



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
ANTROPOLÓGICAS  
POSGRADO EN ANTROPOLOGÍA

MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA CRANEOFACIAL DE  
MÉXICO: PROCESOS MICROEVOLUTIVOS Y  
CONTEXTOS HISTÓRICOS

T E S I S  
QUE PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAESTRO EN ANTROPOLOGÍA  
P R E S E N T A

MIRSHA EMMANUEL QUINTO SÁNCHEZ

TUTOR DE TESIS  
DR. CARLOS SERRANO SÁNCHEZ



CIUDAD DE MÉXICO 2010



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A mi hija, Regina*

*y a mi madre, Alicia*



*Un cráneo. Regina 2009*

Este trabajo es la conclusión de varias temporadas de mediciones en las que se han involucrado muchas personas. Algunos contribuyeron en brindar el acceso a las colecciones, algunos otros planteando algunas recomendaciones, unos más con apoyo moral, de amistad, etc. Al final esta tesis es un conjunto de ideas que el autor trato de sintetizar pero que proviene de la integración dialéctica de muchas propuestas de mis profesores, amigos, colegas, familia y compañeros.

En primera instancia quiero agradecer a Antonio González-Martín quien ha sido y será mi maestro en el campo de la biología antropológica. La estancia en Madrid fue muy provechosa gracias a su gran apoyo. Gracias Antonio, aquel día que te conté del cráneo hallado nunca pensé en las implicaciones que esto traería a mi vida, que fortuna tuve de estudiar en la reaccionaria UAEH. Y de la mano a Amaya Gorostiza quien también tuvo que lidiar con este chilango en los Mandriles y con algunos días de intensa medición de cráneos que realicé en la facultad de Zoología. Gracias Amaya, eres un ser increíble, has aportado muchas cosas para mi vida, las platicas contigo son mejor que cualquier psiquiatra. Muchas gracias a ambos los quiero mucho ya comeremos más caracoles.

Al Rolando González-José, quien me permitió realizar una estancia circunstancial para el desarrollo de mi tesis. Gracias che; Rolo. Mi estadía en Patagonia, aprendiendo la particular forma de “vida entre los patagones”, me permitió saber el porque del éxito del equipo. Che; tu apoyo repercutió profundamente en la realización de este proyecto. Espero pronto estar de regreso por Madryn que tantas cosas dejo en mi. Y como parte del equipo a Caro, Sol, Luli, Vero y Ana lindas argentinas;¡¡¡ gracias por todo lo que me brindaron en mi corta estancia por allá, las recuerdo con mucho cariño.

A Neus Martínez-Abadías quien es la culpable directa y/o actora material de que camine los campos de la morfometría geométrica. Neus, siempre has estado ahí para lo he necesitado, muchas gracias por todo tu apoyo, es invaluable los comentarios, críticas, perspectivas, etc que has hecho a mis trabajos.

A mi amigo y kamarada, Jorge Gómez-Valdés, quien es la pieza clave de que este en este lugar, entregando este pequeño trabajo. Gracias kamarada, tu apoyo para mi formación es determinante: estoy en deuda contigo. Eres mi hermano, ya que siempre me has apoyado en todas las tonterías que se me ocurren a pesar de mi locura. Espero estar a la altura de nuevos proyectos conjuntos.

Al Dr. Carlos Serrano Sánchez por aceptar dirigir esta tesis y creer en un trabajo interdisciplinario, hoy tan citado pero pocas veces realizado. Agradezco infinitamente la confianza depositada en mi persona en todo el proceso de realización de la misma.

A los revisores de la tesis Dr. Luis Vargas, Dra. Abigail Meza, Dra. Josefina Bautista y Mtro José Luis Castrejón ya que cada uno contribuyo, desde su nicho, a mejorar profundamente el estructura del trabajo.

Tengo que agradecer a las autoridades del INAH, UNAM, CONACYT, ENAH, UCM, CENPAT, MNA Madrid por las facilidades de acceso a la colección, por la beca y los apoyos.

A mis compañeros y amigos de la maestría a todos ell@s muchas gracias. Especialmente a Eva, Anne, Alí, Moni, Pao, Urzua, Zalma, Tere, Hernán, Rodrigo, Lory, Angela con quienes compartí buenos y malos momentos. Muchas gracias por hacer menos fea la estancia en antropológicas con el innombrable ese.

A mis amigos Mauro, Lowy, Pablo, Ana Prado, Adrián, Arturo, Sandra, Ere, Ross, Ana Escalera, Irlanda y León. A los amigos de la ENAH Victor, Celta, Arodí, Moni, Monse, Rock, Abel. A l@s tapati@s Martha, Ana Laura, Mariana Madrigal, Tavo, Astrid, Paco, Alex, Mariana Sáez, Julio Alberto, Mirta . A los colombianos Paola, Igor y Camilo. A los españoles Itxchasi y Manu. A los argentinos Roberto, Barbara y Francisco Tolosa. A mis maestros de la vida Consuelo Cuevas, Rubén Costiglia, Carlos Esquivel, Victor Bravo, Jesús Martín, Miguel Cabral, Mario Segura y Mariaelena García quienes siempre han contribuido a mi desarrollo profesional desde su trinchera.

En el ámbito personal a la Familia Valdés. Muchas gracias Angelina, Peque, Carlos, Yeni, Vale, Jorge, Mire y Mili. Su apoyo durante este tiempo ha significado que este trabajo saliera a flote. Especialmente, a Angelina Valdés con quien he tenido la fortuna de compartir muchísimos momentos durante la realización de esta tesis. Gracias Angelina, hemos reído, llorado y disfrutado en las buenas y las malas, no se como pagar todo lo que me has ofrecido.

A mi familia: Regina, Alicia, Jorge y Tito, quienes son el pilar más importante en este proceso de formación profesional. Mami, gracias por todo el apoyo que me has brindado siempre en todos los ámbitos, por ser amiga, consejera, confidente, mama y papá. Kamelio, gracias por tu apoyo cuando no he estado en casa para con Gina, estoy muy orgulloso de tus logros profesionales. A mis abuelos Eutimio y Magdalena por toda la entereza que siempre me han contagiado.

A mi pequeñita Regina quien es el combustible de mi vida. Hijita mía, cada uno de estos logros sólo se cristalizan a la luz de tu ternura. Eres el ser más importante en mi vida. Siento mucho todas las tardes que no he estado para contigo por desarrollar mis estudios. Espero que de alguna manera, no se cual, pero de alguna manera esto repercuta en tu vida. Te amo mi vida.

Pachuca, Hgo/México DF. Diciembre 2009/Enero 2010.

## Índice general de la tesis

---

i)	Dedicatoria	a
ii)	Agradecimientos	b
iii)	Índice general de la tesis	d
iv)	Índice de figuras	j
v)	Índice de tablas	l
vi)	Índice de gráficas	n
vii)	Resumen / Abstract	p

<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema	6
1.2 Fundamento teórico	8
1.2.1 Delimitación teórica	8
1.2.2 ¿Porqué estudiar el cráneo?	9
1.2.3 El fenotipo y la inferencia genética en poblaciones antiguas	10
1.2.4 Genética de poblaciones: perspectivas desde los caracteres cuantitativos	11
1.2.5 Plasticidad, evolución e integración fenotípica.	14
1.2.6 La teoría de los componentes funcionales del cráneo.	17
1.2.7 La hipótesis de matriz funcional (FMH)	20
1.2.8 Aspectos biogeográficos	20
1.2.9 Introducción a la morfometría geométrica	21
1.2.9.1 Coordenadas en el espacio o landmarks	23
1.2.9.2 Forma ( <i>shape</i> ), tamaño ( <i>size</i> ) y forma <sup>bis</sup> ( <i>form</i> )	25
1.2.9.3 Espacios morfométricos	26
1.2.9.4 Método de ajuste por Procrustes (GMP)	27
1.2.9.5 Morfometría multivariada	29
1.3 Hipótesis generales de la tesis	30
1.4 Objetivos Generales	31

1.4.1	Objetivos Particulares	31
<b>CAPÍTULO II: ANTECEDENTES</b>		32
2.1	Breves descripciones de las poblaciones utilizadas en este estudio	33
2.1.1	Azcapotzalco	33
2.1.2	Candelaria	38
2.1.3	Paila	38
2.1.4	Pericues	39
2.1.5	Precerámicos	41
2.1.6	San Nicolas Tolentino	41
2.1.7.	Santa Maria Texcalac	42
2.1.8.	Soledad	42
2.1.9	Sonora	43
2.1.10	Tarahumara	43
2.1.11	Teotihuacan	44
2.1.12	Templo de Quetzalcóatl	46
2.1.13	Tlatelolco	46
2.1.14	Tlatilco	47
2.1.15	Tula	48
2.1.16	Colección Olóriz	48
2.1.17	Museo Antropología Madrid	51
2.1.18	Wamba	51

<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b>	<b>52</b>
3.1 La muestra	53
3.2 Características mínimas necesarias de los cráneos	55
3.3 Procedencia de los cráneos en estudio	57
3.4 Determinación de sexo, edad, practicas culturales y enfermedades.	59
3.4.1 Sexo	62
3.4.2 Edad	63
3.4.3 Sobre las practicas culturales que fueron consideradas como modificadoras de la morfología craneana inicial	64
3.5 La orientación del cráneo	64
3.6 Digitalización de las colecciones craneanas	64
3.7 Diseño experimental	69
3.8 Perspectivas muestrales	71
3.9 Efecto de los valores perdidos ( <i>missing values</i> ) y su estimación matemática	72
3.10 Estadística descriptiva: análisis previo y de estandarización al trabajo de morfometría estadística básica	73
3.11 Programas ( <i>software</i> ) especializados empleados para el análisis	74
3.12 Estudio de error intraobservador	75
3.13 Análisis microevolutivo de la forma ( <i>shape</i> ) mediante el fenotipo craneano.	77
3.13.1 Análisis de Variación Canónica (CVA) de las poblaciones mexicanas antiguas, de sus fases culturales y estrategias económicas.	77

3.13.2 Re-evaluación de Mestizaje en México	81
3.13.3 Tasa de microevolución de la forma del cráneo	83
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS I</b>	84
4.1 Análisis previos sobre la muestra	85
4.1.1 Datos perdidos	85
4.1.2 Cráneos fuera de rango y extremos ( <i>Outliers</i> )	85
4.1.3 Análisis Generalizado de Procrustes (GPA)	88
4.1.4 Efecto del sexo: analisis discriminante	90
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS I I</b>	91
4.2 Análisis de Variación Canónica (CVA) de las poblaciones mexicanas antiguas	92
- Distancias de Mahalanobis	97
- Fenograma	98
- <i>Mutidimensional scaling</i>	99
- Análisis Relethford-Blangero	100
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS I I I</b>	103
4.3 Análisis de Variación Canónica (CVA) de las poblaciones mexicanas antiguas su relación a la fases culturales.	104
- Distancias de Mahalanobis	108
- Fenograma	109
- <i>Mutidimensional scaling</i>	110
- Análisis Relethford-Blangero	111

4.3.1 Análisis del cambio morfológico del cráneo por fases culturales: contraste de formas medias ( <i>Average shape</i> ).	113
4.3.1.1 Variabilidad del Esplagnocráneo por Horizontes culturales.	113
4.3.1.2 Variabilidad del Neurocráneo por Horizontes culturales.	120
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS IV</b>	128
4.4 Análisis de Variación Canónica (CVA) de las poblaciones mexicanas antiguas, su relación al tipo de estrategia económica.	129
- Distancias de Mahalanobis	131
- Fenograma	132
- <i>Mutidimensional scaling</i>	132
4.4.1 Análisis del cambio morfológico del cráneo por estrategia económica: contraste de formas medias ( <i>Average shape</i> ).	133
4.4.1.1 Variabilidad del Esplagnocráneo por estrategia económica.	133
4.4.1.2 Variabilidad del Neurocráneo por estrategia económica.	134
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS V</b>	137
4.5 Re-evaluación de proceso de Mestizaje.	138
- Análisis de Variación Canónica (CVA)	138
- Distancias de Mahalanobis	141
- Fenograma	142
- <i>Mutidimensional scaling</i>	143
4.5.1 Contraste de formas ( <i>shape</i> ) medias del cráneo poblacionales en el análisis del Mestizaje en México.	144
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS V I</b>	147
4.6 Tasa microevolutiva de la forma del cráneo en México.	148
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIONES</b>	150
5.1 Sobre la configuración y perspectivas de las muestras	151

5.2 Modelo probabilístico y significación estadística.	154
5.3 Sobre los cráneos no incluidos.	155
5.4 La morfometría geométrica vs la morfometría clásica.	156
5.4.1 La digitalización del cráneo: cambios de paradigmas	156
5.5 Sobre los individuos fuera e rango y el error intraobservador	160
5.6 Las ventajas del análisis generalizado de Procrustes	161
5.7 Sobre el cambio microevolutivo en la forma craneal fenotípica de poblaciones mexicanas (Resultados I).	162
5.7.1 Modelo de estructuras poblacionales: metapoblaciones	169
5.8 Microevolución craneana en relación a las fases culturales (Resultados II)	171
5.9 El fenotipo y las estrategias económicas (Resultados III)	177
5.9.1 Genes, ambiente o su síntesis dialéctica	180
5.10 Re-evaluación del proceso de mestizaje (Resultados IV)	182
5.11 Microevolución de la forma del cráneo en México (Resultados V).	186
5.12 Síntesis	189
 <b>CAPÍTULO VI CONCLUSIONES</b>	 194
 <b>BIBLIOGRAFÍA</b>	 202

## Índice de Figuras

### Introducción

Figura 1.1. Esqueletos de gibbon, orangutan, chimpance, gorila y hombre	2
Figura 1.2. Visiones de la concepción del hombre	3
Figura 1.3. Diferentes autores proponen una historia biológica humana distinta entre los caracteres de la terestrialidad, bipedalismo, encefalización y la cultura	5
Figura 1.4. Modelos de la relación genotipo-fenotipo	15
Figura 1.5. Propiedades fundamentales de las normas de reacción genética	17
Figura 1.6. La MG permite que la configuración inicial planteada por un protocolo de medición conserve la forma del objeto en estudio	22
Figura 1.7. Las distancias lineales pueden pertenecer a dos formas ( <i>shapes</i> ) diferentes	22
Figura 1.8. Varios tipos de <i>landmarks</i> usados en el análisis morfométrico	24
Figura 1.9. el cambio en la forma <sup>bis</sup> ( <i>form</i> ) es el resultado de la combinación del cambio en el tamaño ( <i>size</i> ) y la forma ( <i>shape</i> )	26
Figura 1.10. Interrelación de los espacios morfogeométricos en el procesos de ajuste	26
Figura 1.11. Diferentes pasos del ajuste por Procrustes	27
Figura 1.12. Espacio alineado a la unidad del <i>centroid size</i>	28

### Antecedentes

Figura 2.1 La cuenca de México: divisiones geográficas y políticas	35
Figura 2.2 Migración de la comunidad Mexica a través del área lacustre	36
Figura 2.3 Participación Mexica en la consolidación militar de Azcapotzalco	37
Figura 2.4 La fundación de la Triple Alianza y la caída de Azcapotzalco	37
Figura 2.5 Hipótesis del poblamiento americano desde la craneometría	39
Figura 2.6 Mapa de índices cefalométricos por regiones geográficas de España <i>sensu</i> Oloriz.	49
Figura 2.7 Listado de las frecuencias por provincias de cráneos que integran la colección del Dr. Oloriz.	50

### Metodología

Figura 3.1 Vista exterior de la Facultad de Biología de la Universidad Complutense de Madrid	58
Figura 3.2 Vista exterior del Museo Nacional de Antropología de Madrid	58
Figura 3.3 Vista exterior de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid	58
Figura 3.4 Museo Nacional de Antropología-INAH México DF	59

Figura 3.5 Caracteres evaluados por morfoscopía para la determinación del sexo en el cráneo	60
Figura 3.6 Muestra la relación de la variación en el tiempo del desarrollo dental propuesto por Gustafson y Koch (1974)	63
Figura 3.7 Digitalizador Microscribe G2 utilizado en el estudio	65
Figura 3.8 Aspecto del área de trabajo del digitalizador y de los elementos necesarios (pc, brazo y observador) para la digitalización de un cráneo	65
Figura 3.9 Origen de los dato en el centroide del Digitalizador Microscribe G2 (izquierda) y su reconfiguración en el cráneo (derecha)	66
Figura 3.10 Principal problema en la morfometría geométrica: la perdida de la información de la forma en los segmentos interlandmarks	67
Figura 3.11 <i>Wireframes</i> creados para conocer el cambio en la forma del cráneo	69
Figura 3.12 Diagrama de flujo del modelo libre propuesto por Relethford y Blangero (1990)	70
Figura 3.13 Segmentación de los componentes integradores del error en la morfometría basada en landmarks	76
Figura 3.14 Protocolo general del análisis de la tesis	79
Figura 3.15 Protocolo teórico del análisis microevolutivo de la forma fenotípica del cráneo	80
Figura 3.16 Modelo de análisis de mestizaje	82

## Resultados

Figura 4.1 Ejemplo de un cráneo fuera de rango ( <i>outlier</i> ) descartado de la muestra	85
Figura 4.2 Muestra la distribución de los cráneos una vez eliminados los efectos de rotación, translación y escala	89
Figura 4.3 Polígono ( <i>wireframe</i> ) de diferencias entre medias de los cráneos clasificados como femeninos y masculinos.	90
Figura 4.4 Polígonos del cambio en la forma ( <i>wireframes</i> ) de cada una de las raíces canónicas generadas en el análisis por poblaciones.	96
Figura 4.5 Polígonos del cambio en la forma ( <i>wireframes</i> ) para cada una de las raíces canónicas por horizontes culturales	108
Figura 4.6 Polígonos de cambio de la forma ( <i>wireframes</i> ) para la comparación de medias por horizonte cultural	114
Figura 4.7 Polígonos de cambio de la forma ( <i>wireframes</i> ) para la comparación de medias por horizonte cultural	116
Figura 4.8 Polígonos de cambio de la forma ( <i>wireframes</i> ) para la comparación de medias por horizonte cultural	118
Figura 4.9 Polígonos de cambio de la forma ( <i>wireframes</i> ) para la comparación de medias por horizonte cultural	119
Figura 4.10 Polígonos de cambio de la forma ( <i>wireframes</i> ) para la comparación de medias por horizonte cultural	121
Figura 4.11 Polígonos de cambio de la forma ( <i>wireframes</i> ) para la comparación de medias por horizonte cultural	123
Figura 4.12 Polígonos de cambio de la forma ( <i>wireframes</i> ) para la comparación de medias por horizonte	125

cultural	
Figura 4.13 Polígonos de cambio de la forma ( <i>wireframes</i> ) para la comparación de medias por horizonte cultural	127
Figura 4.14 Polígonos de cambio en la forma ( <i>wireframes</i> ) para cada raíz canónica por tipo de economía	131
Figura 4.15 Polígonos de cambio de la forma ( <i>wireframes</i> ) para la comparación de medias por tipo de economía	134
Figura 4.16 Polígonos de cambio de la forma ( <i>wireframes</i> ) para la comparación de medias por tipo de economía	136
Figura 4.18 Polígonos del cambio en la forma ( <i>wireframes</i> ) productos del CVA para el análisis del mestizaje	141
Figura 4.19 Polígonos del cambio en la forma ( <i>wireframes</i> ) producto de la comparación por medias para AE y AM	145
Figura 4.20 Polígonos del cambio en la forma ( <i>wireframes</i> ) producto de la comparación por medias para AM y COL	145
Figura 4.21 Polígonos del cambio en la forma ( <i>wireframes</i> ) producto de la comparación por medias para AE y COL	146
Figura 4.22 Polígonos del cambio en la forma ( <i>wireframes</i> ) producto de la comparación por medias para COL y MODMX	146
Figura 4.23 Polígonos del cambio en la forma ( <i>wireframes</i> ) producto de la comparación por medias para MODE y MODMX	146

## Discusiones

Figura 5.1. Fenograma UPGMA de 13 poblaciones 2D norma lateral izquierda para 10 landmarks	153
Figura 5.2 Fenogramas propuestos para la filogenia de las poblaciones estudiadas con diversos métodos de la morfometría	168
Figura 5.3. Principales fenotipos observados en el análisis	173
Figura 5.4. Relación dialéctica entre la filogenia y la ecología, en el marco de la variación total de un carácter en estudio	181
Figura 5.5. Modelos en la interpretación de la historia biológica antigua	192

## Índice de Tablas

### Introducción

Tabla 1.1. <i>Landmarks</i> de la zona calvaria de una rata	24
---	----

### Método

Tabla 3.1. Poblaciones incluida en el estudio, la frecuencia general y la frecuencia por sexos de para cada colección	54
Tabla 3.2. Muestra las frecuencias de cráneos por cada horizonte cultural	54
Tabla 3.3. Frecuencias por estrategia económica	55

Tabla 3.4. Muestra la distribución de las frecuencias por grupos en el análisis de mestizaje.	55
Tabla 3.5. Lista de landmarks digitalizados en los 765 cráneos del estudio	68

## Resultados

Tabla 4.1 Muestra los valores fuera del rango obtenidos mediante <i>MorphoJ</i>	85
Tabla 4.2 Muestra las referencias de los cráneos eliminados de a muestra	88
Tabla 4.3 Clasificaciones del análisis discriminante por sexo	90
Tabla 4.4 Frecuencias por población utilizadas en el MePSSA	95
Tabla 4.5 Valores asociados al CVA. Se reportan los eigenvalores, el porcentaje de varianza explicada y su porcentaje de acumulación	95
Tabla 4.6 Matriz de distancias de Mahalanobis producto del análisis canónico	97
Tabla 4.7 Valor $p$ de significación de la matriz de distancias de Mahalanobis producto del análisis canónico	98
Tabla 4.8 Valores $F_{st}$ mínimo, $F_{stunbiased}$ y error estándar calculados sobre todas las poblaciones y las divisiones por horizontes	100
Tabla 4.9 Resultados del análisis Relethford-Blangero	101
Tabla 4.10 Frecuencias por fase cronológica	104
Tabla 4.11 Eigenvalores, porcentaje de varianza y varianza acumulada producto del CVA por horizontes culturales	104
Tabla 4.12 Matriz de distancias de Mahalanobis por horizontes culturales	108
Tabla 4.13 Matriz de valores de significación $p$ de las distancias de Mahalanobis por horizontes culturales	109
Tabla 4.14. Resultados del análisis Relethford-Blangero por fases culturales	111
Tabla 4.15. Diferencias entre medias por horizontes culturales, el valor $p$ simple y el mismo valor para 1000 permutaciones de las distancias de Mahalanobis	113
Tabla. 4.16 Frecuencias de individuos por tipo de estrategia económica	129
Tabla 4.17 Eigenvalores, porcentaje de varianza y porcentaje acumulado de la varianza producto del análisis canónico de la varianza (CVA)	129
Tabla 4.18 Matriz de valores de las distancias de Mahalanobis para las estrategias económicas y su valor de significación $p$ entre paréntesis	131
Tabla 4.19 Valores de diferencias entre medias por estrategia económica (distancias) y sus tres valores de significación $p$ simple y uno para 1000 permutaciones.	133
Tabla 4.20 Frecuencia por grupos en el análisis de mestizaje.	138
Tabla 4.21 Eigenvalores, porcentaje de varianza explicada por cada raíz canónico y su valor acumulado del análisis de mestizaje.	138
Tabla 4.22 Matriz de distancias de Mahalanobis por clasificación temporal en el análisis del mestizaje.	141
Tabla 4.23 Valor $p$ de significación de la matriz de distancias de Mahalanobis por clasificación temporal en el análisis del mestizaje.	141
Tabla 4.24 Diferencias entre medias por clasificación en el análisis del mestizaje, el valor $p$ simple y el	

mismo valor para 1000 permutaciones de las distancias de Mahalanobis.	144
Tabla 4.25 Valores de la sumatoria de los eigenvectores de cada horizonte, la comparación por periodos, su correspondiente media geométrica de la separación entre los horizontes (t, medido en años BP) y la tasa de microevolución (r)	148

## Discusiones

Tabla 5.1 Resumen de los cambios morfológicos por fase cultural	176
Tabla 5.2 Principales cambios en la forma del cráneo asociado al tipo de estrategia económica	179

## Índice de Gráficas

### Introducción

Gráfica 1.1 Modelo Hardy-Weinberg sobre la genética de poblaciones	12
--	----

### Resultados

Gráficas 4.1 Comportamiento de la distancias cuadráticas de Mahalanobis respecto de su frecuencia acumulada	86
Gráfica 4.2 Histograma de frecuencias de los valores de la desviación media ( <i>average shape</i> ) de la búsqueda de cráneos fuera de rango	87
Gráfica 4.3 Muestra una gráfica de caja de los valores de la desviación a la forma media ( <i>average shape</i> ) que define el punto de corte en un valor de 300	87
Gráfica 4.4 Histogramas de la distribución del sexo	90
Gráfica 4.5 Diagrama de dispersión de los valores ( <i>scores</i> ) canónicos para cada población incluida en el análisis	93
Gráfica 4.6 Diagrama de dispersión de la 1ra y 3ra raíces canónicas para todas las poblaciones incluidas en el estudio	94
Gráfica 4.7 Diagrama de dispersión de la 2da y 3ra raíces canónicas para todas las poblaciones incluidas en el estudio	95
Gráfica 4.8 Fenograma producto de las distancias de Mahalanobis realizado por medio del algoritmo UPGMA	98
Gráfica 4.9 MDS de las distancias de Mahalanobis para las poblaciones incluidas en el estudio	99
Gráfica 4.10 MDS (3D) de las distancias de Mahalanobis que permite una mejor resolución debido a que se grafican sus tres dimensiones	100
Gráfica 4.11 Comportamiento de los valores observados y esperados de la varianza fenotípica entre poblaciones	101
Gráfica 4.12 Muestra el comportamiento de los residuales (observado-esperado) para cada población	102
Gráfica 4.13 Diagrama de dispersión de la 1ra y 2da raíces canónicas de los horizontes culturales	105
Gráfica 4.14 Diagrama de dispersión de la 1ra y 3da raíces canónicas de los horizontes culturales	106

