definen un contorno.

**Tamaño del centroide:** Raíz cuadrada de la suma de las distancias al cuadrado de un set de *landmarks* de su centroide o, equivalentemente, la raíz cuadrada de la suma de las varianzas de los *landmarks* sobre ese centroide en las direcciones *x* e *y*. El tamaño del centroide es utilizado en morfometría geométrica como una variable de tamaño del objeto analizado.

**TPS** (*thin plate spline* o función de placa delgada): modelo para graficar la energía de torsión que debe adoptar un espécimen para transformarse en otro espécimen homólogo.