Gráfica 4.15 Diagrama de dispersión de la 2ra y 3da raíces canónicas de los horizontes culturales	107
Gráfica 4.16 Fenograma de las distancias de Mahalanobis de los horizontes culturales basado en el algoritmo UPGMA	109
Gráfica 4.17 MDS de las distancias de Mahalanobis para los horizontes culturales estudiados	110
Gráfica 4.18 MDS (3D) de las distancias de Mahalanobis para los horizontes culturales	111
Gráfica 4.19 Muestra el comportamiento de los valores observados y esperados de la varianza fenotípica entre horizontes culturales del análisis Relethford-Blangero	112
Gráfica 4.20 Muestra el comportamiento de los residuales del análisis Relethford-Blangero	112
Gráfica 4.21 Diagrama de dispersión de la 1ra y 2da raíz canónicas	130
Gráfica 4.22 Fenograma de la matriz de distancias de Mahalanobis para las estrategias económicas analizadas	132
Gráfica 4.23 MDS de la matriz de distancias de Mahalanobis	132
Gráfica 4.24 Diagrama de dispersión de la 1ra y 2da raíces canónicas del análisis de mestizaje	139
Gráfica 4.25 Diagrama de dispersión de la 1da y 3ra raíces canónica de los grupos analizados en el mestizaje	139
Gráfica 4.26 Diagrama de dispersión de la 2da y 3ra raíces canónica de los grupos analizados en el mestizaje	140
Gráfica 4.27 Fenograma UPGMA de las distancias de Mahalanobis de las poblaciones analizadas en el Mestizaje	142
Gráfica 4.28 MDS a partir de las distancias de Mahalanobis	143
Gráfica 4.29 MDS (3D) sobre las distancias de Mahalanobis	143
Gráfica 4.10 Distribución de los valores $r$ (●) en las comparaciones	148

## Discusiones

Gráfica 5.1 Comportamiento del estimador de tamaño ( <i>centroid size</i> ) en las diversas poblaciones estudiadas.	158
Gráfica 5.2. Citas por año acerca de Morfometría Geométrica desde 1976 hasta 2001.	159
Gráfica 5.3. Fenograma UPGMA de la matriz de distancias de Mahalanobis de Martínez-Abadías <i>et al.</i> (2006).	183
Gráfica 5.4. Correlación entre la tasa de evolución y los intervalos de tiempo en el modelo de la estimación del cambio microevolutivo del cráneo.	188

## Resumen

La presente disertación hace una inferencia en el proceso microevolutivo e historia biológica de poblaciones mexicanas antiguas y modernas desde la perspectiva genético-poblacional mediante el estudio de la forma del cráneo (fenotipo). Este trabajo realizó los siguientes cinco análisis sobre los datos: 1) análisis microevolutivo interpoblacional del cambio en la forma del cráneo mediante el fenotipo craneano, 2) análisis de la variación inter fase cultural, 3) análisis de la variación inter estrategia económica, 4) re-evaluación del proceso de mestizaje y el cálculo de un índice microevolutivo de la forma del cráneo a través de 12000 mil años. Se empleó morfometría geométrica, estadística multivariante y modelos de la genética cuantitativa. Por medio de este análisis se tiene la primera inferencia en el proceso microevolutivo del cráneo en México. La distribución de las poblaciones estudiadas son consistentes con el modelo no lineal denominado metapoblacional; es decir, un grupo de poblaciones espacialmente separadas pertenecientes a la misma especie que interactúan recíprocamente en un cierto nivel. Se observa que el grupo Precerámicos (PCE) se discriminan del resto de las poblaciones. El CVA por fases culturales generó cuatro patrones fenotípicos: el ancestral o paleoamericano, el colonial, el prehispánico: PRE, CLA, POS y 4) moderno.

Palabras clave: microevolución, forma craneofacial, craneología, morfometría geométrica.

*Microevolutionary phenotypic skull shape analysis from mexican population: a geometric morphometric approach.*

## **Abstract**

This dissertation deals with the inference in the microevolutionary phenotypic skull shape analysis and the biological history of the archaeological remains and contemporary skulls collections from the genetic-population perspective. This work have five principal analysis: inter population microevolutionary phenotypic skull shape analysis, analysis of phenotypic skull shape variation of inter cultural phases, analysis of phenotypic skull shape variation of inter economic strategy, Re-evaluation of change in the phenotypic skull shape after admixture and, finally, the estimate of the microevolutionary ratio of phenotypic skull shape through 12000 years. We use a geometric morphometric approach, multivariate statistics and quantitative genetics models. Thus, the present research provide a first inference in the microevolutionary change of the skull of Mexico. The distribution of populations are agree with a non-lineal or dissipative model: a metapopulation; It means, a group of spatial separated populations pertaining to the same species that interact reciprocally in a certain level. The Preceramic group (PCE) discriminates itself of the rest of the populations. The CVA by cultural phases generated four phenotypic patterns: the ancestral or paleoamerican, the colonial, the pre-Hispanic: PRE, CLA, POS and the modern (contemporary).

Key words: microevolution, phenotypic skull shape, craniology, geometric morphometric.

El hombre es un animal, cada criterio establecido por las ciencias biológicas confirma este hecho (Fried 1961; 25). Según los parámetros de la *International Code of Zoological Nomenclature* el taxón de nuestra especie, retomando la clasificación Lineana, es *Homo sapiens* (ICZN 2008); es decir, nos encontramos situados taxónomica y filogenéticamente como especies del *phylum* animalia.

Thomas Huxley publicaba en 1863 su libro *Evidences as to man's place in nature*, con el que sentaba la síntesis de las evidencias anatómico-embriológicas existentes entre los humanos y los primates no-humanos denotando las relaciones filogenéticas entre estos taxa (Figura 1.1).

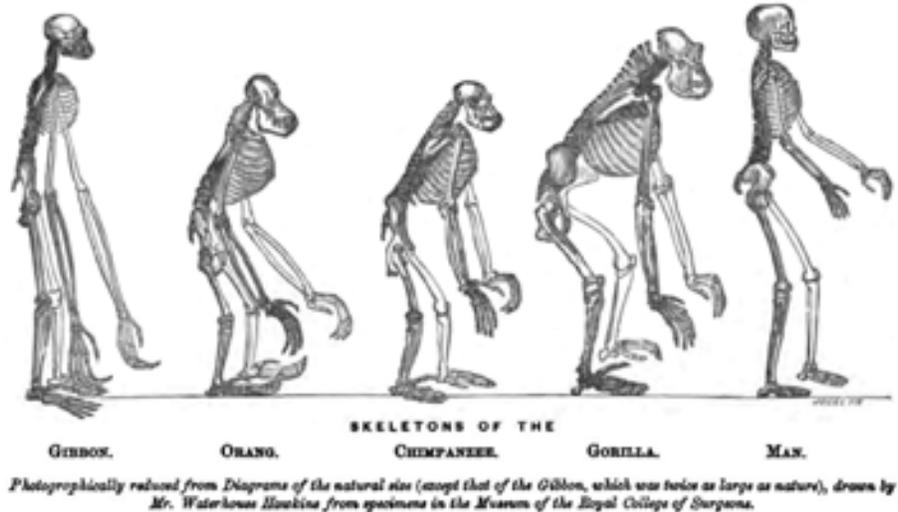


Figura 1.1. Esqueletos de gibbon, orangutan, chimpance, gorila y hombre. Dibujado por Mr. Waterhouse Hawkins. Tomado de Ebook Project Gutenberg: [www.gutenberg.org/files/2931-h/2931-h.htm](http://www.gutenberg.org/files/2931-h/2931-h.htm). Zelmer AE y Widger D producers.

Entonces, al ser parte de la historia biológica de la vida, el hombre puede estudiarse desde la óptica de la teoría evolutiva incluyendo la cultura como parte de los medios adaptativos del mismo para subsistir en un determinado ambiente (tesis materialista). La explicación del diseño, y por tanto la estructura, de los organismos se encuentra entre los triunfos de la teoría de la evolución por selección natural (Freeman y Herron 2002;251) como uno de los procesos más importantes a nivel del cambio evolutivo. Y, teniendo la antropología raíces vitales en la biología, ya que una parte de sus investigadores realizan análisis del hombre

como organismo (Fried 1961;1) y no en la supremacía antropocentrista, fundamentando así un nuevo paradigma sobre el *Homo sapiens*.

En este contexto Beadle (1961; 28) señala que la historia biológica del hombre es producto de dos tipos independientes de evolución que, por conveniencia y simplicidad, las llamamos biológica y cultural; aunque, muchos científicos sociales tienen objeciones al aceptar el concepto de que la cultura es parte de la biología humana por reducir la cultura a algo biológico (Richerson y Boyd 2001; 2); y viceversa cuando se eleva a la cultura a la supremacía del antropocentrismo, reviviendo las concepciones de la *Scala Naturae* aristotélica y situando al hombre en el nivel más alto de la complejidad biológica (Lindberg 1992) y no la visión cladogenética moderna y/o taxonomía evolucionista darwiniana (Figura 1.2).

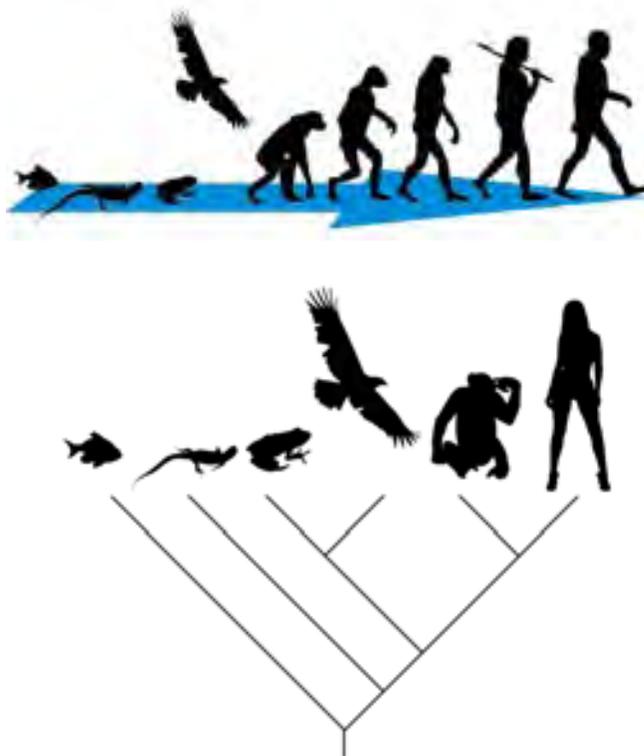


Figura 1.2. Visiones de la concepción del hombre. a) visión evolucionista lamarckista y ortogenisista (*Scala Naturae*) b) visión cladogenetista darwinista (ABAJO). Modificado de Moreno 2003.

Además, hay que citar que tradicionalmente se han optado por cuatro eventos clave en la evolución humana: el origen de la terrestrialidad, el bipedalismo, la encefalización y la cultura (Lewis 2005; 7). El orden de los sucesos (Figura 1.3), es decir la historia biológica, también ha tenido malas interpretaciones y un debate muy amplio el cual se puede analizar en Lewis (2005; 6-9). La perspectiva epistemológica de este análisis reconoce que estos eventos no son hechos separados ni lineales, más bien son un proceso multifactoriales o disipativos. No existe la dualidad biología-cultura, si no la integración dialéctica de las mismas, muchos estudios y ensayos los desarrollan. Por ejemplo, Cavalli-Sforza (2007) integra la propuesta evolutiva al marco de la cultura: la evolución cultural dentro del marco de la genética, la antropología física, la arqueología, la lingüística, entre otras ciencias. Por otro lado tenemos la perspectiva de Richerson y Boyd (2001) que propone que la cultura es parte de la biología humana, como una manifestación adaptativa (sin plantearlo como adaptacionismo, lamarckismo o determinismo biológico o social). Pacho (1995) debate sobre el análisis epistemológico del evolucionismo y permite situar filosóficamente a los autores básicos sobre el tema. Por lo tanto, para nuestro análisis la cultura, como el bipedalismo, la terrestrialidad la reconocemos como una parte de la biología humana, una autapomorfia más de nuestro grupo con todas sus implicaciones epistemológicas adjuntas. Este concepto nos permite agregar el efecto de la cultura a modelos de genética poblacional para proponerla dentro del marco de los rasgos que modifican una norma de reacción fenotípica (Schlichting y Pligliucci 1998).

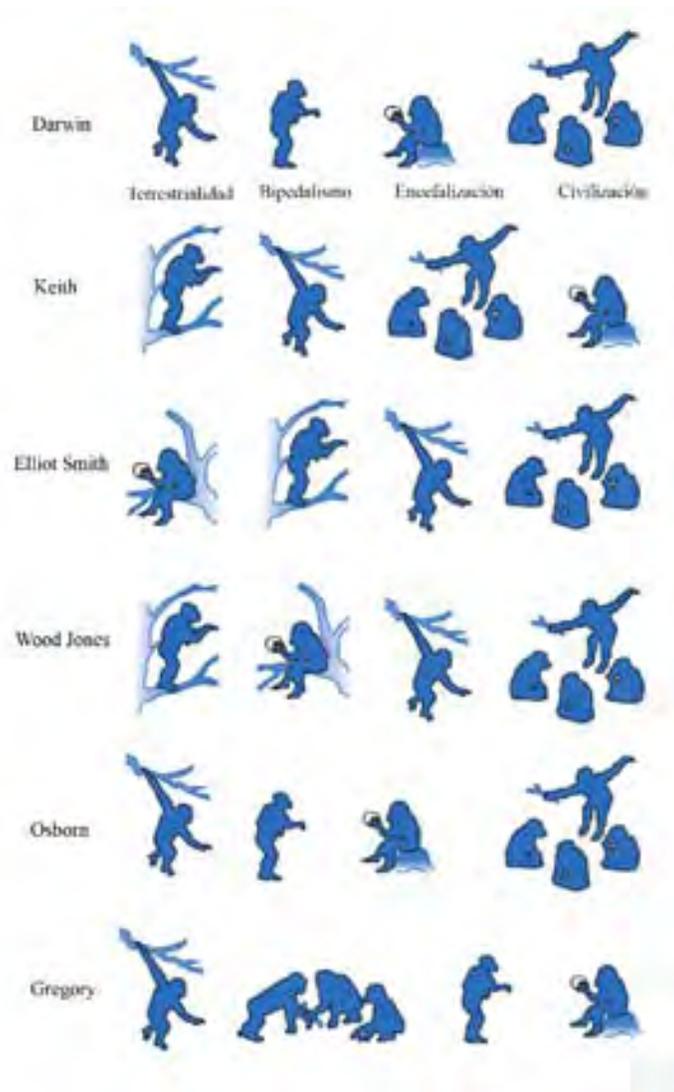


Figura 1.3. Diferentes autores proponen una historia biológica humana distinta entre los caracteres de la terestrialidad, bipedalismo, encefalización y la cultura. Tomado de Lewis 2005 con Copyright de Misa Landau/American Scientist 1984)

Entonces, resta decir que nuestro estudio reconoce el papel de la evolución darwiniana como eje central de los procesos microevolutivos en poblaciones pretéritas y presentes. La reconstrucción de la historia biológica antigua es uno de los principales ejes analíticos de esta tesis.

Así, nuestro estudio toma a la morfología (Anatomía), ciencia de la estructura de los seres vivos, para

proveer las evidencias y conocimientos sobre microevolución humana (Aiello y Dean 1990; 1); retoma la teoría de la evolución fenotípica con sustento en modelos genético-poblacionales para valorar hipótesis culturales y finalmente, mediante el sustento en la arqueología, etnohistoria, antropología, proponer nuevos enfoques sobre las poblaciones humanas del pasado.

Los mayores avances en biología evolutiva en las dos últimas décadas se han producido por medio del estudio de parámetros de rasgos cuantitativos, muchos de los cuales involucran solo álgebra elemental o los más básicos teoremas del cálculo (Lynch y Walsh 1998:16); y en la biológica antropológica queda demostrado un avance sustancial en la comprensión de los fenómenos de variabilidad humana intra e intergrupales (Slice 2005), la heredabilidad de caracteres craneofaciales (Martínez-Abadías *et al.* 2009), entre otros ejemplos.

### **1.1 Planteamiento del problema.**

La historia biológica antigua mexicana ha sido inferida a partir de rasgos arqueológicos como los análisis de estructura poblacional por datos de elementos materiales de la cultura: cerámica, lítica, patrones de construcción, rutas político-económicas, estudios paleobotánicos, entre otros.

En la actualidad la mayoría de los antropólogos físicos estudian al cráneo desde perspectivas no genéticas (González-José *et al* 2005; 1) y ampliamente lineales a pesar del desarrollo de las técnicas de análisis morfogeométricas.

Algunos investigadores han comenzado a proponer nuevas formas de análisis de las poblaciones antiguas. Tradicionalmente, como lo afirman Jaén y López (1974; 115), los restos esqueléticos se concebían como la vía para conocer algunas características físicas de los distintos grupos humanos ya desaparecidos. Sin embargo, en la actualidad este ya es un concepto rebasado, es decir, en la época clásica de la antropología física era un fin en su mismo, hoy es el paso previo a un análisis multivariado y de una complejidad de ópticas diferentes.

Pucciarelli (2008; 24) apunta, hablando de variables clásicas, que “tienen un indudable valor

taxonómico pero escaso valor biológico por lo inespecífico de la información dada, que no pasa de informar si un cráneo es largo y angosto o corto y ancho". A esta misma se agrega la idea de Rohlf y Bookstein (1990; 7) que proponen que unas cuantas medidas lineares simples no son suficientes para la mayoría de los análisis morfométricos, por ello muchos de los métodos nuevos utilizan coordenadas de puntos craneométricos (*landmarks coordinates*). En este sentido, la utilización de la morfometría geométrica en tres dimensiones (3D) permite analizar un mayor conjunto de variables (multivariante) por medio del sentido biológico de la diferencia entre las mismas.

Para situarse históricamente en esta concepción véase Lagunas (2003) y Villanueva y colaboradores (1999). Cabe destacar que mientras la antropología física mexicana realizaba estos estudios de corte tipológico o taxonomista<sup>1</sup>, WW Howells (1973 y 1989) desarrollaba la base de datos craneométrica que vertería el primer análisis multivariante sobre variables continuas en el cráneo. Este hecho nos lleva a pensar en el gran vacío que existe en la antropología física clásica, que ha estancado su análisis en perspectivas taxonómicas clásicas inamovibles, a pesar de que se hayan realizado 398 trabajos de morfología del esqueleto (Villanueva *et al* 1999) las inferencias microevolutivas no eran evaluadas.

De las ideas anteriores surge el problema en estudio, la inferencia de la historia biológica antigua, la cual ha tratado de ser resuelta vía una metodología superada. Luego entonces, los resultados que se han tenido para caracterizaciones poblacionales deben ser reevaluados desde perspectivas multivariantes. Este mismo contexto, se vislumbra poco conocimiento de la dinámica poblacional del México antiguo, sus procesos sociales-económicos que hubieran facilitado el flujo de genes en un tiempo determinado.

En este trabajo de tesis se retoman una serie de conceptos de la biología que se integran desde la perspectiva epistemológica de la teoría general de los sistemas (Bertalanffy 1984), sintetizado con los principios de los sistemas en no equilibrio o disipativos (Prigogine 1993); además de reconocer que los caracteres morfológicos son producto o resultado de la integración morfológica de un sistema poligénico y el ambiente (Olson y Miller 1999).

---

<sup>1</sup> Salvo los trabajos de variabilidad craneana de Arturo Romano Pacheco.

Sabiendo que la biología antropológica, en contraste con perspectivas de otras disciplinas que estudian al hombre, es más afín al estudio concerniente a la variación humana (Fried 1961;27), pretendemos brindar una perspectiva analítica de la evolución de la forma del cráneo a través de la su historia antigua mediante el análisis de colecciones craneológicas desde el nuevo paradigma de la morfometría geométrica.

## **1.2 Fundamento teórico.**

### **1.2.1 Delimitación teórica.**

El presente estudio se circunscribe dentro de la perspectiva de la biología evolutiva en cuanto a la descripción la historia de la vida y los procesos que explican esta historia (Camacho 2003;45); la biología comparada porque estudiamos la diversidad desde una perspectiva histórica (Nelson y Platnick 1981), con el fin de reconstruir los patrones de semejanza que existen en la biodiversidad, tanto en la variedad de las formas como en su distribución geográfica y temporal. Además, supone que a partir de ciertos caracteres es posible inferir relaciones de parentesco entre poblaciones (Espinosa-Organista *et al.* 2005;1). El estudio se sitúa en la biología humana, rama de la Morfología. Asimismo, dentro de la antropología biológica misma que nace de la concepción del concepto variación biológica, en este caso variación humana (Fried 1961;27).

También, es un estudio de corte materialista ya que colige conceptos del materialismo dialéctico (Engels 1975, 1978) y el marxismo en general (Marx 1845), pero bajo el marco de la la teoría general de los sistemas y los sistemas en no equilibrio o disipativos; además adopta análisis de la antropología cultural (Harris *et al.* 1999) en el análisis interpretativos de procesos sociales antiguos; ya que que se basa en la aplicación del método dialéctico de la resolución de contrarios<sup>2</sup> (Pucciarelli 2008; 29) contrastando las tesis genómica, la epigenia, de crecimiento y desarrollo craneal. Esta hipótesis mantiene el criterio de independencia craneofuncional relativa (Washburn y Detwiler 1943; Moss 1961).

---

<sup>2</sup>Para más detalle ver punto 1.2.6 Teoría de los componentes funcionales del cráneo de esta mismo capítulo

### 1.2.2 ¿Porque estudiar el cráneo?

El cráneo, estructura situada por encima de la columna vertebral y sostenida por el atlas, es la parte más elevada del esqueleto, la porción más compleja y un elemento óseo de mucha importancia en la biología antropológica porque brinda información sobre edad, sexo e historia evolutiva (White y Folkens 2000; 45, Testut 1954;119). Por este motivo este estudio toma al cráneo como una estructura que contiene información biológica suficiente para analizar la historia biológica de poblaciones humanas antiguas por medio del análisis de la forma fenotípica. Además muchos estudios previos han mostrado que el cráneo es una estructura viable en el análisis de la variación intra o interpoblacional (Howells 1995, Howells 1989).

Testut (1954;119) propone que el cráneo esta constituido esencialmente por ocho piezas óseas, White y Folkens (2000; 36) definen 22 elementos pareados y 5 elementos únicos. Este trabajo toma los conceptos anatómicos según la *Nomenclatura Anatómica Internacional* (Reyes y Núñez 1998), además de algunas definiciones clásicas de términos craneológicos definidas por White y Folkens (2000;53).

En paleontropología, la variación morfológica del cráneo ha tenido una importante trascendencia (Bastir y Rosas 2004; 231) y nos brinda la bases en el análisis de la variación y /o variabilidad de la morfología del cráneo humano situándonos en la idea de un *bauplan* de la su filogenia. Por ejemplo, cuando se analizan las diferencias entre caracteres del cráneo de un *Homo sapiens* y un *Homo neardenthalensis* existen claras diferencias, como la ausencia de quilla sagital, frente vertical, constricción postorbital leve, occipital redondeado, mandíbula pequeña, dientes relativamente pequeños, esqueleto facial relativamente pequeño y borde supraorbitario no marcado (Lewis 2005; 163). Así, podemos tener una inferencia de los caracteres ancestrales, los derivados compartidos y los caracteres derivados únicos; los cuales detendrán en su análisis. Algunas de estas hipótesis han sido desarrolladas por González-José y colaboradores (2009) y Weaver (2009).

### **1.2.3 El fenotipo y la inferencia genética en poblaciones antiguas.**

Aunque en el estudio osteológico se trabaja con hueso seco, no se puede olvidar que este contuvo tejidos blandos y que la morfología general que encontramos al revisar un entierro es el resultado de la expresión multifactorial de un sistema poligénico y el ambiente ( que incluye todos los rasgos culturales).

Como es bien sabido existen factores ambientales que modelan una proporción de la variabilidad fenotípica en la morfología del cráneo (González José *et al.* 2005; 1). habiendo regiones que tiene mayor plasticidad fenotípica y que en este trabajo intentamos conocer y tomarlos como caracteres filogenéticos del fenotipo en la inferencia de afinidad biológica, variabilidad poblacional inter o intra u otros procesos como la dieta, la plasticidad fenotípica, delimitación de ecovariabilidad, entre otras..

Bruner (2007:1358) define que la variabilidad fenotípica se percibe de diferentes maneras a través de su historia conceptual; sus periodos históricos pueden integrarse en tres transformaciones conceptuales y metodológicas que representan un sola revolución epistemológica. Primero, el análisis de un único carácter fue sustituido por análisis de multicaracter, cambiando de una visión únicamente descriptiva a un análisis mas profundo. Después, el análisis de simples longitudes cambió a un análisis de relaciones espaciales entre diferentes estructuras y, finalmente, el análisis de la variación ha cambiado a un estudio de covarianza de caracteres anatómicos o morfológicos por medio de la integración de estadísticas uni, bi y multivariante. Este hecho representa la primera evidencia de un cambio paradigmático de la antropología física clásica a la moderna.

Entonces, mediante estas definiciones conceptuales, podemos decir que el fenotipo no solo es la suma de caracteres (aditividad) sino un modelo de integración sistémica funcional y estructural; es decir, con la idea de Prigogine en mente, un sistema disipativo; el análisis microevolutivo de la forma del cráneo representa un ejemplo más de los caracteres en no equilibrio ya que tiene una estructura, función e historia (Prigogine 1988; 13).

En esta misma idea, Moss y Young (1960) proponen la craneología funcional para el estudio del

cráneo humano basado en las relaciones estructurales y funcionales entre los diferentes componentes craneales; a lo que bastaría agregar la variable tiempo, la historia.

El cráneo es un objeto formado por estructuras anatómicas agrupadas en una red física, en la cual el resultado final de la morfogénesis (ambas en ontogenia y filogenia) depende de la interacción de fuerzas y constricciones de las diferentes partes que lo integran (Bruner 2007;1359).

El proceso morfogenético está basado en los cambios en el tamaño [*size*] (crecimiento) y los cambios en la forma [*shape*] (desarrollo) de las estructuras anatómicas (Bruner 2007;1359). En nuestro análisis, gracias al desarrollo de la morfometría geométrica podemos <<corregir>> el efecto del tamaño en nuestro análisis.

En términos de interacción física, la morfología craneal es el resultado de presiones y tensiones asociadas con la expansión de órganos (como el cerebro), tejidos conectivos, desplazamientos de hueso e influencias musculares (Bruner 2007;1359).

La investigación craneológica funcional puede ser usada en la experimentación, estudiando la influencia del ambiente físico o fisiológico o de la influencia de los componentes genéticos en modelos animales (Bruner 2007;1359).

Durante la evolución, las presiones selectivas determinan cambios en uno de los componentes (Talla [*size*] o forma [*shape*]) involucra el cambio en el otro; aunque el cambio secundario no necesariamente es adaptativo pero que, por mera coincidencia se ajuste con el sistema estructural (Bruner 2007;1360)

De manera general el sistema craneal está dividido en tres componentes estructurales: la bóveda, la cara y la base (Bruner 2007;1361).

#### **1.2.4 Genética de poblaciones: perspectivas desde los caracteres cuantitativos.**

La evolución es definida como el cambio en las frecuencias genéticas de una generación a otra en una población  $x$  (Futuyama 2005). Sin embargo, gran parte de la variación entre los individuos no da lugar a

diferencias obvias en el fenotipo (Falconer y Mackay 2001;3). Son varios los procesos que afectan las frecuencias génicas y genotípicas en el proceso de transmisión de los genes de una generación a otra. Así, podemos inferir cómo estos procesos afectan por medio de varios métodos: censo de reproductores de la población, diferencias en fecundidad y viabilidad, migración y mutación y sistemas de apareamiento (Ibídem 2001;4-5). Para este estudio el censo de reproductores de la población, la migración y mutación son mejores elementos para evaluar la varianza en los fenotipos a través de caracteres cuantitativos.

Por otro lado, tomamos al Equilibrio Hardy-Weinberg (Gráfica 1.1) como hipótesis nula principal, cabe recordar que el principio retoma la idea de que en una población grande con apareamiento aleatorio (panmixia), sin selección, mutación o migración; las frecuencias génicas y genotípicas permanecen constantes de generación en generación y, además, hay una relación simple entre ambas (Falconer y Mackay 2001; 5).

Gráfica 1.1. Modelo Hardy-Weinberg sobre la genética de poblaciones. Se puede ver la relación hipotética de las frecuencias alélicas en una población sin flujo génico, deriva, endogamia, selección natural y en panmixia.

De manera general, existen dos procesos por medio de los cuales se da un cambio en las frecuencias génicas: los procesos sistemáticos y los dispersivos (Falconer y Mackay 2001; 23). Nuestro análisis se enfoca

en los procesos sistemáticos , que tienden a cambiar la frecuencia génica en una forma predecible tanto en cantidad como en sentido, abarcando tres procesos sistemáticos: la migración, la mutación y la selección (*ibidem* 2001;23).

Para el caso de la migración, nuestro modelo supone que el cambio en la frecuencia génica depende de la cantidad de inmigrantes respecto a los nativos de la población receptora o de la población madre (Falconer y Mackay 2001; 23), según sea el caso del estudio. Luego entonces, la tasa de cambio de frecuencia génica en una población sujeta a inmigración depende de la tasa de inmigración y de la diferencia de frecuencia génica entre inmigrantes y nativos (*ibidem* 2001; 23).

Y en el caso de este estudio se pueden rastrear solo mutaciones no recurrentes en las que la morfología siguiera un cambio genético no permanente en poblaciones grandes (Falconer y Mackay 2001; 24).

La contribución de descendientes a la siguiente generación se denomina eficacia biológica del individuo o valor adaptativo o selectivo, según el caso (Falconer y Mackay 2001;25).

El polimorfismo es la fuente de variación de los caracteres cuantitativos teniendo varias posibles causas: ventaja del heterocigoto, selección dependiente de la frecuencia, ambiente heterogéneo, transición o mutación neutra (Falconer y Mackay 2001;44). Cualquiera de estos procesos puede operar sobre los resultados de nuestro estudio, sobre todo en el caso de la suposición inicial de ambientes heterogéneos (incluyendo cultura), procesos de morfologías en transición, fenotipos atípicos con selección positiva o un mecanismo evolutivo neutro por el bajo coeficiente de selección de caracteres “positivos” y “negativos”, por citar algunos ejemplos.

Falconer y Mackay (2001;103) preguntan ¿cómo puede explicarse que la variación intrínsecamente discontinua causada por la segregación genética se traduzca en la variación continua de los caracteres métricos? , dando dos respuestas: a) la segregación simultánea de muchos genes son efecto sobre el caracter y b) la superposición de una variación realmente continua producida por causas no genéticas; y que dentro de nuestro estudio tienen enorme importancia.

El número de caracteres métricos que podrían estudiarse en cualquier organismo superior es casi infinito. Cualquier atributo que varíe de forma continua y que pueda medirse podría, en principio, ser estudiado como un carácter métrico, tanto si se trata de dimensiones y proporciones anatómicas, como funciones fisiológicas de todo tipo, o cualidades mentales o psicológicas. La condición esencial es que sean mensurables (Falconer y Mackay 2001;105).

Debemos recordar que la técnica de medición impone una limitación práctica a lo que puede estudiarse. Así, en el estudio de los caracteres métricos, es posible hacer uso de las propiedades de la distribución normal (Falconer y Mackay 2001;105).

Hay dos fenómenos genéticos básicos referentes a los caracteres métricos, más o menos comunes: a) el parecido entre los parientes y b) la depresión consanguínea/vigor híbrido o heterosis. Luego entonces, el grado de parecido varía con el carácter, siendo mayor entre unos que en otros. Por otro lado, el parecido entre hijos y padres proporciona las bases para la reproducción selectiva (Falconer y Mackay 2001; 107); que al expresarse de manera integrada en el fenotipo es rastreable mediante técnicas de morfometría geométrica craneofacial.

En otro contexto, sabemos que las migraciones o flujo génico ejercen los mismos efectos en los rasgos cuantitativos que en los caracteres de la herencia sencilla. Por ejemplo, la migración reduce las diferencias entre grupos pero incrementa su varianza interna (Konigsberg 2000). En adición, se sabe que a lo largo de la ontogenia de los individuos, diversos factores como la integración morfológica (Olson y Miller 1958, Marroig y Cheverud 2001, Bookstein et al. 2003), las restricciones ontogénicas y funcionales (Lieberman 1997, Lieberman et al. 2000, Pucciarelli et al. 2000), así como diferentes niveles de plasticidad (Kiliaridis 1995, Wood y Lieberman 2001, Giesen et al. 2003) interactúan durante la formación y el crecimiento del cráneo hasta que se alcanza la expresión final de la morfología adulta.

#### **1.2.5 Plasticidad, evolución e integración fenotípica**

El ambiente tiene un papel determinante e integrador, porque la selección favorece rasgos

funcionales asociados, los que evolucionarán como una unidad coordinada (Cheverud 1995).

La complejidad de estos mecanismos dificulta la exploración del resultado fenotípico básico que se esperaría bajo el efecto de un determinado agente microevolutivo, como el flujo génico (Chakraborty 1990).

Entonces sabiendo que, el valor observado cuando se mide un carácter en un individuo es el valor fenotípico de dicho individuo (Falconer y Mackay 2001;111). La primera división de este valor es en componentes atribuibles a la influencia del genotipo (valor genotípico), el ambiente (desviación ambiental) (íbidem 2001;111) y su relación el crecimiento (Pligiucci 2001;1).

Así, tenemos muchos modelos y/o hipótesis de las funciones de la relación fenotipo-genotipo (Pligiucci 2001;4). a) el sistema mendeliano simple, b) el modelo genético cuantitativo (incluida la pleiotropía), c) un modelo que incluye la plasticidad fenotípica en donde un genotipo produce diferentes respuestas en dos ambientes diferentes y d) un modelo más integrador, que muestra que la interacción genotipo-ambiente esta mediada indirectamente por los efectos epigenéticos durante el desarrollo.

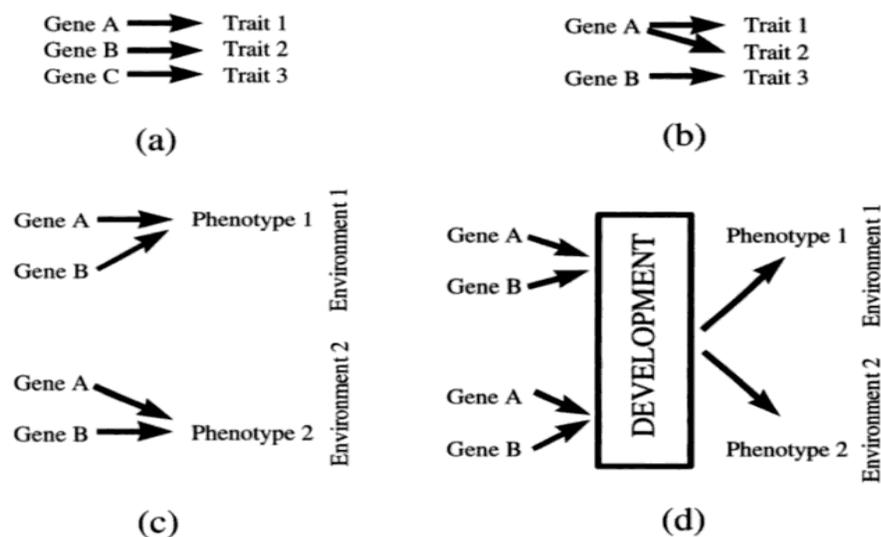


Figura 1.4. Modelos de la relación genotipo-fenotipo (Tomado de Pligiucci 2001;4).

En este estudio se toma la idea del efecto medio (Falconer y Mackay 2001;115), que se emplea para deducir las propiedades de una población en conexión con su estructura familiar, pero en el presente se emplea en relación a las poblaciones; es decir, como una población “transmite” un valor a otra o viceversa según su historia biológica. Este proceso tiene un principio básico sobre la variabilidad génica: los padres pasan a la siguiente generación sus genes y no sus genotipos, y estos últimos se crean de nuevo en cada generación (*ibidem* 2001;115).

La genética de un carácter métrico es el estudio de su variación, ya que es en términos de ésta como se formulan las preguntas genéticas fundamentales (Falconer y Mackay 2001; 125). Así, la magnitud relativa de estos componentes determina las propiedades genéticas de la población (*ibidem*).

Debemos aclarar que la partición de la varianza en los componentes genotípico y ambiental no conlleva un mayor entendimiento de las propiedades genéticas de una población y, en particular, no revela las causas de parecido entre poblaciones. Por este motivo la varianza genotípica debe dividirse a su vez, según la partición del valor genotípico mejorante, desviación dominante e interacción epistática.

Además, sabemos que durante el desarrollo son establecidos patrones morfológicos (Aranda 1997;11) entonces la expresión del fenotipo es el resultado de la acción integradora del ambiente (Cheverud 1995) y a la genética bajo la idea de una norma de reacción (Pigliucci 2001) e integración morfológica (Olson y Miller 1958).

Entonces, como la plasticidad es una propiedad de un genotipo que toma sentido solo a través de una serie de ambientes; es calculada desde una norma de reacción (Figura 1.5), que por si misma esta empíricamente determinada por la estimación de una serie de medias ambientales (Pigliucci 2001;7).

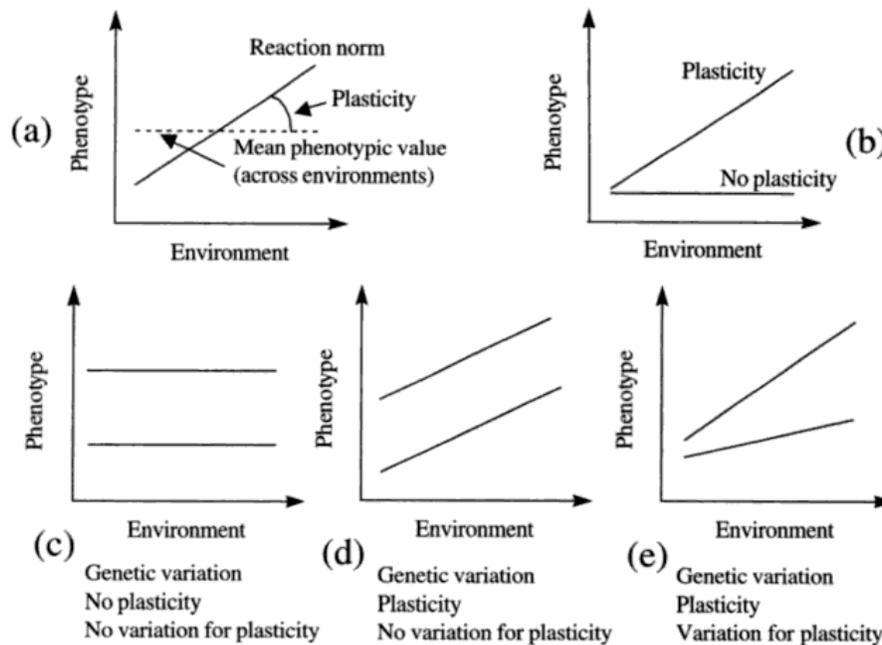


Figura 1.5. Propiedades fundamentales de las normas de reacción genética: plasticidad (pendiente) y altura (a través de la media ambiental). a y b) relación entre la plasticidad y la norma de reacción que evidencia que no son sinónimos, c y e) independencia de los conceptos de variación genética, plasticidad y variación genética por plasticidad (Tomado de Pliglucci 2001; 6).

### 1.2.6 La teoría de los componentes funcionales del cráneo

La teoría de los componentes funcionales del cráneo permite integrar la relación existente entre la estructura, función y presiones ambientales (Dressino y Lamas 2003; 101) e historia (tiempo) lo cual ya he sustentado. Y se define por medio de dos paradigmas principales: a) el cráneo de los mamíferos se manifiesta como un biosólido estructurado en dos componentes estables, cráneo y mandíbula, sólo al final del periodo de crecimiento; y, b) la factibilidad de estudio del comportamiento craneofacial durante el crecimiento vía metodología experimental (Pucciarelli 2008; 28)

La hipótesis principal desarrollada por Van Der Klaauw dice que el cráneo consiste de un número de partes funcionales relativamente separadas, que difieren en tamaño, posición y agrupamiento (Van Der Klaauw 1945;16, 1948;1), esta tesis tenemos que agregar la idea dialéctica de la relación de las partes funcionales o módulos. Moss y Young (1960) adaptan la teoría craneofuncional clásica a la especie humana.

Dentro de la teoría craneofuncional retomamos una de las hipótesis auxiliares que sirve como otro concepto dentro del planteamiento de nuestro trabajo:

En el cráneo se pueden distinguir tres tipos de componentes funcionales: a) aquellos con tamaño y forma prácticamente individual; b) componentes cuyo tamaño y forma están influidos por el medio; c) componentes sin tamaño ni forma definidos (Klaauw 1948;2). Así, podemos delimitar nuestros resultados y discusión en función del modelo estadístico aplicado al análisis; ya que, aunque los componentes tiene una estrecha relación topográfica entre componentes, las ecuaciones que describen sus respectivas formas de crecimiento no son las mismas, evocando así variaciones diferenciales que constituyen la verdadera interdependencia de componentes (Pucciarelli 2008;29).

Luego entonces, un componente funcional (CF) puede ser entendido como un complejo necesario para llevar a cabo una función y el conjunto de unidades morfológicas integradas para la realización de dicha función según Dressino y Lamas (2003; 104) se define como:

Un elemento  $k$  compuesto de unidades funcionales  $u$  perteneciente a un cráneo  $c$  es un componente funcional con relación a alguna función general  $f$  en el tiempo  $t$ , si y sólo si,

- (i)  $k$  es un conjunto de  $u$ , y
- (ii)  $k$  cumple una función general  $f$  en  $c$  en  $t$ .

teniendo así expuestas las relaciones de estructura, función y tiempo (o estados ontogenéticos) en que ocurren dichas relaciones (Dressino y Lamas 2003; 104); aunque en nuestro trabajo solo se evalúa un estadio ontogenético y este es el estado adulto.

El modelo de Van Der Klaauw integra la forma y el tamaño como unidades craneanas funcionales (UCF, y que en la morfometría geométrica pueden ser evaluadas en conjunto o por separado) postulando la siguiente hipótesis auxiliar:

“La combinación de unidades funcionales en una estructura morfológica global, está determinada por numerosos factores como el tamaño relativo y su forma” (Van Der Klaauw 1945;35).

Dressino y Lamas (2003; 104) discuten que Van Der Klaauw integra el concepto de unidad funcional (UF) pero no la define, por lo que proponen la siguiente definición:

Un elemento  $u$  de un componente funcional  $k$  perteneciente a un cráneo  $c$  es una unidad funcional en relación a alguna estructura morfológica  $m$  en el tiempo  $t$ , si y sólo si,

- (i)  $u$  cumple una función determinada en  $k$  de  $c$  en relación a  $m$  en  $t$ , y
- (ii)  $u$  es relativamente independiente de otros  $u$ .

Van Der Klaw define algunas unidades funcionales, sin embargo afirma que éstas son variables de acuerdo a los objetivos del investigador (Van Der Klaauw 1945;31), de este punto resulta, que en nuestra metodología se describa cada un de las unidades configurada para nuestro estudio y sus dependencia relativa.

En adición, la disposición jerárquica de componentes permite que un componente mayor (e.g. esplagnocráneo) pueda ser descompuesto en componentes respiratorio y a su vez, en turbinales, olfatorios, etc (Pucciarelli 2008;29).

Por otro lado Van Der Klaaw discute los aspectos del tamaño (size) en dos aspectos: tamaño absoluto y relativo generando dos hipótesis que dicen:

En especies homonéuricas<sup>3</sup>, si el cuerpo aumenta de tamaño, el cráneo facial no participa de la reducción relativa de la cápsula cerebral” (Klaauw 1948;79).

Y:

En especies heteronéuricas<sup>4</sup>, cuando el peso corporal es el mismo entre animales relacionados o entre animales que poseen el mismo plan morfológico, si poseen un alto coeficiente de encefalización, entonces tendrán una cápsula cerebral mayor y un esqueleto facial menor. (Van Der Klaauw 1948;80).

Los músculos afectan la superficie, el grosor y la estructura del cráneo, en relación con las líneas de tensión en los puntos de inserción (Klaauw, 1952, p. 369).

Todo estos planteamientos nos ayudarán a construir discusiones anatomofuncionales de las relaciones

<sup>3</sup>Término acuñado por Dubois para referirse a especies que poseen el mismo coeficiente de encefalización. Dichas especies generalmente pertenecen al mismo género o familia (Dressino y Lamas 2003; 106).

<sup>4</sup> Término generado por Dubois para especies con distinto coeficiente de encefalización (Dressino y Lamas 2003; 106).

entre las poblaciones estudiadas y generar conclusiones con significación biológica.

### **1.2.7 La hipótesis de matriz funcional (FMH).**

Moss y Young (1960) dicen que la adopción de una aproximación craneofuncional a la craneología, daría una base más sólida a la interpretación del material craneológico. Por ello éstos mismos autores propusieron la FMH, que se basa en la aplicación del método dialéctico de la resolución de contrarios (Pucciarelli 2008; 29) contrastando las tesis genómica, la epigénica, de crecimiento y desarrollo craneal. Esta hipótesis mantiene el criterio de independencia craneofuncional relativa (Washburn y Detwiler 1943; Moss 1961). Luego entonces, los componentes funcionales pueden modificarse por diferentes factores de agresión ambiental. Esta hipótesis forma parte esencial de nuestras perspectivas de análisis. Además debemos agregar la propuesta de la variación de esta matriz mediante el uso de la técnica morfométrica basada en puntos craneométricos (*landmarks*<sup>5</sup>). Richtsmeier y colaboradores (2005) proponen tres modelos de perturbación en los análisis de variación: 1) variación local independiente, 2) módulos independientes y 3) módulos codependientes. En el cráneo, según el *landmark* utilizado estos tres modelos pueden explicar varios fenómenos y si estos se relacionan con la base anatomofuncional podemos tener conclusiones más acercadas a la integración de conceptos y no solo la vía taxonomista, lineal o clásica que hasta hace unos años dominaba la antropología física.

### **1.2.8 Aspectos Biogeográficos.**

La biogeografía es la disciplina que estudia la distribución de los seres vivos, tanto en el tiempo como en el espacio, considerando también los procesos que dieron lugar a dicha distribución. Básicamente esta disciplina presenta dos vertientes: la biogeografía histórica y la biogeografía ecológica (Morrone *et al.* 1996). Dentro de la biogeografía histórica contemporánea existen tres enfoques para explicar la distribución de los seres vivos, a saber: el dispersalismo, la panbiogeografía y la biogeografía cladística (Contreras *et al.* 2001). En un sentido amplio, el término dispersión implica el proceso mediante el cual un organismo es capaz

<sup>5</sup> A lo largo de este texto se utilizara el anglicismo *landmark* o *landmarks* para referirse a los puntos craneométricos clásicos descritos en los textos de antropología física. Que por no tener una traducción adecuada se optó por tomar el término en el inglés.

de propagarse desde su lugar de origen hacia otro sitio (Udvardy 1969). Luego entonces, la biogeografía nos ayuda a fundamentar procesos como la vicarianza asociados a reemplazos (discontinuidad) o continuidades poblacionales. La vagilidad (capacidad de dispersión) de un pueblo esta íntimamente relacionada con el flujo génico. Además, que las relaciones económico-políticas de la antigüedad en relación a la distancia geográfica son factores codeterminantes en la historia biológica de México antiguo.

Nuestro fundamento recae en la panbiogeografía que integra la visión global de las distribuciones de una o varias especies. Además considera que las distribuciones de los *taxa* (en este caso el humano) evolucionan (micro para este estudio) en dos etapas: a) cuando los factores climáticos y geográficos son favorables, los individuos se hallan en un estado de <<movilidad>>, expandiendo su área de distribución geográfica de manera activa; y, b) cuando han ocupado todo el espacio geográfico o ecológico disponible, su distribución se estabiliza, permitiendo el aislamiento espacial de las poblaciones en distintos sectores del área mediante barreras y por consecuencia se diferencian los *taxa* (Grehan 1988). La frase la biota y la tierra evolucionan juntas es un fundamento base de nuestro estudio (Croizat 1952, 1958, 1964)

### **1.2.9 Introducción a la morfometría geométrica.**

Richtsmeier y colaboradores (2002;64) apuntan que antes del establecimiento como ciencia de la estadística moderna los estudiantes de biología observaban formas y registraban observaciones métricas, en un intento por entender la manera de la cual las formas biológicas variaron a partir de la una otra, para establecer la correspondencia entre la forma y la función, y cuantificar la descripción de los rasgos característicos usados en la identificación de la especie. Nuestro trabajo retoma algunos ejes teóricos de la morfometría tradicional, reintegrando a la estadística moderna multivariante y la morfometría geométrica. En esta sección se describen los conceptos, modelos y aplicaciones de la morfometría geométrica (MG) que es la base principal de este análisis.

Bookstein (1982), considerado el padre de la MG, la define como la unión -agregaría dialéctica-, entre la geometría y la biología, ocupándose del estudio de la forma en dos o tres dimensiones (Richtsmeier *et*

al. 2002;64).

Existen ventajas entorno a la utilización de este métodos de análisis que lo podemos resumir en la Figura 1.6; donde se ve que al pasar por el método MG la forma (*shape*) de un individuo (a) se mantiene a través de la configuración que elige el investigador (d), sin embargo en la morfometría clásica se pierde la información biológica de la forma (b, c)

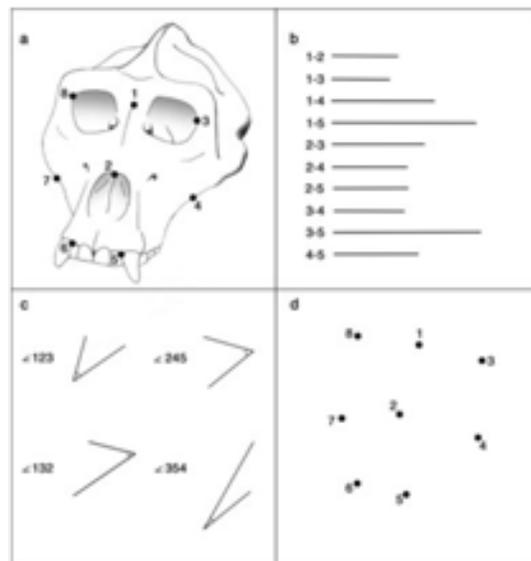


Figura 1.6. La MG permite que la configuración inicial planteada por un protocolo de medición conserve la forma del objeto en estudio (d). A diferencia de las antiguas concepciones de análisis donde se pierde la información biológica de la forma del individuos (b, c). (Tomado de Richtsmeier *et al.* 2002; ).

Los datos procedentes de la morfometría clásica pueden correlacionarse con dos figuras, radicalmente diferentes, por ello se dice que se pierde la información biológica de la forma (Figura 1.7).

Figura 1.7. Las distancias lineales pueden pertenecer a dos formas (*shapes*) diferentes (a y b), por lo tanto, la superposición de éstas dos formas las correlacionaría:  $x + x^1 = x + x^1$ . En MG, no, porque el contenido de la forma se preserva (c); entonces mediante la configuración de landmarks (grises) el modelo clásico es sustituido ya que:  $x + x^1 \neq x + x^1$ .

Bookstein (1991;2-4) define cuatro principios que sustentan teórica y metodológicamente a la MG. El primero es la localización de *landmark* (*landmarks locations*), es decir puntos en un plano cartesiano (2 o 3D). Los *landmarks* son localizaciones precisas en las formas biológicas que toma alguna significación funcional, de crecimiento, estructura o evolución (Richtsmeier *et al.* 2002;65).

El segundo principio son las coordenadas de forma (*shape coordinates*) que son múltiples vectores que reducen la localización de las configuraciones de *landmarks* de las medidas de la forma, así los *landmarks* representan la forma independientemente de tamaño (*size*). Los siguientes principios son cuestiones metodológicas y Bookstein las define como la forma de las preguntas y la forma de las respuestas y se desarrollan en el marco del carácter de investigación para lo cual empleamos la MG.

Richtsmeier y cols. (2002;65) lo definen como la aplicación de métodos cuantitativos a conjuntos de datos biológicos obtenidos con dos propósitos: 1) generación de hipótesis (exploración de datos) y confirmación de hipótesis (contraste de hipótesis clásico).

#### **1.2.9.1 Coordenadas en el espacio o *landmarks***

Un *landmark* es un punto en dos o tres espacios dimensionales que corresponde con la posición de una característica en particular en un objeto de interés (Lele y Ritsmeier 2001; 19) y que tiene correspondencia entre y dentro de las poblaciones (Dryden y Mardia 1998; 3); es decir, que son puntos que corresponden en su derivación biológica es decir son homólogos (Jardine 1969)

Bookstein (1991;63) define que hay tres tipos de puntos en el espacio o *landmarks*: Tipo 1 juxtaposición discreta de tejidos, Tipo 2 máxima curvatura u otro proceso morfogenético local y Tipo 3 puntos externos (Tabla 1).

Nombre	Numero	Tipo	Definición
Basion	1	2	Extremo ventral del foramen magnum ( extremo del hueso basioccipital en en plano medio)
Opisthion	2	2	Extremo dorsal del foramen magnum (extremo del hueso supraoccipital en el plano medio)
Sutura interparietal	3	1	Sutura interparietal-supraoccipital cuando esta cruza el plano medio
Lambda	4	1	Sutura parietal-interarietal cuando ésta cruza por el plano medio
Bregma	5	1	Sutura frontoparietal (coronal) cuando ésta cruza la línea media.
Sincondrosis esfeno-etmoides	6	3	“Mitad” del del hueco entre la placa cribiforme del hueso etmoideo y el hueso presfenoidal delante del ejedel preesfenoifes.
Sutura inter esfenoidal	7	2	“Mitad” de la sincondrosis presfenoidal-basiesfenoidalen el plano medio
Sincondrosis esfeno-occipital	8	2	“Mitad” de la sincondrosis basiesfenoidal-basioccipital en el plano medio

Tabla 1.1. *Landmarks* de la zona calvaria de una rata. Ejemplo de los tipos de *landmarks* definidos por Bookstein (1991;67).

Lele y Ritsmeier (2001; 19-24) definen tres tipos de *landmarks*: 1) *landmarks* tradicionales, 2) *fuzzy landmarks* y 3) *landmarks* contruidos. Finalmente, Dryden y Mardia (1998;3-9) definen tres tipos de *landmarks*: 1) anatómicos, 2) matemáticos y 3) pseudo-*landmarks*.

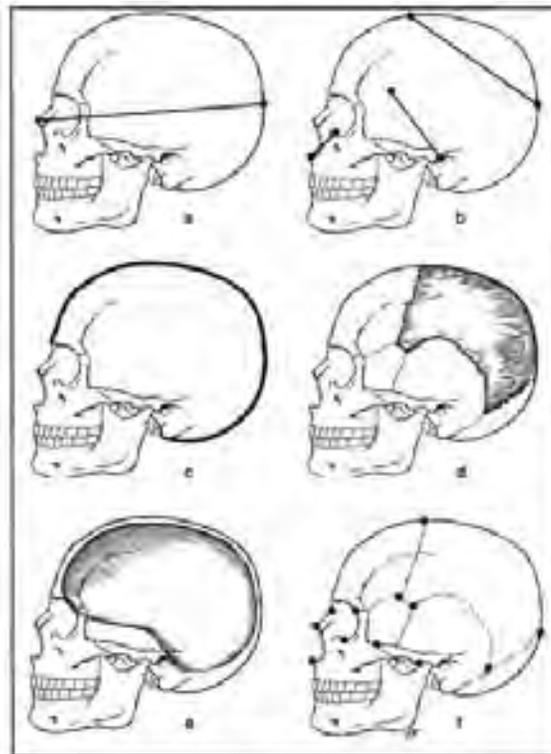


Figura 1.8. Varios tipos de *landmarks* usados en el análisis morfométrico. a) medida simple lineal, b) conjunto de medidas lineales, c) curvatura externa del neurocráneo (como distancia), d) la superficie del hueso parietal (como área), e) el tamaño del interior del neurocráneo (en volumen) y e) la forma del cráneo medida por medio de un conjunto de *landmarks* en tres dimensiones (Tomado de Lele y Richtsmeier 2001; 16).

La configuración es el conjunto de *landmarks* de un objeto en particular. La matriz de configuración  $X$  es la  $k \times m$  matriz de coordenadas cartesianas de los  $k$  *landmarks* en  $m$  dimensiones. El espacio de configuración es el espacio de todas las posibles coordenadas de *landmarks* (Dryden y Mardia 1998; 23).

Entonces, tenemos:  $k \geq 3$  *landmarks* en  $m=2$  o  $m=3$  dimensiones y el espacio de configuración es típicamente  $\mathbb{R}^{km}$ .

#### 1.9.1.2 Forma (*shape*), tamaño (*size*) y forma<sup>bis</sup> (*form*).

La forma (*shape*) (Figura 1.9) son las propiedades geométricas de un objeto que son invariantes a la localización, escala y orientación (Slice 2005; 6).

La forma<sup>bis</sup> (*form*) de un objeto es la característica que sigue siendo invariante bajo cualquier translación, rotación o reflexión del objeto (Lele y Ritsmeier 2001;73).

El tamaño (*size*) es removido de la configuración de *landmarks*, sin embargo puede ser estudiado por separado. Considerando  $X$  como una  $k \times m$  matriz de coordenadas cartesianas de  $k$  *landmarks* en  $m$  dimensiones reales. La medición del tamaño  $g(X)$  es cualquier función con valores reales positivos de la matriz de configuración tales que,  $g(aX) = ag(X)$ , para cualquier positivo escalar  $a$ .

Luego entonces, el *centroid size* es la raíz cuadrada de las distancias euclidianas de cada *landmark* hacia el centroide (1) (Dryden y Mardia 1998; 24) y representa la medida geométrica más utilizada en el análisis geométrico de la forma (*shape*) (Bookstein 1991, Kendall 1984, Goodall 1991 y Dryden y Mardia 1992). Para entender más la idea de éstos conceptos agregamos la comparación gráfica de Richtsmeier y cols. (2002; fig 2 p. 67).

$$CS(X) = \sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m (x_{ij} - c_j)^2} \quad (1)$$

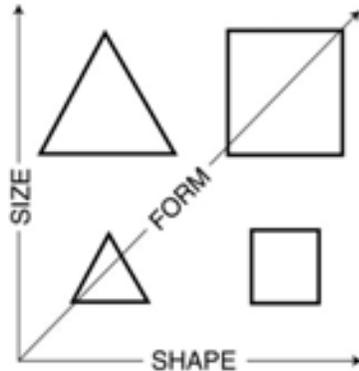


Figura 1.9. El cambio en la forma<sup>bis</sup> (*FORM*) es el resultado de la combinación del cambio en el tamaño (*SIZE*) y la forma (*SHAPE*). Los términos *SIZE* y *SHAPE* tienen varias definiciones y son problemáticos cuando se analiza el cambio en la forma (*FORM*) (ver Corruccini 1995) (modificado de Richtsmeier *et al* 2002).

### 1.2.9.3 Espacios morfogeométricos.

Diversos investigadores han desarrollado espacios *manifolds* que permitieran transformar los datos para ser analizados (Moser 1939, Gower 1975, Sneath 1967, Cole 1996, Bookstein 1998, Goodall 1991, Small 1996, Dryden y Mardia 1998) como la forma (*shape*) independientemente del tamaño (*size*) y la forma (*form*). Este paso a los espacios morfogeométricos, se describe por tres pasos de manera general: 1) traslación teniendo a los *landmarks* centrados a su centroide, 2) *size and shape* y 3) *shape* (Figura 1.10). El desarrollo matemático se encuentra en Dryden y Mardia (1998), Lele y Richtsmeier (2001), Bookstein (1991), Slice (2005), Zelditch *et al.* (2004).



Figura 1.10. Interrelación de los espacios morfogeométricos en el proceso de ajuste, donde se finaliza con la forma (*shape*) sin los efectos de traslación, rotación, escala y espejo.

#### 1.2.9.4. Métodos de Ajuste por Procrustes (GPM)

Se trata de métodos de superimposición (Figura 1.11) utilizando matrices ortogonales que hacen coincidir las configuraciones con transformaciones de similitud hasta hacer que las distancias euclideas sean mínimas según el criterio de mínimos cuadrados (Dryden y Mardia 1998; 83-84).

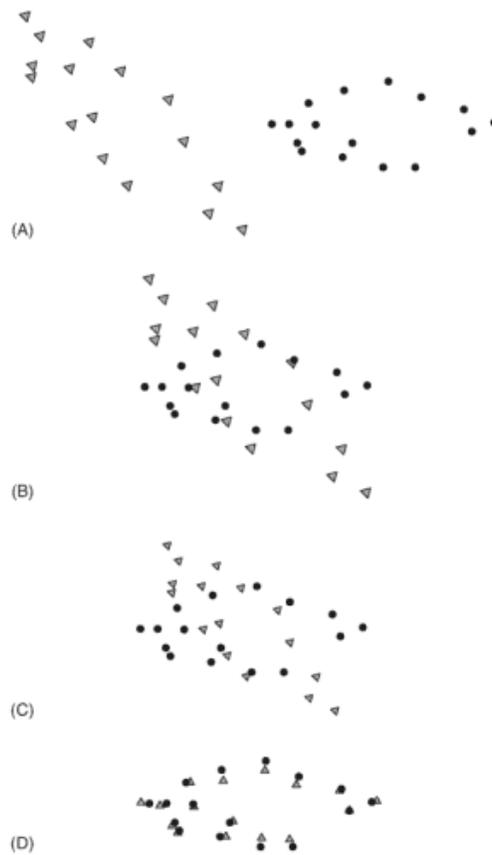


Figura 1.11. Diferentes pasos del ajuste por Procrustes. A) dos configuraciones originales, B) después de remover las diferencias en localización (translación), C) después de remover las diferencias de escala (escalamiento) y D) después de remover las diferencias en orientación, dejando solamente las diferencias en la forma (*shape*) (Tomado de Zelditch *et al* 2004: 12).

El método sigue varios pasos estandarizados, primero el centroide de cada configuración es trasladado al origen (Figura 1.11-B) y las configuraciones son escaladas a una unidad de tamaño común

(Figura 1.11-C), esto se hace dividiendo cada configuración de *landmarks* por su *centroid size* (Bookstein 1986, Dryden y Mardia 1998). Luego las configuraciones de *landmarks* son rotadas (Figura 1.11-D) hasta minimizar las diferencias al cuadrado entre los *landmarks* correspondientes (Rohlf y Slice 1990).

El ajuste completo de Procrustes (*full Procrustes fit*) estima la forma media que corresponde a la media aritmética de los ajustes de Procrustes y proyecta los datos en el espacio tangente por una proyección ortogonal (Dryden and Mardia 1998; Figura 14). El ajuste completo de Procrustes da menos peso a las observaciones que están lejos de la dimensión de una variable media y, por lo tanto, éstas serán más robustas contra la influencia de individuos fuera de rango (Klingenberg 2008). Una vez pasado este ajuste los datos están listos para ir al análisis multivariante.

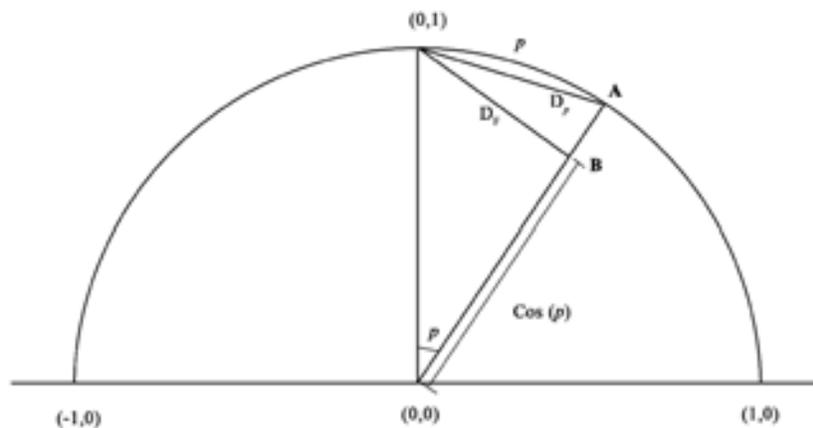


Figura 1.12. Espacio alineado a la unidad del *centroid size*. Se muestra la relación entre las distancias y la forma referencia (en 0,1) y A. El semicírculo es una sección transversal del espacio donde el radio es 1. La longitud del arco es la distancia de procrustes (*partial Procrustes distance*) ( $p$ ), la longitud de la cuerda es la distancia parcial de Procrustes ( $D_p$ ) y la distancia más corta posible (obtenida por el alargamiento de una línea ortogonal al *centroid size* produciendo la configuración B) es la distancia total de Procrustes (*full Procrustes distance*) ( $D_f$ )

En la transformación de espacios, debido a las características de los modelos matemáticos utilizados se pierden dimensiones en función del modelo (Small 1996):

$$\frac{M(M-1)}{3} \quad (2)$$

Donde M es el número de coordenadas de *landmarks* y el denominador cambia de acuerdo a las dimensiones que se utilice en el análisis.

#### **1.2.9.5 Morfometría multivariada**

El concepto morfometría multivariada (*multivariate morphometrics*) fue introducido por Blackith y Reyment (1971) los cuales proponen que la aplicación rutinaria y/o protocolaria de métodos estandarizados de análisis multivariado de datos (análisis canónico, componentes principales, etc), para medidas estándares en organismos; y que posteriormente se reconoció la importancia de los mismos análisis en el estudio de las formas biológicas (Reyment *et al.* 1984 citado en Elewa 2004; 1).

Consideramos como ejes teóricos los trabajos de Fisher (1930), Wright (1932), Kendall (1984) Bookstein (1991), Dryden y Mardia (1998).

### **1.3 Hipótesis generales de la tesis.**

1. Las poblaciones con historias biológicas afines, sabiendo que la eficacia del intercambio de genes depende de la estructura de las poblaciones (emigrante y receptora) y, más específicamente, de la cantidad de migración y de la magnitud de la diferencia en frecuencias génicas entre las dos poblaciones (Cabrero y Camacho 2003), tendrán valores de similitud en las distancias biológicas analizadas. Lo anterior bajo la idea de una relación espacio-temporal.
2. Las poblaciones a estudiar deben comportarse como sistemas cerrados apegados a lo predicho por el equilibrio Hardy-Weiberg (1908) donde no hay migración (flujo genético), mutaciones o selección natural. Así estos mostraran un aislamiento tal que su diferenciación o discriminación será total.
3. Los hábitos, estrategias, climas y movimientos poblacionales en los diferentes horizontes culturales antiguos influyen en las diferencias morfológicas; asimismo, sabiendo que los datos biológicos pueden complementar las evidencias culturales de interacción entre poblaciones (Ubelaker 2003;153); deberán existir cambios importantes entre los diferentes horizontes culturales mexicanas: precerámico, preclásico, clásico, postclásico, colonial y moderno.
4. La conquista de México por la corona española es uno de los procesos biológicos más importantes de la historia biológica antigua, dado el aislamiento poblacional vicariante que hubo, por este motivo se espera exista un componente morfológico de las poblaciones ancestrales españolas en las fases coloniales y modernas mexicanas. Dejando, por las limitantes de la muestra, a otros integradores del proceso como lo son las poblaciones africanas y asiáticas.
5. Debido a que las estrategias económicas se generalizan en una población determinada, sobre todo en las épocas antiguas, tendríamos que esperar que si las relaciones socioeconómicas sean constantes (espacio-temporalmente) deberán estar relacionadas con la tasa de flujo génico entre poblaciones.

#### **1.4.Objetivos generales.**

El propósito más general es averiguar cómo las propiedades observables y mensurables de la población están determinadas por las propiedades de los genes implicados y por las diferencias circunstancias no genéticas (y también evaluadas en este estudio vía plasticidad fenotípica) que pueden influir en un carácter métrico (Falconer y Mackay 2001;108).

- 1) Filo-fenogenia. Conocer las relaciones filofenotípicas de diversas poblaciones en sentido: geográfico y temporal; es decir, se evaluará el cambio fenotípico a través de la unidad del tiempo.
- 2) Análisis microevolutivo del cráneo en México. Conocer como ha microevolucionado el cráneo desde las fases precerámicas hasta la modernidad y el cambio particular en cada fase y horizonte cultural
- 3) Reevaluación del Mestizaje. Verificaremos, con la inclusión de muchos más cráneos, la hipótesis de mestizaje realizada por la Dra. Neus Martínez-Abadías.

#### **1.4.1.Objetivos particulares.**

- 1) Estandarizar las muestras de las poblaciones que se medirán para adaptarlas a las colecciones ya medidas por el autor y realizar las pruebas protocolarias para validar cada caso de estudio.
- 2) Determinar si existió flujo genético entre poblaciones por medio de modelos de biodistancia. Ampliando la visión filofenotípica de cada población involucrada.
- 3) Estudiar, los componentes funcionales del cráneo para definir y/o regionalizar los cambios fenotípicos en las poblaciones antiguas, coloniales y modernas. Para así definir caracteres únicos derivados.

## 2.1 Breves descripciones de las poblaciones utilizadas en este estudio

A continuación se presenta una breve descripción sobre las poblaciones incluidas en el estudio con la finalidad de situar su contexto. Se presentan un bosquejo de su contexto, cronología, estudios de antropología física, ecología de la zona donde habitaron y economía de la misma.

Algunas de las descripciones de las poblaciones se presentan más extensas porque incluyen una descripción de la ecología donde subsistieron. Por ejemplo, la mayoría de poblaciones están ubicadas en el Altiplano Mexicano, concretamente en la región de la cuenca de México. Así que, se decidió incluir sólo una descripción para no duplicar información en el contenido. Asimismo, para el caso de los mapas o figuras, que pueden resultar muy redundantes, por mismo problema.

De esta manera tenemos que existe una serie de conceptos que son tratados, la extensión de los estudios realizados es muy alto y se requeriría una tesis sólo para delimitar los ejes de antecedentes de las culturas mexicanas a lo largo de su evolución cultural, así que estos antecedentes solo son la referencia primaria de donde provienen cada una de las series craneológicas en estudio.

### 2.1.1 Azcapotzalco

A la llegada de los chichimecas, los tepanecas ocupan el asentamiento de Azcapotzalco, teniendo el control económico militar del occidente del valle de México. Dominaron Ecatepec, Coyoacan, Mixcoac y Cuernavaca al mando de Tezozómoc.

Sobre esta población, León-Portilla (2004; 112-114) indica:

“Debemos señalar aquí que, por este mismo tiempo (siglo XIII), algunas de las tribus nahuatlacas, procedentes de Chicomoztoc, había consumado también su entrada por diversos rumbos del valle de México. Entre los primeros en llegar estuvieron los xochimilcas, así como los que luego fueron a establecerse por el rumbo de Chalco y los que mas tarde se conocieron con el nombre de tepanecas y acolhuas. Hubo desde luego numerosos contactos, intercambios culturales y enfrentamientos entre miembros de estas tribus, por una parte y los grupos chichimecas de Xólotl y descendientes de los antiguos toltecas, por otra. A la postre, con intervención de Xólotl varios inmigrantes se establecieron ya en lugares determinados. Los tepanecas quedaron al norte y comenzaron a fundirse con los habitantes de Azcapotzalco, que eran a su vez, una mezcla de gentes de origen teotihuacano, otomí y tolteca [...]. Los tepaneas de Azcapotzalco iniciaron una etapa de florecimiento hacia principios del siglo XIV”.

En el Posclásico tardío (1325-1521) dominan Tenochtitlán (León-Portilla 2004; 122). Se cree que para el año 1-pedernal (1428) fueron conquistados los de Azcapotzalco (Crónica Mexicáyotl) (León-Portilla 2004; 127), con la formación de la triple alianza (Mexico-Tenochtitlan-Tlacopan-Texcoco). Hay evidencias de ocupación Preclásica (Zacatenco), Clásica

(San Miguel Amantla) y Epiclásico. Además, se piensa que era un grupo chichimeca y que se asentó en el año 1012 en la región poniente del lago de Texcoco (De Alva 2002). Los restos craneanos fueron datados en el Posclásico.

El contexto ecológico se circunscribe al área semilacustre, al norte del valle central de México y dentro del complejo endorreico de la cuenca de México. Se cree que sustentaron de la agricultura extensiva y caza recolección intermitentes.

Esta población se delimita a una nicho ecológico particular, el Altiplano Mexicano que es un complejo geobiológico muy interesante. Podemos simplificar su descripción caracterizando su variación de temperaturas en el día, por el rango de alturas que van desde los 1600 a los 2700 msnm (McClung 1979); presenta una vegetación rasa donde destacan sauces, ahuehuetes y magueyes, hay ríos y lago; aunque la caza fue decreciendo en relación a la cronología y estaba enfocada a la caza de especies pequeñas como conejos, liebres y venados (McClung 1979) Tiene una delimitación orográfica importante por medio de tres sistemas montañosos importantes: la Sierra Madre Occidental, Oriental y el eje Neovolcánico.

Dentro de este sistema geobiótico podemos particularizar el espacio a la cuenca de México que es una es una cuenca endorreica (Sanders 1965), alargada de Norte a Sur y desde el punto de vista geológico representa el resultado de varios ciclos de vulcanismo importantes (Mooser 1956) y con repercusiones en la dinámica poblacional mexicana. Es una gran planicie elevada delimitada por tres principales cadenas montañosas: al este la Sierra Nevada, al oeste la Sierra de la Cruces y al sur por la Sierra del Ajusco. El piso central de la cuenca tiene una elevación aproximada de 2263 msnm. Tiene una área total de aproximadamente 8000 km<sup>2</sup>, extendiéndose 120 km. de Norte a Sur y 70 km. de E a Oeste. Para el valle de Teotihuacan el análisis polínico señala claramente que en la región existieron grandes extensiones de bosque, desde el 1200-800 a C (Monroy 1989).

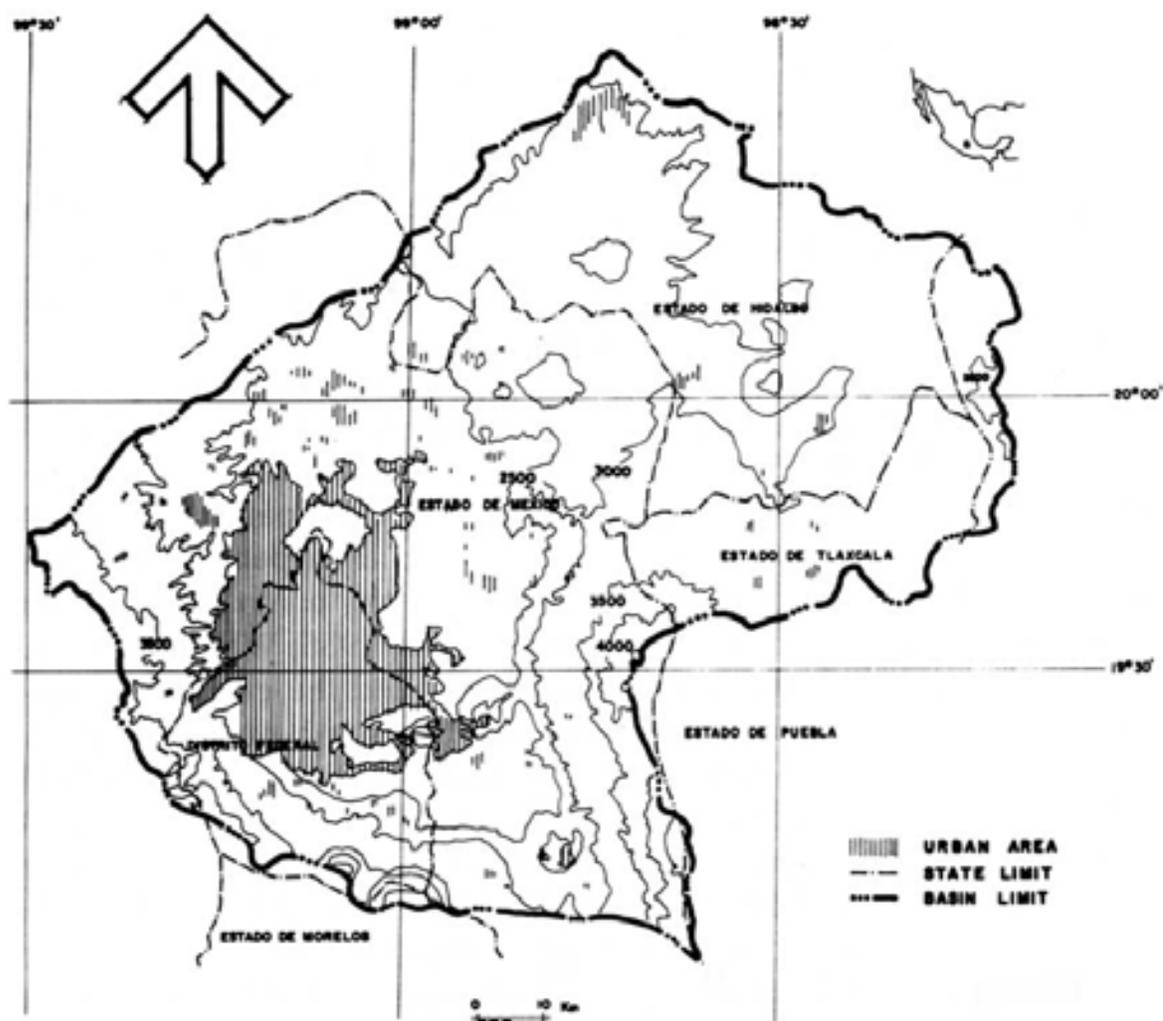


Figura 2.1. La cuenca de México: divisiones geográficas y políticas.  
<http://www.unu.edu/unupress/unupbooks/uu14re/uu14re0s.htm>

Sanders *et al.* (1979) y Sanders (1965) reconocen nueve zonas ambientales mayores, siete de ellas localizadas entre 2,240 y 2,500 msnm:

1. El sistema del lago, que era un hábitat importante para las aves acuáticas migratorias.
2. La salina a orillas del lago, con las plantas *Halophyllous*
3. Un suelo profundo aluvioso, cubierto por las juncias (*Cyperaceae*) y los ahuehuetes o cipreses de pantano.
4. Un suelo aluvioso fina dominado por pastos y agaves
5. Un aluvión de la altiplanicie, con vegetación dominada por robles y acacias.
6. El piedemonte bajo tiene una pendiente leve con bosques bajos de roble (*Quercus*)
7. El piedemonte medio presenta robles cadicifolios
8. El piedemonte superior elevado por arriba de 2,500 msnm y vegetación con Encinos (*Quercus spp.*), Tepozanes (*Buddlea spp.*), Aile (*Alnus spp.*) y modroños (*Arbutus xalapensis*)
9. Las sierras, sobre 2.700 m y con comunidades templadas de plantas con pinos, abetos y enebro.



Figura 2.2. Migración de la comunidad mexicana a través del área lacustre. © de Rocha 2008<sup>1</sup>. Como medio ilustrativo para la relación poblacional del centro de México.

<sup>1</sup><http://www.satrapa1.com/articulos/media/aztecasWEB/mexicas/mexicas1.htm>



Figura 2.3. Participación Mexica en la consolidación militar de Azcapotzalco. © de Rocha 2008<sup>2</sup>. Como figura ilustrativa del poderío militarista de los Tepanecas.



Figura 2.4. La fundación de la Triple Alianza y la caída de Azcapotzalco. © de Rocha 2008<sup>3</sup>. Para ilustrar la situación política económica del periodo Posclásico tardío.

<sup>2</sup><http://www.satrapa1.com/articulos/media/aztecasWEB/mexicas/mexicas2.htm>.

<sup>3</sup><http://www.satrapa1.com/articulos/media/aztecasWEB/aztecas1.htm>.

### **2.1.2. Candelaria**

La cueva se encuentra, por su situación geográfica, dentro del área cultural de Aridoamérica (Romano *et al.* 2005). Se encontraron bultos funerarios, que contenían objetos de uso personal como armas, prendas de vestir, turbantes o cueros de venados; también, se encontraron elementos de ornato orejeras, collares, pulseras, etc. (Ibidem 2005).

El contexto funerario es muy claro antes de la inhumación, los cadáveres se envolvían con mantas de gran tamaño o mortajas que formaban bultos (Ibidem 2005). Entonces, la cueva fue empleada como cámara funeraria.

Se identifican dos fases de ocupación de la cueva: una dentro del periodo Precerámico y otra denominada etnología prehistórica del norte de México (Romano *et al.* 2005). La segunda etapa de ocupación abarca entre 500 dC a 1000 dC, donde se pueden ubicar los cráneos procedentes de la cueva (aproximadamente una ocupación tardía 1600 dC *sensu* Aveleyra (1956;100-102).

Romano y cols. (2005;18) “es muy importante mencionar esto dado que el aislamiento geográfico, el difícil acceso a esta región y las pautas de producción, entre otras características del comportamiento de los laguneros, propició un franco aislamiento que se manifiesta en su cultura y en los múltiples fenómenos de control e intercambio génico”.

La colección de cráneos de la Candelaria procede de la región ubicada en el Valle de las delicias (Comarca Lagunera) en el municipio de Torreón Coahuila (Romano *et al.* 2005;9) que tiene un suelo predominante de tipo sedimentario dentro de la Sierra Madre Occidental (Ibidem 2005;15). Es una zona semidesértica lo que le confiere un clima cálido seco. Se dan lluvias estacionales y tiene afluentes hidrológicas que son los ríos Nazas, Aguanaval y Parras (Ibidem 2005;17).

Se caracterizaba por tener tipo de organización tribal, con patrones nómadas y dependencia de la caza-recolección (Romano *et al.* 2005;23).

### **2.1.3. Paila.**

Los materiales recobrados en ambas cuevas (Candelaria y Paila) revelan, en efecto, una similitud tan estrecha en rasgos verdaderamente diagnósticos, que ésta no puede ser explicada sino como resultado de una identidad cultural diferenciada solamente en lo que se refiere a fases o aspectos de su mismo desarrollo (Aveleyra 1959;167). La cronología aproximada, así como los contactos exteriores que parecen advertirse con otros desarrollos culturales del suroeste árido de Norteamérica, han sido ya tratados por el autor en el estudio de los materiales de piedra y diversos de la cueva de la

candelaria (Ibidem 1959;195). Pareciera que la Paila fuera anterior a Candelaria 1000 d C la ausencia de datos estatigráficos en la exploración de ambas cuevas imposibilita dar cronologías mas exactas. Se encuentra situada en el llamado arroyo del muerto hacia el extremo suroeste de la sierra de Paila Coahuila (Ibidem 1959;168)

Muy de acuerdo con el seminomadismo, la economía de los laguneros dependía en gran parte de la caza de animales propios de la región como venados, conejos y/o aves acuáticas. La pesca debió jugar también un papel casi tan importante como la caza. La agricultura era rudimentaria basándose en el cultivo ocasional de calabaza pero sin maíz frijol y otras plantas comunes. La recolección de frutos y semillas naturales debió ser importante entre los antiguos laguneros, suplementando su dieta como es casi infalible en todos los grupos prehistóricos de Aridoamérica. Los primeros cronistas insisten mucho en las tunas y *mezquitamal* constituía el alimento favorito de los indios del norte. Por lo anterior, se le considera que el nivel precerámico y casi preagrícola de los antiguos comuneros se postula con mínimas probabilidades de error, a pesar de que en su apoyo solo hay evidencia negativa (Ibidem 1959;196-7)

#### 2.1.4. Pericúes.

Los cráneos procedentes de esta colección fue obtenida de diversas excavaciones realizadas en la península de Baja California Sur y pertenecen al Holoceno tardío (Rosales-López *et al.* 200, González-José *et al.* 2003). Los pericúes se extinguieron étnica y lingüísticamente durante la segunda mitad del siglo XVIII. Su subsistencia era la cacería y la recolección (González-José *et al.* 2003). Según Fujita (2006) es plausible que los pericúes fueran descendientes directos de los primeros grupos que pasaron de Asia a América (Figura 2.7), dato del que existe evidencia desde la craneometría (González-José *et al.* 2003). Se circunscriben a la península de California, concretamente en la zona sur de ésta en hacia el territorio que hoy incluye Cabo San Lucas al Cabo Pulmo.

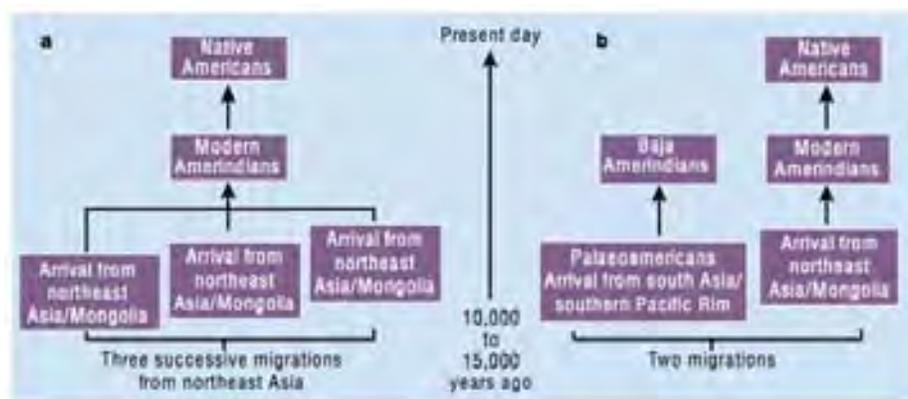


Figura 2.5 Hipótesis del poblamiento americano desde la craneometría. a) propuesta original de que los primeros colonizadores son los descendientes de los americanos modernos con tres oleadas migratorias; y b) propuesta de un remanente paleoamericano y dos oleadas migratorias desiguales. La evidencia de González-José et al. (2003) evidencia que la migración al continente americano fue más complejo de lo que aparenta (Dillehay 2003, Imagen de Nature Publishing Group).

Massey (1949) pensaba que la zona oeste de Los Cabos había sido ocupada por un grupo guaicuriano denominado Cora. Laylander (1997) presentó evidencia etnohistórica que hace pensar que los Cora eran un grupo con filiación pericú. Mathes (1975) argumentó que La Paz debió ser ocupada por los pericúes durante los siglos XVI y XVII, pero que ulteriormente debió ser ocupada por los guaicurios entre los años 1668 y 1720. Una interpretación alternativa es que La Paz (llamada Airapí por los indígenas) fue un territorio que se encontraba en disputa por los pericúes y los guaicurios por la época en que llegaron los españoles a la región.

El registro arqueológico en el territorio pericú se extiende hasta los principios del Holoceno, hace cerca de 10 mil años, y persiste hasta el Pleistoceno tardío (Fujita 2006). Los pericúes presentan cráneos hiperdolicefálicos razón por la cual algunos biólogos sugieren que los ancestros de los pericúes fueron migrantes transpacíficos o remanentes de algunos de los primeros colonos de América. (González-José et al. 2003; Rivet 1909). Los emblemáticos entierros del Complejo Las Palmas, que se relacionan con entierros secundarios pintados con ocre rojo depositados en cavernas o abrigos rocosos, son particularmente notables (Massey, 1955). El uso continuo del átlatl al lado del arco y flecha, persistió hasta finales del siglo XVIII, mucho tiempo después de que muchos pueblos indígenas habían abandonado su uso en América del Norte. Este rasgo ha sido interpretado como una expresión del excepcional grado de aislamiento del extremo sur de la península de California (Massey 1961). Fujita (2006) ha delineado el cambio de patrones en la explotación de recursos marítimos y los asentamientos en la región de Los Cabos durante la época precolombina. De acuerdo con Fujita, alrededor del año 1000 de nuestra era, cuatro grandes centros de importancia socioeconómica y ceremonial surgieron en Los Cabos: Cabo San Lucas, Cabo Pulmo, Airapí (La Paz) e Isla del Espíritu Santo.

Los primeros contactos entre europeos y pericúes se dieron en la década de 1530, cuando Fortún Jiménez y otros amotinados de una expedición enviada por Hernán Cortés --conquistador del centro de México-- alcanzaron Airapí. Poco tiempo después, hizo lo propio el mismo Cortés en persona (Mathes 1973). Encuentros esporádicos --algunas veces amistosos y otras, hostiles-- ocurrieron con exploradores, misioneros, los marineros de los galeones de Manila y buscadores de perlas, todos ellos entre los siglos XVI y XVIII.

Los pericúes son conocidos básicamente por los relatos de los primeros visitantes europeos. (Laylander 2000; Mathes 2006). Los más detallados de estos relatos fueron escritos por expedicionarios ingleses que estuvieron algún tiempo en Cabo San Lucas entre 1709 y 1710, y en 1721 (Andrews 1979). Se dice que los pericúes eran muy buenos navegantes y pescadores. La base de su sociedad era la explotación de los recursos marítimos, y se alimentaban de ostras, pescado y

mamíferos marítimos. Los recursos de la tierra incluían al maguey, la pitahaya, y el venado.

#### **2.1.5. Pre cerámicos .**

Los cráneos precerámicos proceden de contextos arqueológicos muy diversos que se intentan resumir de acuerdo a la información generada en varios estudios previos (González-José *et al.* 2006, Pompa y Padilla y Serrano 2001, Arce *et al.* 2003, González-José *et al.* 2003, Aveleyra 1967).

El cráneo del peñón III fue descubierto en 1959 durante la excavación en el cerro Peñon de los Baños, que a fines del Pleistoceno fue una isla rodeada por géiseres, en el centro del lago de Texcoco. El húmero de este ejemplar fue directamente fechado en 10755 +/- 75 RCYBP.

El cráneo Metro Balderas fue hallado en 1970 a una profundidad de 3.10 m durante la construcción de la estación del Metro. Los restos que estaban depositados en una capa de tefras marcadoras fueron datados en 10500 RCYBP

La ecología de la cuenca de México ha cambiado substancialmente pero estas fluctuaciones no han sido lo suficientemente profundas como para revisar la ecología de la zona. Tal vez hay que decir que la principal característica de épocas prehistóricas es que la extensión boscosa era mayor en las zonas ecotonales o de transición de climas semiáridos a boscosos de montaña.

#### **2.1.6. San Nicolas Tolentino .**

Esta colección procede del panteón civil de Iztapalapa San Nicolás Tolentino se comenzó a exhumar en 2000. Teniendo una antigüedad de inhumación entre 5 y 7 años; que debían ser exhumados porque no tenían la perpetuidad, así que por decreto pasó a formar parte de una colección con fines educativos. La colección esta pensada en tener una representatividad de la población contemporánea del Distrito Federal (Talavera *et al.* 2006;12).

Las personas enterradas en este panteón tenían unos 10 años de haber fallecido, por lo que conforman una muestra fiel de la población reciente (Talavera *et al.* 2006; 13), delimitando su rango entre 1990-1995.

Lo interesante de esta colección es la referencia escrita en su acta de defunción que permite conocer variables como el sexo, ocupación, causa de muerte, edad, etc. Se considera que esta colección puede ser la referencia primaria de la población moderna.

### 2.1.7. Santa María Texcalac.

Los restos de la se trata esta última de una población colonial temprana (siglo XVII) y los registros parroquiales demuestran que en un 90% esta población tendía a la endogamia (Osorio 2005). Tiene relación socioeconómica con Teotihuacan desde tiempos formativos (García-Cook y Merino 1988 García-Cook 1976, 1981).

Martínez-Abadías (2005), analizando el proceso de Mestizaje en el Centro de México por medio de la Morfometría Geométrica, apuntaba que SMT era más cercano al ancestro amerindio (TLA). Es decir, que esta población, a pesar de ser colonial temprana, muestra gran afinidad biológica con poblaciones prehispánicas Clásico-Postclásico. Que para éste estudio es muy importante, porque nos define que SMT es morfológicamente más afín a grupos ancestrales, como TEO, que a ancestros españoles, con los que se compara en el análisis. Este dato puede significar que existió un aislamiento etológico en la población SMT y a razón de ello la conservación del *pool* genético ancestral.

### 2.1.8 La Soledad.

La colección de cráneos de la Soledad fueron exhumados de la plaza del templo de la Soledad siendo 150 entierros, 113 primarios y 36 osarios. La cronología asignada a estos entierros esta acotada al año 1666, a partir del cual se comienzan a realizar inhumaciones, y su límite superior en 1823 según las actas de defunción, después de este año ya no se utilizó como cementerio (Jiménez 1994;61), estos datos provienen de los libros de defunción 1666-1822.

Según Jiménez (1994;154):

“En cuanto a los resultados estadísticos de las cinco medidas absolutas tenemos que, en soledad es donde se expresa más claramente la diferenciación sexual; mientras que en los de Catedral y Tlatelolco sólo se marcó en el diámetro anteroposterior máximo y en la altura del cráneo, en las tres medidas restantes no hubo significancia estadística, posiblemente se deba a que el numero muestral es pequeño. [...] Además, los masculinos de la soledad y Tlatelolco son muy parecidos en longitud y altura del cráneo y en el diámetro bizigomático, en cambio, las mujeres de la Soledad y Tlatelolco son idénticas en la longitud y altura del cráneo, en el diámetro nasión-prostion; son diferentes en la anchura del cráneo, así como en el diámetro bizigomático.; mientras que los hombres lo son en el nasión-prostion”.

El mismo autor caracteriza por sexo a los individuos, apuntando que las medidas de mayor importancia para los masculinos: curva frontal, anchura inter-orbitaria, altura nasal y para los femeninos diámetro anteroposterior máximo, diámetro transverso máximo, diámetro nasión-bregma, curva frontal, anchura bizigomática, altura orbitaria izquierda, anchura nasal y diámetro akantion-prostion (Jiménez 1994; 158).

La Soledad, tanto hombres como mujeres, comparten cierta similitud ósea con Tlatelolco y Catedral. Esto afirma la

hipótesis plateada de que la población que habitó en el barrio de la Soledad es mestiza. La población de la Soledad tiene mas afinidad morfométrica con Tlatelolco y se alejó de Catedral; es probable que, en este caso predominaron los genes indígenas sobre los europeos (Jiménez 1994; 159). Además, de que se considera es un buen ejemplo del mestizaje biológico que se dio en la Ciudad de México durante el periodo virreinal (Jiménez 1994; 160).

### **2.1.9. Sonora**

Esta colección tiene escasos datos referencia. Sin embargo, se tiene la referencia de su extracción por medio de los informes de Aquiles Gerste (1914) en algunas de sus expediciones obtuvo estos cráneos de diversas cuevas, pero como en el caso de la Candelaria o Tarahumara no se tuvo un registro científico de las mismas.

El padre Aquiles excavó en diversos lugares de la sierra Tarahumara y Sonorense aproximadamente en 1892 identificando ciertos elementos de su cultura material (Gerste 1914). Estos cráneos los consideramos como población moderna, pero con hábitos de caza-recolección y agricultura intermitente y de baja escala; por el clima en donde se desarrollan que es la franja desértica y semidesértica de Sonora. Aunque no tenemos referencia geográfica precisa de su recolección.

María Teresa Jáen En su trabajo sobre los métodos para estimar la capacidad craneana (1963) hace referencia a algunos de los cráneos como procedentes de diversas cuevas en el Estado de Sonora.

### **2.1.10 Tarahumaras.**

Son pocas las referencia s que existen entorno a esta colección. Se presenta como una colección moderna que pertenece a los hallazgos realizados por en las expediciones que se formaron para montar las exposiciones de Gerste. Según Villa Gorda y Palazuelos (1935) los refieren como cráneos tarahumaras procedentes de Chihuahua, Chih y son modernos.

Los mismos autores citan:

“El Dr. León clasificó a estos cráneos como nahuas con procedencia tarahumara. No hay en los archivos del Museo, nada acerca de la expedición Gerste que fue la que cedió estos cráneos” (Villa-Gorda y Palazuelos 1935;10).

El mismo Dr. Nicolás León (1922;102) cita que “con motivo de la conmemoración del Centeranio del descubrimiento de América, el gobierno de la República Mexicana fue invitado por el de España, a concurrir a una exposición histórica que con motivo se celebraría en Madrid en el año de 1882. Para acopiar objeto que enviar a dicha

exhibición se hicieron exploraciones en varias regiones de nuestro País, y ellas proporcionaron algunos restos humanos de indios antiguos y actuales. El padre Aquiles Geste agenció algunos cráneos y una momia de niño entre los trogloditas tarahumaras”.

#### **2.1.11. Teotihuacan.**

Se cree, según datos arqueológicos, que era una de las ciudades preindustriales más grandes del mundo entero (Millon 1966, 1973, 1976, 1981, Civera 1997, Cabrera 1982, Parsons 1987), el símbolo del Horizonte Clásico Cultural del Altiplano Central y un marcador histórico del Altiplano Central; centro de peregrinación, control ideológico y manufacturas (Manzanilla 1994, 1997).

Teotihuacan, pese a su limitada productividad y potencia agrícola, fue un centro de dominación e influencia del Clásico en la cuenca de México (McClung 1987, McClung y De Tapia 1996). Para Sanders *et al.* (1979) y Santley *et al.* (1986) fue un centro rector de la economía local del México Central con 125, 000 habitantes.

Torres (1995) define sus características antropofísicas como braquicráneos e hipsicráneos, aunque su estudio ocupa cráneos deformados, teniendo a la deformación tipo tabular erecto como predominante; órbitas cuadradas o redondeadas pero altas en su mayoría, huesos nasales anchos y además con perfiles, algunas veces, cóncavos o convexos. El occipital puede presentar una elevación, o excrecencia. Las mandíbulas generalmente son anchas y cortas con barbilla bilateral. Civera (1993) propone mandíbulas braquignatas y mesognatas (anchas a medias) de Oztoyahualco. Asimismo, presentan un ligero prognatismo alveolar. Según los resultados de Torres (1995) los frontales son estrechos y cortos, pero para Spence son frontales anchos. De igual manera, Torres dice que no presentan cresta sagital, mientras que Spence (1989) propone un 21% con este carácter. Por lo anterior Torres propone, como conclusión, que existe una variación individual dentro de la población. En otro trabajo Manzanilla *et al* (1999) estudian 40 esqueletos procedentes de Oztoyahualco basándose en mandíbulas, por la alta fragmentación que caracteriza a los entierros teotihuacanos y que demuestra el esfuerzo de muestreo del presente estudio y que representa el único material disponible, sin deformación, de los acervos Teotihuacanos.

Los resultados mostraron que las medidas de seis mandíbulas, presentan un índice mandibular braquignata, según la clasificación de Oliver (Civera 1993).

Se han estudiado sus enfermedades (Cid y Torres 1999, Serrano y Lagunas 1994, Santley y Rose 1979, Storey 1992). Estimado su estatura por las fórmulas de Genoves (Serrano y Lagunas 1994, Torres 1995, Pauer 1920, 1922,

Genovés 1962, 1966, 1967) y comparadas con los datos de Faulhaber (1962). En González y Salas (1999) tenemos una buena síntesis de los entierros comprendidos en las temporadas arqueológicas de 1980 a 1982.

Teotihuacan se encuentra dentro del sector noreste de la cuenca de México (Moragas 2003). Dentro del valle de Teotihuacan o en la cuenca del río San Juan Teotihuacan. La zona arqueológica cubre, aproximadamente, 523 km<sup>2</sup> (Lorenzo 1968).

En Teotihuacan se utilizaba maíz, amaranto (*Amaranthus sp*), frijol, calabaza (*Curcubita pepo*, *C maxima*, *C moschata*, *C ficifolia*), tomate, chile, tuna epazote, quelite, huauhzontle, verdolaga y aguacate (McClung 1987, McClung y De Tapia 1996) habiendo diferenciación por fase cronológica teotihuacana. Asimismo, hay evidencias de la utilización de tres especies de maíz Nal-Tel Chapalote, Palometo Toluqueño y Cónico. También existen evidencias pictóricas en los murales de Tetitla (Manzanilla 1995; 210).

Su ecología ha sido inferida desde propuestas de ecología humana (Sanders 1965, Manzanilla 1995) el cultivo de maíz, principal fuente alimenticia de los teotihuacanos; el tipo de cultivo lo determinan como temporal. Aunque se reportan evidencias de sistemas de agricultura intensiva (Sanders 1965) Asimismo, un posible sistema de chinampas secas cercanas a la zona de manantiales con los cuales crearon un sistema de canalización .

Existen pruebas que la agricultura no fue el único recurso de las poblaciones de la cuenca de México. Se realizaba caza de animales pequeños como aves, peces, mamíferos, etc. La mayoría de las proteínas animales de los teotihuacanos provenía del conejo, de la liebre, del venado cola blanca, del perro doméstico, guajolote, pato, ganso, codorniz, paloma, armadillo, ardilla, tortuga y lagartija (Valadez 1993). Asimismo, se han encontrado restos de águilas, halcones y gallinas de monte para contextos ceremoniales en Tetitla y Yahualco; además de oso y jaguar en contextos domésticos de Ozttoyahualco (Manzanilla 1995). Finalmente, hay restos de moluscos marinos provenientes del Pacífico y Atlántico aunque se propone que tuvieron fines de ornato (Manzanilla 1995)

Existen pocos informes sobre la pesca y son para contextos habitacionales de Tlajinga 33 y Ozttoyahualco (Manzanilla 1995). Asimismo, para la recolección se piensa que ya no representaba una actividad preponderante, sin embargo se realizaba para obtener alimento y/o medicinas.

Los índices de aridez correspondientes colocan virtualmente a todo el valle en la zona llamada de transición, por lo que es poco atractiva para la agricultura temporal (Lorenzo 1968). Este tema ha sido ampliamente discutido por diversos autores desde la perspectiva de la ecología cultural (e. g. Sanders *et al.* 1979, Matos 1965, Lorenzo 1968).

Esta urbe pudo desarrollar una agricultura organizada que les permitió tener una civilización compleja (Mooser 1956). La región baja del valle permitió una agricultura copiosa y sin mayores problemas; sin embargo, la zona alta daba una agricultura dificultosa, por los peligros de sequía (Mooser 1968). Por otro lado, los índices de aridez correspondientes colocan virtualmente a todo el valle en la zona llamada de transición<sup>1</sup>, por lo que es poco atractiva para la agricultura temporal (Lorenzo 1968). Tema ampliamente discutido por diversos autores desde la perspectiva de la ecología cultural (e.g. Sanders *et al.* 1979, Matos 1965, Lorenzo 1968).

Según los registros arqueológicos del Proyecto Arqueológico Teotihuacan 80-82 del que se han utilizado varios de los cráneos en este estudio, éstos proceden de la Fase Tlamiminolpa (González y Fuentes 1982).

#### **2.1.12. Templo de Quetzalcóatl.**

Los cráneos del Templo de Quetzalcóatl proceden de las excavaciones realizadas en la Ciudadela entre 1983-84 (Cabrera *et al.* 1982a, 1982b). Desde diversas áreas se ha planteado que no son individuos teotihuacanos (White *et al.* 2002, Sugiyama 1989, Cabrera y Cabrera 1991, Cabrera *et al.* 1990, Cabrera y Serrano 1999, Meza 2003).

El perfil antropofísico desarrollado por Carlos Serrano (1991) muestra que estos individuos, todos masculinos, eran individuos no deformados, con trabajo dentario y meso-dolicocefalia. Contrastando con nuestros datos que aportan una mayor incidencia de dolicocefalia 67% y 29% para la mesocefalia. Este simple dato, sin pasar por ningún análisis estadístico profundo, nos hablaba de las diferencias morfológicas de estos individuos. No se conoce nada relacionado con su economía y ecología, aunque se ha sugerido que probablemente fueran guerreros que no nacieron en Teotihuacan.

#### **2.1.13. Tlatelolco.**

Esta colección fue recuperada durante los trabajos de salvamento arqueológico realizado en el año de 1960, con motivo de la construcción de la unidad Habitacional Nonalco-Tlatelolco. De una zona de enterramientos ceramional, localizados al poniente de la gran pirámide (Jiménez 1994; 69).

Las obras de la exploración de finales de 1960, quedaron a cargo del arqueólogo Francisco González-Rul que comprendieron diversas temporadas hasta 1964 (González-Rul, 1988).

Los pobladores históricos de Tlatelolco pertenecieron a una tribu nahuatlaca que saliera del mítico *Aztlan-Chicomoztoc Quinahuayan* en el lejano día de *Ce Cipactli* del año *Ce Ácatl* (1115) y que después de un largo peregrinaje se establecieron en el lugar anunciado por *Huitzilopochtli* y fundaron en 1325 la ciudad de México-Tenochtitlan (González-

Rul, 1988:13).

De las diversas exploraciones arqueológicas, se han colectado un gran número de esqueletos procedentes de enterramientos humanos en el área de Tlatelolco. López-Alonso (1991) menciona que los restos de la primera temporada constituyen la más numerosa colección osteológica de la Dirección de Antropología Física del INAH. De los materiales recuperados de la temporada 1987, Salvador Guillen (1999) menciona más de 39 entierros entre ofrendas y sepulcros ordinales. Cronológicamente los entierros de Tlatelolco corresponden al Posclásico Tardío (1150 d C a 1300 d C), acotado por la cerámica recuperada se sitúa a la colección como de la época Azteca II, III, IV y V (Jiménez 1994:70).

La caracterización realizada desde la antropología física clásica arrojó que los individuos masculinos presentan medidas más significativas en los diámetro nasio-bregma, curva frontal, anchura inter-orbitaria, altura orbitaria derecha, altura orbitaria izquierda, anchura bóveda palatina.; y para los femeninos en el diámetro antero-posterior máximo, diámetro transversal máximo, diámetro nasion-bregma, anchura frontal máxima, curva frontal, anchura bizigomática, altura orbitaria derecha, altura orbitaria izquierda y la altura nasal (Jiménez 1994:159).

En el periodo Posclásico la actividad económica, incluso para los sectores de habitantes de la ciudad, fue la agricultura (Semo 2006; 167).

#### **2.1.14. Tlatilco**

La colección craneológica de Tlatilco se circunscribe a las excavaciones realizadas en la región de San Miguel Tlatilco ubicada en la parte occidental de la Cuenca de México. En lo que hoy se denomina Naucalpan en el Estado de México. Se encuentra a 2774 msnm (Piña-Chan 1958).

De acuerdo a su estratigrafía y arqueología se le ha asignado una cronología que va desde 1450 al 600 a C (Piña-Chan 1958), es decir pertenecen al horizonte cultural Preclásico Medio.

De las tres temporadas arqueológicas se obtuvieron un total de 225 entierros (Piña-Chan 1958) y en la cuarta 214 entierros (Romano 1963, García Moll *et al.* 1991).

Por los restos encontrados, se sabe que los habitantes de Tlatilco conocían y dominaban la alfarería y la cerámica. Además, practicaban la deformación craneana y la mutilación dentaria (Romano 1963).

Tlatilco fue una de las primeras sociedades de agricultores de Mesoamérica. La base de la economía era el cultivo del maíz, aunque posiblemente cultivaban también calabazas y frijoles. La dieta vegetal era complementada con la caza de

aves y animales que habitaban el lago, tales como peces, patos, tortugas, armadillos, osos y sapos. También recolectaban frutos silvestres, raíces y tubérculos y tules, los que eran usados para alimentación y cestería. La presencia de materias primas de zonas alejadas y objetos foráneos indican que existió un amplio intercambio interregional. Era una sociedad diferenciada, en la que existía una elite emergente que no se dedicaba directamente a producir alimentos, sino que detentaba el poder y el prestigio sobre la base de una desigual distribución de los bienes. (Pool 2007, Niederberger 1987).

#### **2.1.15. Tula.**

La colección estudiada procede de las excavaciones realizadas en la zona arqueológica de Tula se ubica a 70 km al norte de la ciudad de México, en una superficie de aproximadamente 13 km<sup>2</sup>, entre los ríos Tula y de las Rosas. La antigua ciudad se extendió sobre una zona muy alta que dominaba estratégicamente los valles aledaños en las inmediaciones de los cerros Magone, el Cielito y la Malinche. Esta región nuclear tolteca se localiza en los límites de la cuenca lacustre del altiplano central y lo que en la antigüedad fue denominado Teotlalpan, con clima árido a semiárido. Sin embargo, el asentamiento poseyó un clima favorable para el modo de vida sedentario. Su base agrícola se expandió por la implementación de obras de regadío (Noguez 1995) que denota la complejidad de su estrategia económica. Los orígenes toltecas están indefinidos, aunque hay hipótesis que sustentan un origen norteño de éstos individuos.

#### **2.1.16. Colección Oloriz. Facultad de Medicina, UCM.**

La colección de cráneos del Museo fue creada por el Dr. Federico Oloriz Aguilera (Granada 1855 - Madrid 1912). Oloriz llega a Madrid tras ganar las oposiciones a la Cátedra Primera de Anatomía en 1883 y en 1884 publica un trabajo titulado "Recolección de Cráneos para Estudios Antropológicos" donde da las normas para obtener los cráneos, identificarlos y estandarizar los tipos de mediciones que se deben realizar; así empieza a crear el Museo Craneológico. Los cráneos estudiados en el museo nos permiten aventurar que Oloriz debió empezar la colección en Granada pues existen doce cráneos que tienen una etiqueta de una colección de mas de 1900 cráneos datados según las instrucciones que publicó en 1884 "Casi todos son de españoles, pues no llegan a 50 los que procedían de las que fueron nuestras colonias [...] los cinco sextos de ellos han sido preparados en el departamento anatómico de la facultad, en el espacio de catorce años." A continuación cita como la experiencia de estos años le llevo a modificar algunas de las instrucciones de identificación y medida que ya expone en sus obras *Recolección de Cráneos para Estudios Antropológicos* (Granada 1884) y *Técnica Anatómica* (Madrid 1890). Basado en estos datos Oloriz publica su índice cefálico en España (Madrid 1894).

En 1913, poco después del fallecimiento de Oloriz es cuando en un trabajo de Gómez Ocaña (Memorias de la Real Sociedad Española de Medicina Natural, tomo VII, memoria 5, pp. 343-454, 1913) encontramos una nueva referencia a la colección de cráneos. En ella dice "[...] su colección de cráneos, que es la mejor del mundo, pues si en número sobrepasa la que creó Broca [...] en calidad, en peso objetivo, es la del profesor de Madrid [...] 2220 cráneos de personas conocidas solo existen en la colección de Oloriz [...] La colección de Oloriz consta de un total de 2250 ejemplares, si bien el último número catalogado alcanza al 2124. De ellos forman la base y fondo los procedentes del Hospital, que son 1.700, y que representan, aunque muy desigualmente, las provincias y regiones de España." Gómez Ocaña afirma poco después lo que Oloriz deja vislumbrar en el trabajo de marzo de 1899. "Fue esta desigualdad de representación de las provincias, la causa fundamental que obligó a Oloriz abandonar hace catorce años la recolección, pues consideraba inútiles los sacrificios y verdaderas preocupaciones que le ocasionaba la busca y preparación de cada cráneo [...]"<sup>4</sup>.

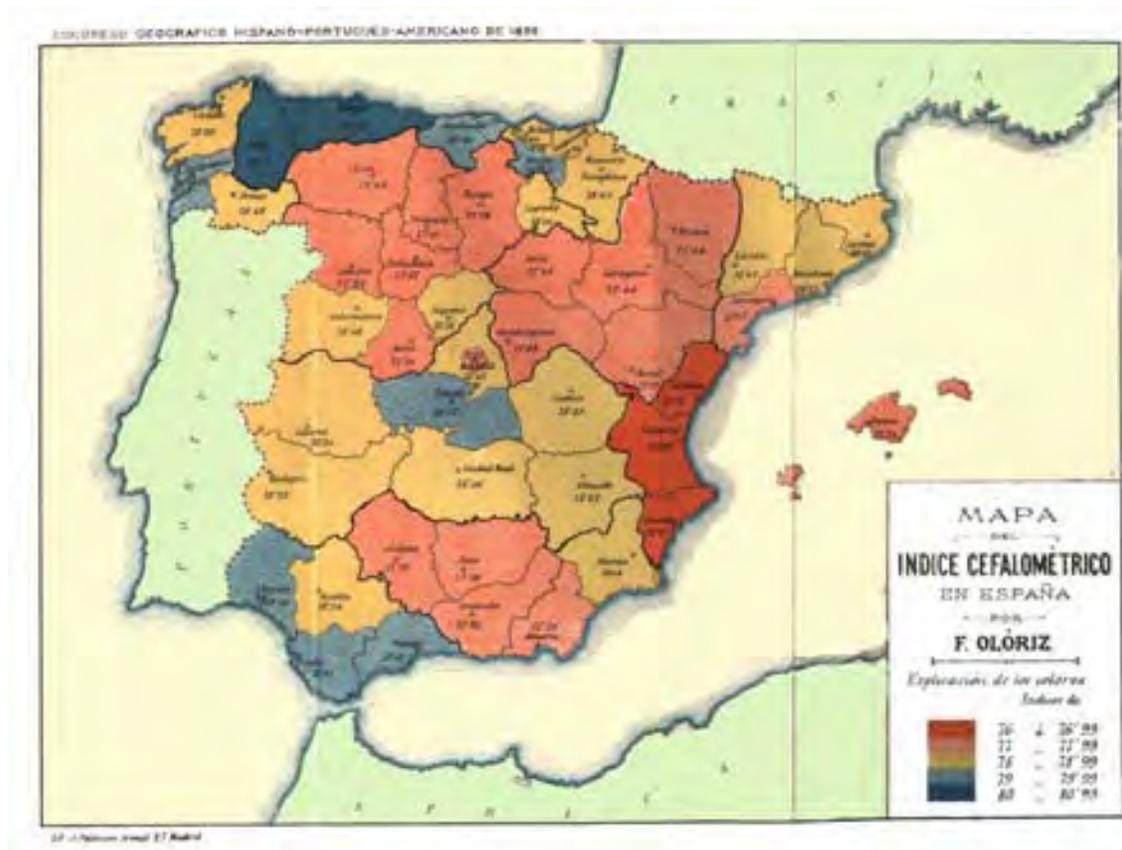


Figura 2.6. Mapa de índices cefalométricos por regiones geográficas de España, *sensu* Oloriz.

<sup>4</sup> Información obtenida del *website* de la Facultad de Medicina de la UCM: <http://www.ucm.es/info/museoana/Colecciones/Craneos/>

Estadísticamente la población española es bastante homogénea. Bien es cierto, que hay caracteres que nos indican ciertas diferencias entre la variable longitud del cráneo y el índice facial donde nos indican rostros estrechos y elevados en grupos como la población más o menos delimitada en la zona Norte de la Península, o como algunas zonas como son Beas de Segura (Jaén) y el país Vasco poseen parecidas características morfológicas, a pesar de su aislamiento geográfico. Pero estas diferencias estadísticas observadas no definen en conjunto una región morfológica particular en el cráneo por población, sino son aisladas y puntuales en cuanto a la forma. En el análisis comparativo con otros estudios anteriores al nuestro, observamos escasa variabilidad entre los grupos. En aquellas poblaciones en las que se observan diferencias estadísticas, son más bien debidas a la metodología empleada y a las diferencias en cuanto al efectivo de la muestra (Fernandez 2001:262-3).

131

NOTA.—Resumen del catálogo de calaveras existentes en el Museo de Anatomía antropológica de la Facultad de Medicina de Madrid, en 23 de Abril de 1896

PROVINCIAS	Calaveras			TOTAL
	FILADAS		de procedencia conocida.	
	Vacas.	Hembras.		
Álava.....	1	1	2	4
Albacete.....	8	6	»	14
Alicante.....	6	7	»	13
Almería.....	2	3	18	23
Ávila.....	11	14	»	25
Baleares.....	»	»	»	»
Badajoz.....	5	»	3	8
Barcelona.....	1	1	»	2
Burgos.....	9	20	»	29
Cáceres.....	3	6	»	9
Cádiz.....	3	1	»	4
Castellón.....	4	2	»	6
Ciudad-Real.....	7	9	»	16
Córdoba.....	1	3	»	4
Coruña.....	24	3	»	27
Cuenca.....	19	17	19	55
Gerona.....	»	»	»	»
Granada.....	13	5	28	46
Guzalajara.....	37	26	5	68
Guipúzcoa.....	2	3	»	5
Huelva.....	»	»	»	»
Huesca.....	»	3	»	3
Jaén.....	5	8	25	38
León.....	19	8	»	27
Lérida.....	»	»	»	»
Logroño.....	4	8	41	53
Lugo.....	56	14	»	70
Madrid.....	97	64	119	280
(Capital.....	43	44	»	87
(Provincia.....	1	2	18	21
Málaga.....	11	2	»	13
Murcia.....	2	9	»	11
Órense.....	8	1	»	9
Oviedo.....	51	31	4	86
Palencia.....	7	10	»	17
Pontevedra.....	2	1	»	3
Salamanca.....	13	5	»	18
Santander.....	9	13	»	22
Segovia.....	21	15	»	36
Sevilla.....	4	5	2	11
Soria.....	20	8	»	28
Tarragona.....	2	»	»	2
Teruel.....	6	2	»	8
Toledo.....	37	24	34	95
Valencia.....	4	5	»	9
Valladolid.....	6	6	»	12
Vizcaya.....	»	7	»	7
Zamora.....	6	5	»	11
Zaragoza.....	11	13	»	24
Otros países.....	8	2	27	37
Totales.....	609	444	343	1396

Figura 2.6. Lista de las provincias de los cuales procedían los cráneos *sensu* Oloriz.

### **2.1.17 Colección Museo Antropología Madrid.**

La colección craneológica utilizada es la del departamento de antropología Física del Museo Nacional de Antropología de Madrid. Su origen se remonta por una parte a la colección que había formado el fundador del museo Dr. Pedro González Velasco y la que procedía de la sección de Etnografía y Prehistoria del Museo de Ciencias Naturales. Aunque la procedencia es muy diversa, algunos cráneos incluso colectados en expediciones científicas.

El nuevo ordenamiento y concepción de las colecciones que se llevó a cabo en el Museo en 1940. Los primeros estudios se centraban principalmente en la toma de múltiples medidas para comparaciones raciales. Posteriormente, se estudia la paleopatología de la colección (Mora 1993).

La elección de los cráneos fue realizada por medio del archivo del museo, tanto el viejo (fichas) como el moderno y digital (DOMUS) eligiendo aquellos cráneos que podrían representar la diversidad biológica de España, ya que esta colección se uniría a la de la Colección de Departamento de Anatomía y Embriología de la Facultad de Medicina de la UCM. Se eligieron cráneos de Mallorca, Sevilla, Vizcaya, Guadalajara, Navarra, Segovia, Gupuzkoa, Jaén, Albacete, Toledo, País Vasco y Madrid; estos últimos con la mayor frecuencia. Los datos fueron obtenidos de las cédulas del museo. La colección buscó el mismo objetivo que la colección Oloriz muestrear la variación morfológica del cráneo español.

### **2.1.18. W a m b a**

Esta colección pertenece a una serie obtenida de Wamba en la provincia de Valladolid. su nombre proviene del rey godo Wamba, que fue nombrado rey de la Hispania Visigoda en esta localidad en el año 672. La colección se encuentra depositada en el Departamento de zoología animal de la Universidad Complutense de Madrid. Su cronología esta delimitada a los siglos XVI y XVII. Procede de un depósito secundario de la iglesia de Santa Maria en Wamba, España.

### 3.1 La muestra.

En primera instancia, la metodología propuesta reconoce la problemática de la representatividad de las colecciones digitalizadas respecto a la población antigua y se reconoce que los resultados deben interpretarse con las reservas que esto implica (para mayor detalle véase la sección perspectivas de la muestra de esta metodología y la discusión sobre el mismo tema).

Segundo, a pesar de que algunas poblaciones tienen muestras con número por debajo de 10 individuos; se piensa que la inclusión de estos cráneos permite configurar conclusiones más integrales sobre la variabilidad de la morfología en las poblaciones en estudio. Este problema ha sido evaluado anteriormente (Quinto-Sánchez 2007; Hernández *et al.* 2006) y se ha encontrado que, cuando se tienen poblaciones con un número muestral aceptable (Daniel 2006; 130), las muestras pequeñas (<10 individuos) no afectan la configuración general de los resultados. Por último, este trabajo integra las recomendaciones de la estadística de muestras pequeñas (Sokal y Rolfh 1986) con las pruebas estadísticas recomendadas. Rodríguez (2001) define que la influencia del tamaño de la muestra, la poca representatividad del sexo femenino y la variación en la amplitud geográfica son factores para la calidad final de los resultados.

Knussman (1967) realizó comparaciones entre las distancias de Mahalanobis y de Penrose hallando muchas correlaciones en muestras de 27 individuos. Pucciarelli (2008) apunta que las muestras reducidas provocan sesgos en las distribuciones, haciéndolas asimétricas, y, que tienen un efecto asociado a la variación de números muestrales diferentes cada muestra contribuye con un diferente peso estocástico en la comparación general, todo lo anterior bajo la escuela estadística de Pearson, donde  $n$  es igual o superior a 100.

La muestra de este estudio se integra por 19 colecciones craneanas, registrando un total de 765 cráneos humanos de individuos adultos y procedentes diversas regiones geográficas-temporales de México y España (Tabla 2). El tamaño de la muestra fluctuará en función del análisis particular que se este realizando, más adelante se detalla cada uno de estos arreglos.

No	Población	Clave	Región	Periodo	Cronología	Tipo Economía	N(F + M)
1	Candelaria	CAN	Coahuila, NE de México	Colonial	1000-1600 dC	Caza recolección	76(38 +38)
2	La Soledad	SOL	Cd. México	Colonial	1550-1600 dC	Industria	63(30+33)
3	Madrid	MAM	España (Museo Nacional de Antropología, Madrid)	Moderno	siglo XIX	Industria	79(30+49)
4	Mexicas	TLA	Valle Central de México	Posclásico	1200-1521 dC	Agricultura	37(16+21)
5	Paila	PAI	Coahuila, NE de México	Colonial	1000-1600 dC	Agricultura	41(14+27)
6	Oloriz	OLZ	Madrid, España	Moderno	1550-1600 dC	Industria	155(5+150)
7	Pericú	BJC	Baja California Sur	Moderno	siglo XVI	Caza recolección	15(8+7)
8	San Nicolas Tolentino	SNT	Valle Central de México	Moderno	1990's	Industria	23(5+18)
9	Sonorenses	SON	Sonora, NE de México	Moderno	?	Industria	30(12+18)
10	Tarahumaras	TAR	Chihuahua, Noroeste de México	Moderno	?	Industria	33(12+21)
12	Teotihuacan	TEO	Valle de Teotihuacan	Clásico	200aC-600 dC	Agricultura	33(16+17)
13	Templo de Quetzalcóatl	TMP	Clásico	Clásico	200aC-600 dC	Agricultura	7 (0+7)
14	Tepaneca	AZC	Valle de México, Azcapotzalco	Posclásico	900-1200 dC	Agricultura	15(8+7)
15	Tlatilco	TCO	Valle Central de México	Preclásico	1300-100 aC	Agricultura	6(3+3)
16	Tlaxcaltecas	SMT	Texcalac, Tlaxcala	Colonial	Siglo XVII	Agricultura	12(5+7)
17	Toltecas	TUL	Tula, Valle de México	Epi Clásico	600-1150 dC	Agricultura	6(1+5)
18	Wamba	WAM	Valladolid	Colonial	Siglo XVII	Agricultura	124(42+82)
19	Precerámicos	PCE	Valle Central de México	Precerámico	12, 000 AP	Caza recolección	10(2+8)
							<b>765(247+518)</b>

Tabla 3.1. Poblaciones incluida en el estudio, la frecuencia general y la frecuencia por sexos de para cada colección. F=Femeninos, M= Masculinos

Las muestras clasificadas apriorísticamente por horizontes culturales (Precerámicos [PAL], Preclásico [PRE], Clásico [CLA], Posclásico [POS], Colonial[COL] y Moderno [MOD]), tienden a ser mejor mejor representadas para la fase Moderna con 320 cráneos y el 41% de la muestra, seguida de la fase colonial con 267 cráneos y 34.36% de la muestra (Tabla 3.2).

No	Horizonte	n	n acumulada	%	% acumulado
1	PAL	10	10	1.31	1.31
2	PRE	6	16	0.78	2.09
3	CLA	40	56	5.23	7.32
4	POS	134	190	17.52	24.84
5	COL	255	445	33.33	58.17
6	MOD	320	765	41.83	100

Tabla 3.2. Muestra las frecuencias de cráneos por cada horizonte cultural. Precerámicos [PAL], Preclásico [PRE], Clásico [CLA], Posclásico [POS], Colonial[COL] y Moderno [MOD]

Por otro lado, respecto a la división por estrategias económicas (caza-recolección [CZR], agricultura [AGR] e industrialización [IND]) que analizamos las poblaciones iniciales tenemos que los tres grupos tienen números muestrales muy buenos teniendo los CZR un número más bajo con 86 cráneos y un 11% de la muestra (Tabla 3.3).

No	Estrategia económica	n	n acumulada	%	% acumulado
1	CZR	86	86	11.24	11.24
2	AGR	296	382	38.69	49.93
3	IND	383	765	50.07	100

Tabla 3.3. Frecuencias por estrategia económica. Caza-recolección [CZR], agricultura [AGR] e industrialización [IND]

Finalmente para el análisis de mestizaje tenemos que todos los grupos (Ancestro mexicano [AM], Ancestro español [AE], Coloniales mexicanos [COL], Modernos españoles [MODE] y Modernos mexicanos [MODMX]) creados están bien representados teniendo un máximo de 234 cráneos para el grupo de españoles modernos y un mínimo de 183 cráneos para el grupo de ancestros mexicanos (Tabla 3.4).

		n	n acumulada	%	% acumulado
Colecciones mexicanas	AM	183	183	24.63	24.63
	COL	116	299	15.61	40.24
	MODMX	86	385	11.57	51.82
Colecciones Españolas	AE	124	509	16.69	68.51
	MODE	234	743	31.49	100

Tabla 3.4. Muestra la distribución de las frecuencias por grupos en el análisis de mestizaje. Se debe ver que la  $n$  final cambia a 743, es decir fueron excluidos 22 cráneos del análisis.

### 3.2 Características mínimas necesarias de los cráneos.

Dentro del protocolo de medición de cráneos humanos que se diseñó para este análisis se revisaron algunos criterios necesarios mínimos *a priori* para que un cráneo de una colección fuera considerado dentro de la muestra a estudiar. Ya que estos parámetros afectan directamente los resultados que se persigue y que las

técnicas usadas necesitan. Entonces, para ser incluidos en el estudio los cráneos deberían:

- 1) Pertenecer a un individuo en el cual sus características morfológicas indicaran que era un individuo adulto (ver sección sobre la metodología de sexamiento de cráneos).
- 2) Ser cráneos sin modificación intencional cultural, ya que hay numerosos trabajos de que la configuración general del cráneo cambia de manera trascendente (O'Loughlin 2004, Frieb y Baylac 2003, O'Loughlin 1996, White 1996, Kohn *et al* 1993, Konigsberg *et al.* 1993, Cheverud *et al.* 1992, Cheverud y Midkiff 1992, Anton 1989, Ossenberg 1970, McNeill y Newton 1965, Moss 1958). La deformación se evaluará según los criterios de Imbelloni (1933) y Falkenburger (1938), revisador en Munizaga (1987), Herrera (1964), Weiss (1961, 1962) y Comas (1960). Aquellos cráneos con deformación planolámbica leve o incipiente fueron incluidos ya que se comprobó que no generaron cambios sensibles a los resultados generales en trabajos anteriores (Quinto-Sánchez 2007).
- 3) No presentar enfermedades que influyan en el crecimiento, desarrollo de alguna o varias regiones del cráneo. Se prescindirá de cráneos con huellas de tumoraciones, infecciones, secuestros óseos, síndromes, etc.; ya que esto, como lo atestigua la evidencia paleopatológica (Orther 2003, Aufderheide y Rodriguez-Martin 1998, Campillo 2001), afecta la configuración espacial de la forma del cráneo, sobre todo pensando en el análisis modular del cráneos (Componentes Funcionales del Cráneo-CFC)
- 4) Sabiendo que, la evaluación de estado de conservación es el primer paso del análisis o estudio de muestras esqueléticas (Saunders 2008; 117), no se podrán incluir aquellos cráneos que se encuentren restaurados total o parcialmente, ya que no es representativo de la configuración inicial de la forma biológica. Si en alguno de los casos el cráneo en estudio es de vital importancia, se pondrá una nota informativa sobre su estado general de conservación. y se analizará su configuración entorno a la media de la población utilizada.
- 5) Finalmente, no se podrá incluir en el análisis aquellos cráneos en los que no sea posible digitalizar el 90% de los puntos craneométricos (*landmarks*). Y, como ya se mencionó, si alguno de los cráneos

esta cerca del porcentaje predeterminado, debe evaluarse en función de los puntos perdidos en el resto de los cráneos de esa misma población (para mas detalles revise la sección de valores perdidos).

Si el cráneo cumplía con los cinco rasgos anteriores era digitalizado y añadido como un caso más dentro de la matriz original de los datos para el análisis.

### **3.3 Procedencia de los cráneos en el estudio.**

Los cráneos estudiados en este trabajo son producto de excavaciones arqueológicas, hallazgos fortuitos y colecciones médicas, principalmente. Como otros materiales producto del trabajo arqueológico, el hueso humano encontrado en un contexto arqueológico particular forma parte del acervo patrimonial nacional. Por este motivo es que la mayoría de los cráneos están resguardados por el Instituto Nacional de Antropología e Historia, a través de diversas instancias. Por ejemplo, la Dirección de Antropología Física del INAH, la Zona Arqueológica de Teotihuacan o la Escuela Nacional de Antropología e Historia; de donde se extrajeron las muestras más grandes del estudio. Por otro lado, algunos de los cráneos utilizados proceden de proyectos externos al INAH como lo fue el *Teotihuacan Mapping Project*. En este contexto agradecemos a los investigadores que permitieron el acceso a las colecciones sin poner objeción alguna.

Además, la muestra de individuos españoles fue medida en tres recintos: la Facultad de Biología y la Facultad de Medicina, ambas, de la Universidad Complutense de Madrid y en el Museo Nacional de Antropología de Madrid. Estas mediciones resultado de una estancia en la UCM se financió recursos propios ya que la beca de CONACYT es raquíta y el apoyo del posgrado de iguales proporciones.



Figura 3.1. Vista exterior de la Facultad de Biología de la Universidad Complutense de Madrid.



Figura 3.2. Vista exterior del Museo Nacional de Antropología de Madrid.



Figura 3.3. Vista exterior de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid



Figura 3.4. Museo Nacional de Antropología-INAH, México DF.

La referencia de la procedencia de cada resto antiguo se evaluó mediante las fichas propias del museo o zona arqueológica, por reportes de excavación, artículos publicados, etc. Si algún cráneo no presentaba ubicación cronológica se consideraba como una observación menos (Ver Capítulo II Antecedentes).

### **3.4 Determinación de sexo, edad y prácticas culturales.**

#### **3.4.1 Sexo**

El sexo fue estimado mediante la propuesta multifactorial (Ubelaker 2003) que se resume como la integración de cada uno de los métodos para sexamiento en cráneo. Inclusive, cuando el contexto lo permitió, fueron sexados mediante la ayuda de la pelvis y/o mandíbula según los caracteres morfoscópicos de Ubelaker (2003; 74), Genovés (1962;), Ferembach *et al.* (1979), Stewart (1979), Acsádi y Nemeskéri (1970), Novotny *et al.* (1993), Bass (1971), White y Folkens (2005), Campillo y Sabirá (2004), entre otros. Los caracteres morfoscópicos evaluados incluyen el desarrollo de la region glabellar, orbitaria y mastoidea (Buisktra y Ubelaker 1994), para el caso del cráneo.

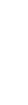
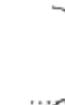
Trait	Weight	Sexualization				
		Hyperfeminine (-2)	Feminine (-1)	Indeterminate 0	Masculine (-1)	Hypermasculine (+2)
Glabella 	3	smooth 	slightly delimited 	delimited 	marked 	massive, prominent 
Mastoid process 	3	very small 	small 	medium 	large 	very large 
Nuchal plane	3	smooth	slightly arched traces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

Figura 3.5. Caracteres evaluados por morfoscopia para la determinación del sexo en el cráneo. Tomado de Ferembach *et al.* (1980), Buikstra *et al.* (1994) y Walrath *et al.* (2004).

Giles (1970;) enlista una serie de funciones discriminantes para inferir el sexo determinando que la mayoría esta en el cráneo y la mandíbula, el fémur y la pelvis, principalmente. De acuerdo a esta lista fueron evaluados los cráneos y contrastado con la cédula de defunción, reporte forense o cédula de entierro; según fuera el caso.

Según los parámetros anteriores los cráneos fueron asignados con una clave (letra) por sexo, registrándolos como masculinos (M), masculino dudoso (M?), femeninos (F), femenino dudoso (F?) y no determinable (ND).

Posteriormente, una vez realizada la clasificación *a priori*, se realizó un análisis discriminante clasificatorio para observar la matriz de reclasificaciones que el programa genera; y que prueba que tan valida es nuestra asignación a cada grupo según su modelo matemático (*cross-validation*) asignando al grupo que debería pertenecer, si fuera el caso. Luego entonces, ya integradas las clasificaciones *a priori* y *a posteriori*, verificaremos cada caso en cuestión y lo definiremos dentro del grupo correspondiente.

En relación a lo anterior y para eliminar cualquier posible efecto del sexo, se realizó una estandarización por sexo descrita por Ackermann y colaboradores (2006) que define el siguiente modelo matemático:

$$\text{Valor ajustado de sexo} = \text{valor original de sexo} + (\text{media femenina} - \text{media masculina}) \quad (3)$$

De esta manera, se tiene la seguridad de haber eliminado el efecto del sexo en el estudio. Entonces, los datos tienen eliminados los efectos del tamaño y dimorfismo sexual en el análisis.

Aunque lo ideal sería que nuestro muestreo fuera aleatorio, las condiciones reales de la investigación no lo permiten. Primero, porque las excavaciones arqueológicas son insuficientes y no se buscan los materiales biológicos como objetivo. Segundo, porque aunque se planteará un muestreo aleatorio en una zona arqueológica, nada nos garantiza que se cumplan los lineamientos de elección positiva de un cráneo x.

Por lo anterior, debemos describir que nuestro estudio trato de generar una equidad de sexos de 1:1; es decir tener la misma cantidad de individuos masculinos que femeninos.

Entonces, para fines de este estudio se reportan el número de hombres y mujeres por poblaciones para referencia y consideración de los mismos.

Asimismo se sabe que el uso de las series femeninas se fundamenta en razón de que este sexo canalizaría mejor el desarrollo. Por otro lado, el período de crecimiento craneofacial de los hombres se extiende más que el de las mujeres (Bogin 1988, Sardi 2002) lo que implica que los primeros están sometidos a mayor influencia ambiental durante el crecimiento que las segundas (González-José 2004). Consideramos que la edad óptima para observar la diferenciación sexual es 18 años, cuando se ha terminado el desarrollo de las características que aparecen durante la pubertad (Krogman e Iscan 1986), por lo que nuestro estudio emplea cráneos adultos humanos.

Dadas estas condiciones podemos ver que dentro del análisis se realizó la estandarización propuesta por Ackermann (2006) ya descrito y un análisis discriminante con validación cruzada de 1000 permutaciones las cuales se presentan al final de la tesis como anexos.

#### **3.4.2 Edad.**

La edad se determinó mediante los parámetros de Ubelaker (2003; 82-114), White y Folkens (2005), Bass (1971), Campillo y Sabir (2004), Comas (1966;360, 398-400, 412-417) y Arking (1998) recomendadas para el cráneos; y cuando se tenia acceso al esqueleto poscraneal se evaluaba la cintura pélvica u otros huesos largos; se analizaba el grado de desarrollo de la sínfisis pública, la superficie auricular del coxal y la fusión de epífisis en los huesos largos.

Se siguió la clasificación por rangos de edad de Ubelaker (2003). La diferenciación entre estos rangos se evaluó de acuerdo al desarrollo dentario (Figura 3.6) que es uno de los caracteres más estables para la determinación de edad en cráneo (Ubelaker 2003;83-87). Ya que, aunque el análisis de la edad aún incluye la obliteración de las suturas craneanas (Todd y Lyon 1924, 1925a, 1925b, 1926c, McKern y Stewart 1957, Meindl y Lovejoy 1985) la crítica a la variabilidad de las mismas (Comas 1966; 356-360, Hoffman 1987), nos

permiten disentir del uso de este caracter para la determinación de la edad. Para este estudio sólo fueron incluidos individuos adultos; infantiles, juveniles y avanzados o seniles, fueron descartados para el análisis.

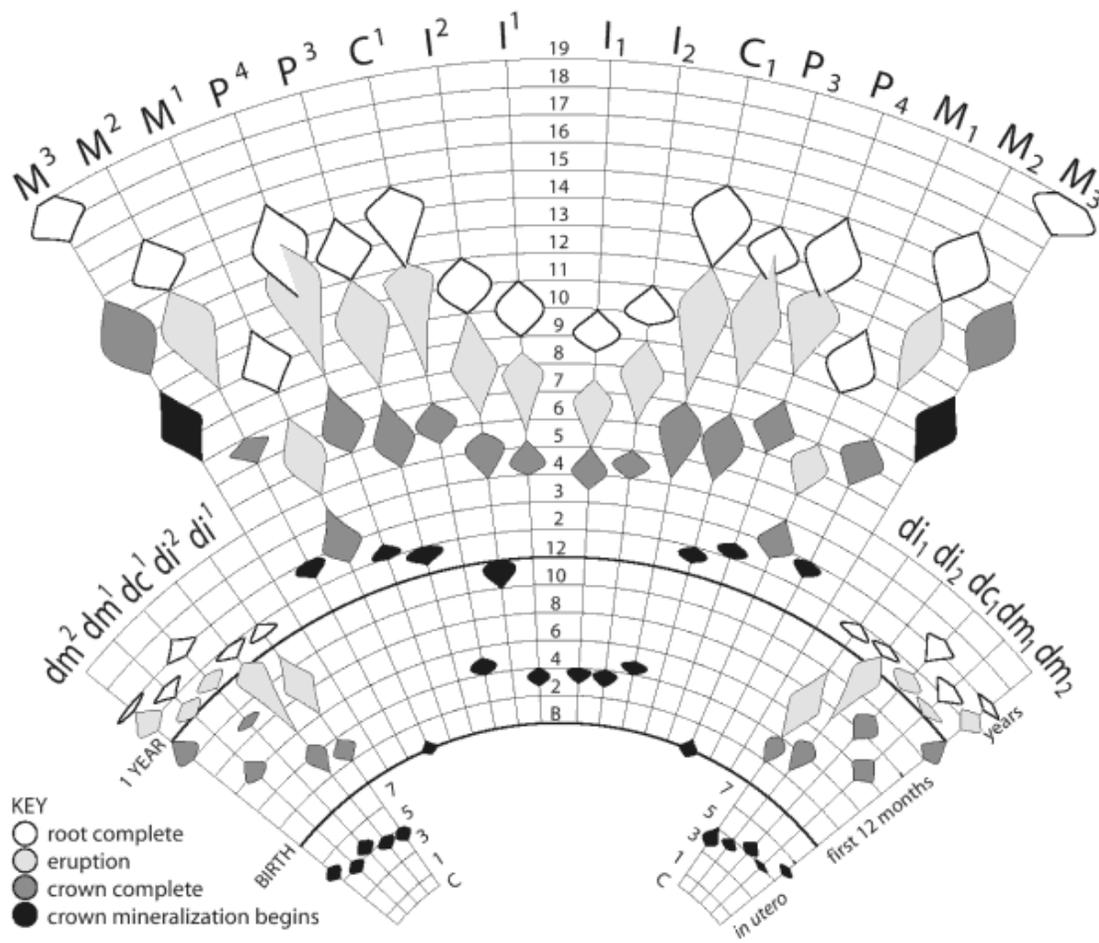


Figura 3.6. Muestra la relación de la variación en el tiempo del desarrollo dental propuesto por Gustafson y Koch (1974), con los datos del tercer molar de Anderson *et al.* (1976). Los rangos son más o menos una desviación estándar para los terceros molares. Patrones: negro, comienza la mineralización de la corona; gris oscuro, corona completa; gris claro, erupción y blanco raíz completa.

### **3.4.3 Sobre las prácticas culturales que fueron consideradas como modificadoras de la morfología craneana inicial.**

Para que los datos representaran la forma espacial original del individuo, los cráneos que presentaran modelado cefálico intencional o trepanaciones que afectaran la toma del 90% de los puntos, fueron eliminados del estudio. El modelado cefálico cultural fue evaluado mediante las clasificaciones de Imbelloni (1933) y las revisiones de Munizaga (1987) para América. Además se evaluó la intensidad del modelado como incipiente (1), medio (2), importante (3) y extremo (4). Cuando la deformación era muy incipiente se evaluó si la inclusión de los individuos deformados afectaba los resultados, ejercicio que se ha aplicado en estudios anteriores y que no generó cambio en los resultados (González-José *et al.* 2007, Quinto-Sánchez 2007).

En el caso de las trepanaciones, si estaban presentes, se reportaron como observación y se evaluó si ésta hacía perder información de la forma. Si no sobrepasaba el 10% de puntos perdidos el cráneo era digitalizado.

### **3.5 La digitalización de las colecciones craneanas.**

La digitalización de los cráneos fue realizada mediante el uso de un brazo *Microscribe G2* (Immation 2006; Figura 3.7). El brazo mecánico tiene una área de trabajo de 50 pulgadas (127 cm) y una exactitud de 0.009 pulgadas (0.23 mm; 100 puntos de la esfera ANSI) (Ibidem; Figura 3.8). Estas características le confieren al brazo una exactitud por arriba que cualquier instrumento osteométrico clásico, empleado en el trabajo de medición craneológica.

### **3.6 La orientación del cráneo.**

Con el fin de que las comparaciones sean válidas e informativas se optó por que los cráneos presentaran necesariamente la misma orientación espacial. Según la Convención de Mónaco (1884) la orientación del cráneo se realiza sobre un plano que involucra tres puntos craneométricos (*landmarks*) el

porion derecho e izquierdo y el orbital izquierdo (White y Folkens 2000;57, Schwartz 1994;23), el Plano Horizontal de Frankfurt (PH, *Frankfurt Horizontal*) nombrado así por el nombre de la ciudad donde fue establecida en 1884 (White y Folkens 2000; 57). En la digitalización, para su aplicación en la morfometría geométrica, la orientación hacia este plano no es forzosa, a menos de que se requiera una fotografía ya que la captura de los puntos es independiente a la orientación del mismo. El único requerimiento es que, como lo veremos más adelante, una vez comenzada la toma de datos el cráneo no se debe mover.



Figura 3.7. Digitalizador *Microscribe G2* utilizado en el estudio.



Figura 3.8. Aspecto del área de trabajo del aparato y de los elementos necesarios (pc, brazo y observador) para la digitalización de un cráneo.

El brazo obtiene las coordenadas  $x$ ,  $y$  y  $z$  de cada punto craneométrico (*landmark*) utilizado, empleando una interfase informática y una computadora. Por defecto, el digitalizador presenta el origen de las coordenadas en el centroide del aparato (Figura 3.9) pero el *software* permite reconfigurar el origen de las coordenadas según lo requiera el autor. Como parte de la estandarización de medición, se ha optado por una configuración inicial según los puntos: nasión, hormion y bregma (Figura 3.9).



Figura 3.9. Origen de los datos en el centroide del digitalizador *Microscribe* G2 (izquierda) y su reconfiguración en el cráneo (derecha).

La digitalización se realizó mediante los parámetros propios de la morfología clásica según las normas de la Convención de Mónaco de 1906 (Comas 1966, Wilder 1920, Bass 1987); aunque, como ya lo citamos, el *Microscribe* tiene la ventaja de no perder la orientación del cráneo una vez que se hayan definido los puntos de referencia en el cráneo. Además, como un extra, se pueden obtener mediciones directas mediante la fórmula de distancia entre dos puntos en tres dimensiones. Cabe destacar que la mayor ventaja de la digitalización es que los datos espaciales pueden transformarse a datos métricos clásicos y no viceversa (Bruner 2007;1358, Corner *et al.* 1992, 347-350). En términos concretos, la medición con digitalizador reduce de manera trascendente el tiempo de toma de datos, el error y el daño a los cráneos por manipulación.

Por último cabe destacar que la utilización del *Microscribe* tiene numerosas ventajas respecto a la métrica clásica o directa;

- 1) Proporciona una técnica de digitalización/medición rápida, confiable y de fácil manejo.
- 2) Rastreo de los contornos de estructuras craneales.
- 3) Trabaja con objetos físicos de cualquier forma, tamaño y material.
- 4) Emplea una interfase que se permite la toma de datos y su acceso directo a un ordenador.

- 5) Minimiza el error en la toma de datos con compases y permite que no se pierda la información de la forma biológica.

Igualmente, el digitalizador tiene un principal problema, se pierde información de la estructura de manera proporcional al número de *landmarks* utilizados en el análisis (Figura 3.10).

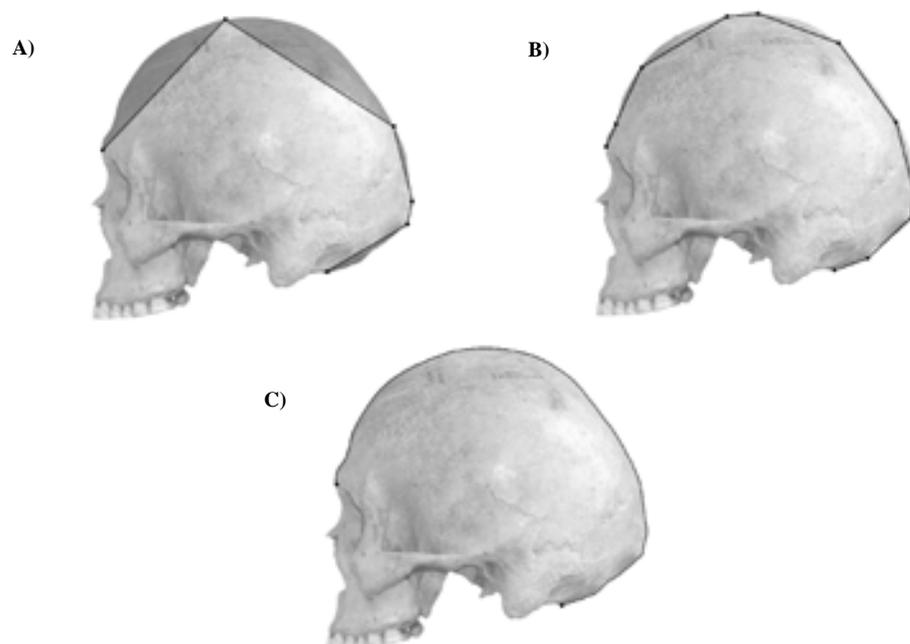


Figura 3.10. Principal problema en la morfometría geométrica: la pérdida de la información de la forma en los segmentos *interlandmarks*. A) Protocolo utilizado en la tesis para delimitar el neurocráneo, b) protocolo alternativo para definir más la forma de la bóveda craneal, y c) contorno obtenido mediante el trazo directo (semejante a un craneograma clásico) para no perder la información geométrica visual de la forma, pero sin valor analítico ya que este no se incluye en el proceso de análisis.

Se digitalizaron 65 puntos craneométricos (*landmarks*) para cada individuo. Mismos que forman parte de un protocolo que fue diseñado por Rolando González-José y Neus Martínez-Abadías y que retomamos para el estudio de las poblaciones mesoamericanas, ya que permite la comparación de éstos con poblaciones de contextos culturales, geográficos y cronologías diferentes. Del protocolo inicial fueron incluidos 37 *landmarks* en tres dimensiones (Tabla 3.5) con información biológica particular tendiente a explicar: 1) la posible contribución genética de los caracteres entre poblaciones y 2) algunos de los rasgos más afectados por el ambiente; ambos, desde la perspectiva de la integración morfológica.

No	Clave	Landmark	Definición
1	pr	Pruthion	El punto medio más anterior sobre el proceso alveolar del maxilar.
2	ekm	Ectomolare r y l	El punto más lateral de la cara externa de los márgenes alveolares del maxilar sobre la posición del segundo molar.
3	nar	Nariale r y l	El punto más inferior sobre la apertura nasal.
4	al	Alare r y l	El punto más lateral sobre el margen de la apertura nasal.
5	inf	Maxillofrontale r y l	El punto donde la cresta lacrimal anterior del maxilar se encuentra la sutura frontomaxilar.
6	zyu	Zygoorbitale r y l	El punto donde el margen orbital intercepta la sutura zigomaxilar.
7	ek	Ectoocondion r y l	El punto más lateral sobre el margen orbital.
8	ftm-a	Frontomolare ant r y l	El punto donde la sutura frontozigomática cruza el borde inferior orbital.
9	zpr	Zygion r y l	El punto lateral máximo sobre el arco zigomático.
10	eur	Euryon r y l	Los puntos de la máxima anchura de la bóveda craneal perpendicular al plano medio sagital. El punto es tomado en las eminencias parietales sobre los temporales.
11	ast 1	Asterion r y l	El punto donde las suturas lambdoides, parietomastoideas y occipitomastoideas se encuentran.
12	ftm-t	Frontomolare temp l	El punto donde la sutura frontozigomática cruza con la línea temporal.
13	st	Stephanion l	El punto donde la sutura coronal cruza la línea inferior temporal.
14	n	Nasion	El punto medilíneal donde los dos huesos nasales y el frontal se interceptan.
15	g	Glabella	El punto medilíneal más anterior en el hueso frontal, usualmente sobre la sutura frontonasal.
16	b	Bregma	El punto ectocranial donde las suturas coronal y sagital se interceptan.
17	l	Lambda	Punto de la intersección de las suturas sagital y lambdoides en el plano medio sagital.
18	op	Opisthocranium	El punto más posterior del cráneo sobre la línea media sagital. Este punto es la longitud más lejana desde la glabella.
19	i	Inion	Punto ectocranial medilíneal en la base externa de la protuberancia occipital. Es el punto en el cual las líneas nasales superiores se unen al borde externo de la protuberancia occipital.
20	o	Opisthion	El punto medilíneal en el margen posterior del <i>foramen magnum</i> .
21	ba	Basion	El punto medilíneal sobre el margen anterior del <i>foramen magnum</i> .
22	ho	Hiormion	El punto más posterior sobre el vomer.
23	psa	Post nasal spine	El punto final posterior del plano palatino.
24	zu	Zugile t	El punto más profundo de la escotadura entre el temporal y el proceso frontal del zigomático.
25	ar	Sup zygo-temp l	Punto superior entre las suturas temporal y zigomática sobre el proceso zigomático.
26	it	Inf zygo-temp l	El punto más bajo de la sincondrosia zigotemporal.
27	po	Porion l	El punto más superior sobre el margen externo del mismo orbitivo.

Tabla 3.5. Lista de landmarks digitalizados en los 765 cráneos del estudio

El programa *MorphoJ* (que es el software morfométrico utilizado en este tesis) permite el acceso de los 37 landmarks para realizar el análisis en conjunto y, posteriormente, hicimos una selección pensando en dos polígonos que nos informaran sobre el cambio en la forma de las poblaciones. De esta manera, se construyeron dos polígonos (*wireframes*): un lateral, que incluye la silueta de la cara y todo el neurocráneo en norma lateral izquierda, y un facial (Figura 3.11) que tiene incluye puntos bilaterales de acuerdo al set de landmarks iniciales. Para los resultados se presenta la norma lateral izquierda, la vista inferosuperior del neurocráneo, la vista frontal del esplagnocráneo, la inferosuperior y lateral izquierda del mismo.

Los landmarks están distribuidos en las 6 normas craneales clásicas, aunque sin la rigidez posicional que en la morfometría clásica. En el caso de la información global de la forma del cráneo, se debe decir que la forma corresponde a los puntos orientados al plano sagital del cráneo.

Por otro lado, en el proceso de digitalización se tomaron puntos en la norma lateral izquierda. Y, por último, los cráneos fueron fijados con plastilina comercial (para evitar su movimiento y que las referencias espaciales no cambien); además que en algunos puntos craneométricos fueron definidos *a priori* ya que se ha observado, por análisis previos (González-José *et al.* 2007, Martínez-Abadías *et al.* 2006, y Quinto-Sánchez 2007) que se reducía el error en su toma de datos poniendo etiquetas.

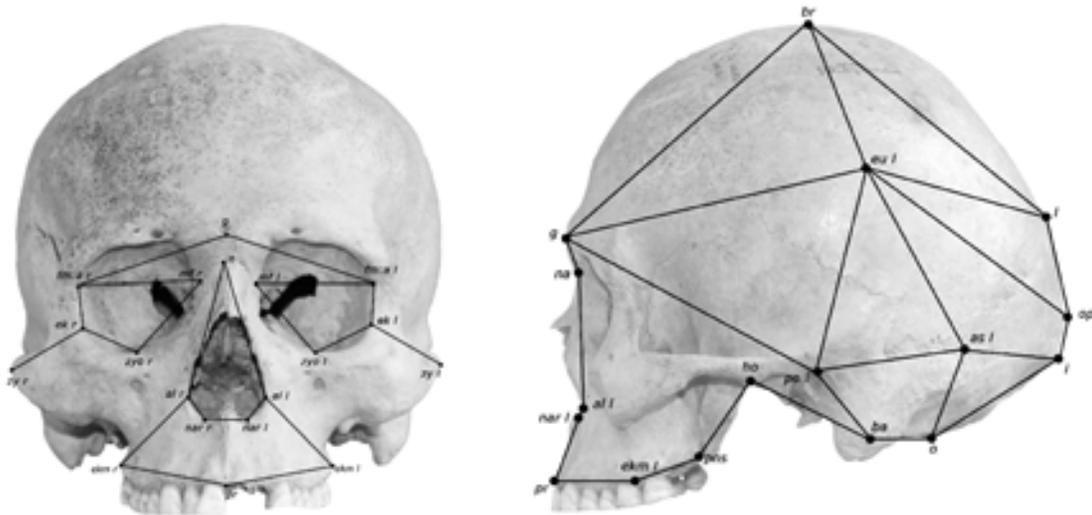


Figura 3.11. *Wireframes* creados para conocer el cambio en la forma del cráneo. En los resultados finales se presentarán 5 vistas a partir de estas dos normas: lateral izquierda, infero-superior neurocráneo, frontal del esplagnocráneo, infero-superior del esplagnocráneo y lateral izquierdo del esplagnocráneo.

### 3.7 Diseño experimental.

El concepto de probabilidad es central en la ciencia y la técnica moderna (Bunge 1980; 25), de este concepto definimos que nuestro experimento reconoce la importancia de la probabilidad estadística y niega el determinismo, considerando los apuntes de Dupré (1993) y Mayr (2006) sobre los tipos de determinismo y/o reduccionismo en biología. Entonces, debemos entender que el grado de confirmación de una hipótesis no debe igualarse a su probabilidad (Bunge 1980; 26); es decir, la probabilidad de que un hecho  $x$  suceda y confirme un fenómeno  $Z$ , no determina que suceda determinadamente. La complejidad de los fenómenos solo hace poder predecir o inferir un fenómeno, nunca saber como sucederá. Por ejemplo, la correlación para la

cual se debe tener reserva en el análisis, muchas de ellas no son causales, y cuando lo son, la existencia y la importancia de la correlación no suele proporcionar indicación alguna sobre la naturaleza de la causa (Gould 1996; 243-46). La correlación esta relacionada con la dependencia o independencia de variables para un determinado universo de datos.

Luego entonces, aclarado este punto podemos decir que nos situamos en la resolución de problemas de investigación que son sistemas disipativos o en no equilibrio (Prigogine 1983, Bertalanffy 1978). La idea de este aseveración es que los cambios evolutivos no pueden entenderse desde modelos mecánicos simples. Ello nos brinda el *corpus* teórico que necesitamos para comprender como un sistema poligenético esta actuando de manera integrativa con el ambiente, al configurar una morfología craneana final o fenotipo craneano.

Así, con estas referencias conceptuales, podemos enmarcar nuestro diseño experimental como experimento sobre la variabilidad biológica modelo libre (Relethford y Lees 1982) por medio del cual a partir de la medidas de similitud fenotípica se infieren, indirectamente, las diferencias entre la estructura de la población. Entonces los patrones de variación son comparados y/o correlacionados pero no se exploran sus causas directamente (González-José 2006). Además, el modelo libre (Figura 3.12), implica la utilización de modelos matemáticos y teóricos formales con el objetivo de estimar parámetros concretos mediante los datos (Relethford y Blangero 1990;)



Figura 3.12. Diagrama de flujo del modelo libre propuesto por Relethford y Blangero (1990).

El experimento se genera como un trabajo, según Méndez y otros (2006), retrospectivo parcial, vertical, comparativo de efecto causa y observacional.

El valor observado cuando se mide un caracter en un individuo es el valor fenotípico. Además, las observaciones, ya sean medias, varianzas o covarianzas; deben estar basadas claramente en medidas de los valores fenotípicos (Falconer y Mackay 2001;111).

### **3.8 Perspectivas de la muestra.**

En esta tesis el concepto de muestra debe ser comprendido a la luz de las limitantes propias de la biología antropológica. Es decir, las muestras a las que tuvimos acceso son el resultado de la casualidad o los proyectos arqueológicos. En su mayoría, son producto de exploraciones no necesariamente pensadas en muestrear esqueletos, así que presentan numerosos problemas en su registro desde su excavación.

En los estudios de distancia biológica, donde se expresan las afinidades morfológicas entre dos o más poblaciones; la medida en que las relaciones derivadas de este tipo de comparaciones reflejan la realidad, en función de dos factores, principalmente, (1) lo idóneo de la muestra y (2) la selección de rasgos determinados genéticamente frente a los determinados por el ambiente (Ubelaker 2003; 151).

Los tamaños de las muestras en este estudio (Tabla 3.1) son, para algunos casos muy bajos. Sin embargo, la muestra total es mayor a 500 cráneos por lo que consideramos que las poblaciones con  $n$  grandes cubren estadísticamente a las muestras con  $n$  pequeñas. Entonces, reconocemos que en muchos casos la muestra no es representativa según la teoría general del muestreo y el teorema del límite central. Sin embargo, debemos defender el hecho de que éstos cráneos representan la única referencia biológica de algunas poblaciones antiguas.

Un aspecto importante es definir que nuestro estudio sustituye la desacreditada definición tipológica de una población, donde se reconocen un cierto conjunto de características o rasgos identitarios como un tipo que si presentan o no este caracter único son parte de una población (Ubelaker 2003; 151); en la biología la concepción tipologista, aun socorrida por un gran numero de antropólogos físicos a pesar de las pruebas

aportadas desde numerosas disciplinas (Gould 2003, Long *et al.* 2009, Caspari 2009, Relethford 2009, Edgar y Hunley 2009), se ha sustituido por el concepto de afinidad biológica poblacional, que reconoce que todos los niveles de diversificación biológica incorporan un rango de variación, y ningún individuo aislado o grupo de individuos, es probable que contenga la dotación completa de rasgos (Ubelaker 2003;151).

Muchos estudios, en paleoantropología o paleontología, recurren a muestras de contraste grandes para que estadísticamente, aquellas muestras que están por debajo de 30 individuos tengan un <<attractor>> a es decir, que se compense el efecto de muestras pequeñas.

Bastir y Rosas (2004) utilizan 25 mandíbulas de *Homo neanderthalensis* y 82 mandíbulas de *Homo sapiens* (Humanos modernos) en el análisis de la variación en la forma (*shape*), su alometría y sus implicaciones en la evolución de la morfología craneana del humano anatómicamente moderno.

Harvati (2004) utiliza 14 cráneos de *Homo neanderthalensis* y 6 cráneos de europeos del Paleolítico superior (*Upper Paleolithic Europeans*) y solo 1 espécimen del Pleistoceno Medio; junto a 270 individuos de nueve poblaciones humanas modernas (Andamanense, Australian, Austrian Berg, W. African Dogon, Greenland Inusguk, Melanesian Tolai, Western Eurasian, Khoisan, Afalou/Taforal Epipaleolithic) en su análisis del hueso temporal comparativo entre Neanderthal y humanos anatómicamente modernos.

En este contexto, tenemos limitantes pero también opciones para reducir el sesgo en el muestreo. Debemos tener en cuenta que los restos humanos representan no solamente extraordinarias fuentes de información científica, si no también individuos únicos (Ubelaker 2006; 27). Así que tratamos de reducir al máximo la anisotropía de los datos y su distribución heteroscedástica.

### **3.9 Efecto de los valores perdidos (*missing values*) y su estimación matemática.**

Debido a múltiples factores, como la tafonomía, procesos de excavación, etc., los cráneos pueden presentar fracturas que afecten el proceso de digitalización. Para este estudio se optó por eliminar aquellos cráneos que tuvieran más del 5% de los puntos craneométricos perdidos. Los anteriores criterios dado que los

programas de MG y estadística regularmente no aceptan la falta de un dato (Sokal y Rolfh 2003;) caso del programa *MorphoJ*. Así que se diseñó un pequeño protocolo para sustitución de datos en los casos donde se presentaban. Entonces, si la sumatoria de datos perdidas para la población era mayor que 1% se tenía que quitar algunos casos hasta que se ajustara el valor. En este caso, como se tiene una  $n=765$  cráneos se podrá sustituir valores en 849 coordenadas, es decir, 283 *landmarks*. La operación se genera multiplicando el la  $N$  por el número de *landmaks* y posteriormente por el número de dimensiones (2D o 3D). Así, en nuestro estudio tenemos que el total en la base de datos que generamos tiene 84,915 cifras, donde 849 es el 1% de este dato que dividido por el número de dimensiones (3D) tenemos que sólo podemos sustituir 283 *landmarks* en tres dimensiones.

Posteriormente, el criterio de sustitución esta relacionado a varios factores. Lo que se hizo primero fue valorar el comportamiento del resto de los datos por población y generar una modelo de regresión lineal de los datos con el cual, comparando con la estadística descriptiva básica se puede tener un valor aproximado a la que se obtuvo. En otros casos si la desviación estándar es mínima se sustituyó por el valor medio de la muestra, aunque siempre es preferible el modelo de regresión lineal de los datos.

### **3.10 Estadística descriptiva: análisis previo y de estandarización al trabajo de morfometría.**

Una etapa inicial y fundamental en cualquier ciencia es la etapa descriptiva, ya que hasta que los hechos puedan ser descritos exactamente tal como son, es prematuro un análisis de sus causas (Sokal y Rolfh 2003; 26). Como no es viable el análisis de cada uno de los caso, utilizamos modelos que “*resuman*” la variación de nuestro fenómeno, por ello la estadística descriptiva sintetiza estas dos necesidades para poder ver la tendencia central de nuestros datos.

Por lo anterior, utilizamos dos tipos de parámetros estadísticos: los de localización y los de dispersión (*Ibidem*; 26). Dentro de los parámetros estadísticos de localización fueron calculadas: la media, mediana y moda. Los de dispersión calculados y analizados fueron: rangos, desviación estándar, curtosis,

asimetría y varianza. Además, con el fin de comparar el grado de variación de los datos que tienen diferentes medias se calculó el coeficiente de variación (Ibidem;44), ya que este es independiente de la unidad de medida y se expresa como un porcentaje (Daniel 2006; 42-43).

Si las muestras no siguen la distribución normal, entonces aplicamos el teorema del límite central, que garantiza que a partir de poblaciones con distribución no normal, que se obtengan aproximadamente los mismos resultados (Daniel 2006; 130, Sokal y Rohlf 2003;92).

Según Daniel (2006;130) una regla empírica establece que un tamaño de muestra 30 es suficiente para considerarse como una muestra viable, cuando las muestras son aleatorias. Debemos recordar que la aproximación a la normalidad de la distribución muestral para la  $\bar{x}$  llega a ser mucho mejor a medida que crece el tamaño de muestra.

Un hecho importante, que cabe destacar, es que los análisis aquí descritos se realizan a partir de la base de datos ya transformada mediante las técnicas de MG, concretamente, llevamos la transformación al espacio de Kendall por medio de el *Análisis Generalizado de Procrustes (Generalized Procrustes Analysis, GPA)*.

### **3.11 Programas (software) especializados empleados para el análisis.**

La generación de esta tesis se apoyo con varios *softwares* que permiten al autor realizar diversas pruebas estadísticas para confirmar o descartas las hipótesis propuestas.

El programa de morfometría geométrica empleado es la plataforma para *Macintosh MorphoJ* (Klingenberg Lab 2008) versión 1.00k disponible gratuita en: [http://www.flywings.org.uk/MorphoJ\\_page.htm](http://www.flywings.org.uk/MorphoJ_page.htm) bajo licencia Apache License, Version 2.0.

En la generación de los parámetros estadísticos básicos, análisis de escalamiento multidimensional, las gráficas 3D, *scatterplots*, gráfica de cajas, tablas de frecuencias, etc.; fueron realizadas con el programa

*Statistica* (Stat soft 2009) versión 8.

El *cluster analysis* fue realizado mediante el programa denominado PAST (*Paleontological Statistics*) (Hammer 2001) que es gratuito y se encuentra en la página web: <http://folk.uio.no/ohammer/past/>

Los árboles filo-fenotípicos fueron reeditados en el programa *Tree View* (Page 1996) que es libre y esta disponible en <http://taxonomy.zoology.gla.ac.uk/rod/treeview.html>

El análisis Relethford-Blangero y Fst fueron calculados mediante el software *Rmet* (Relethford 2009) para windows versión 3.1 disponible de forma gratuita en: <http://konig.la.utk.edu/relethsoft.html>

La correlación de las matrices de distancias geográficas y genéticas se realizó gracias al programa MANTEL (Relethford 2009: <http://konig.la.utk.edu/relethsoft.html>).

### **3.12 Estudio de error intraobservador.**

Como muchos textos lo discuten (Ross y Williams 2008, Cramon-Taubadel *et al.* 2007, Richtsmeier *et al.* 2005, Arnqvist y Martensson 1998, Buikstra y Ubelaker, White y Folkens, ) los estudios de error intra e inter observador son un paso importante en la formación de un morfólogo. Siguiendo esta propuesta metodológica se realizó un nuevo estudio de error para verificar la fluctuación del error cometido por el observador en las mediciones realizadas.

Arnqvist y Martensson(1998; 76) delimitan el error en los datos de *landmarks* como:

$$ME(\zeta) = \zeta_m + \zeta_i + \zeta_p \quad (4)$$

donde  $\zeta_m$  es el error metodológico,  $\zeta_i$  el error del instrumento y  $\zeta_p$  el error personal. Cada uno de estos factores aditivo del modelo de error de medición tienen subdivisiones (Figura 3.13).

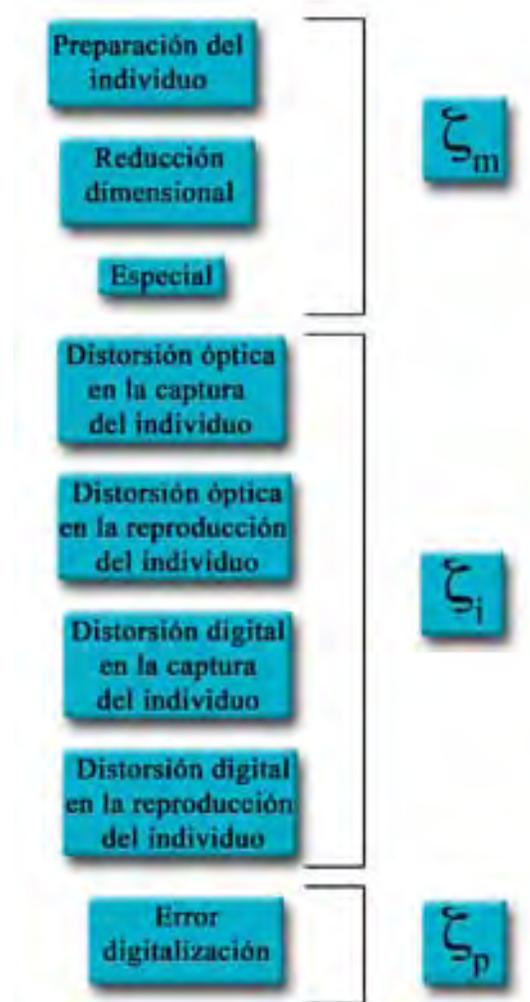


Figura 3.13. Segmentación de los componentes integradores del error en la morfometría basada en *landmarks* (modificado de Arnqvist y Martensson 1998).

Para ello, se realizaron digitalizaciones de 169 puntos craneométricos en 5 cráneos durante 10 días, siguiendo el mismo protocolo para todas las repeticiones. Estos datos fueron tratados mediante una prueba de ANOVA para repeticiones dentro del programa *Statistica*. El análisis persigue estimar el error medio del observador, que es el resultado del promedio de los errores para cada *landmark* utilizado en el análisis.

### **3.13. Análisis microevolutivo mediante la forma (*shape*) del fenotipo craneano.**

#### **3.13.1. Análisis de Variación Canónica (CVA) de las poblaciones mexicanas antiguas, de sus fases culturales y el tipo de estrategia económica.**

Con el fin de evaluar el cambio en la forma en poblaciones pretéritas mexicanas se diseñó un protocolo (Figura 3.12) que intenta resolver esta incógnita. Una vez estandarizadas la base de datos por medio del Ajuste de Procrustes. Se ingresaron los datos al programa *MorphoJ* junto con un archivo de 5 variables clasificatorias: Población (POP), horizonte cultural (TIME), sexo (SEX), tipo de estrategia económica (ECO) y la clasificación de grupo para el análisis de mestizaje (MZT). Una vez cargados los archivos el primer punto es el paso al espacio morfogeométrico, mediante el ajuste por Procrustes (GPA). El programa obtiene la forma media de la totalidad de los cráneos, asimismo que calcula las coordenadas de Procrustes, *centroid size*, la matriz de covarianza, la suma de los cuadrados de Procrustes y la suma tangente de los mismos.

Una vez quitados los efectos de translación, rotación y escalamiento, se generó la matriz de covarianza a partir de la cual se realizó un análisis de componentes principales (PCA), un análisis discriminante (DA) y un análisis de variación canónica (CVA). Los CVA *scores* fueron guardados y procesados para su graficación en el programa *Statistica*. Para cada raíz canónica resultante existe su correspondiente polígono de cambio en la forma, así se puede contrastar la gráfica de cada raíz con los cambios sobre cada raíz graficada.

Además el análisis arroja las distancias de Mahalanobis (Mahalanobis 1936) y de Procrustes (Bookstein 1998) que se utilizaron como base para el análisis de escalamiento multidimensional (MDS), que generó una gráfica con triangulaciones de Voronoi, polígonos de Thiessen o de proximidad. Éstos son un modelo geométrico que permite construir una segmentación de interpolación de un plano euclídeo. Se trata de una interpolación simple basado en la distancia euclidiana. Se forman al unir los puntos entre sí, trazando las mediatrices de los segmento de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de

polígonos en un espacio bidimensional alrededor de un conjunto de puntos de control, de manera que el perímetro de los polígonos generados sea equidistante a los puntos vecinos y designando su área de influencia.

Asimismo, mediante las mismas matrices se generó un fenograma por medio del programa *PAST* análisis de agrupación por el algoritmo *UPGMA* (Sokal y Michener 1958). Algunos de éstos árboles de retocaron en el programa *Tree View*; la idea consiste en evaluar todas las posibles topologías y encontrar la mejor, esto es difícil, ya que el número de topologías se hace increíblemente grande incluso para un tamaño de estudio moderado; por lo que se pueden tener aproximaciones para tener el árbol más parsimonioso (Freeman y Herron 2002; 446)

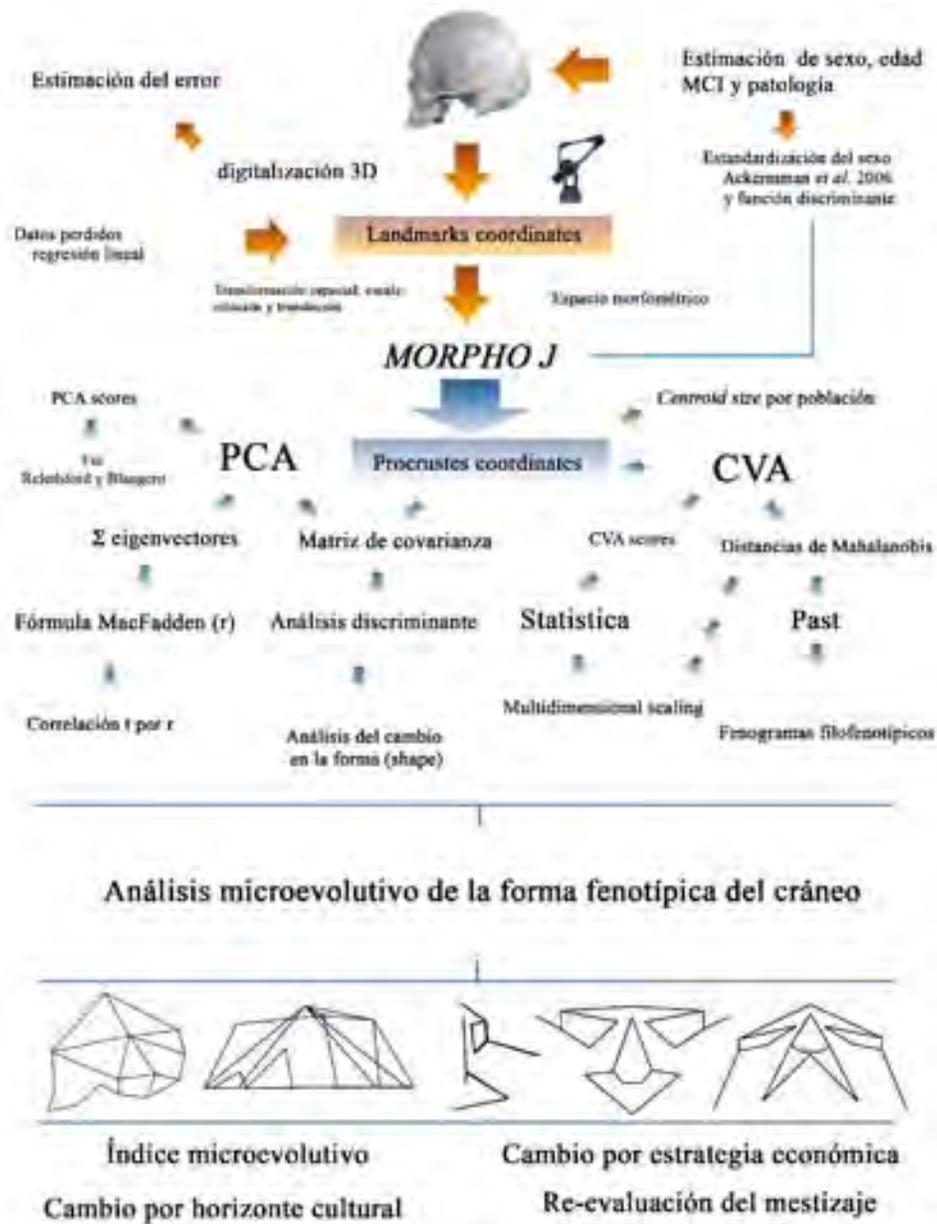


Figura 3.14. Protocolo general del análisis de la tesis.

Así, como parte del mismo proceso de análisis se generó, a partir de la matriz de covarianza, un análisis discriminante<sup>1</sup> por cada par o combinación de los horizontes culturales y estrategia económica. Lo anterior nos permite conocer como se comportan a la comparación por medias de los horizontes culturales o tipo de economía, su valor discriminante con significación y una validación cruzada de los mismos para 1000 permutaciones. Finalmente, cada comparación tiene un valor de significación  $p$  que también se reporta en resultados.

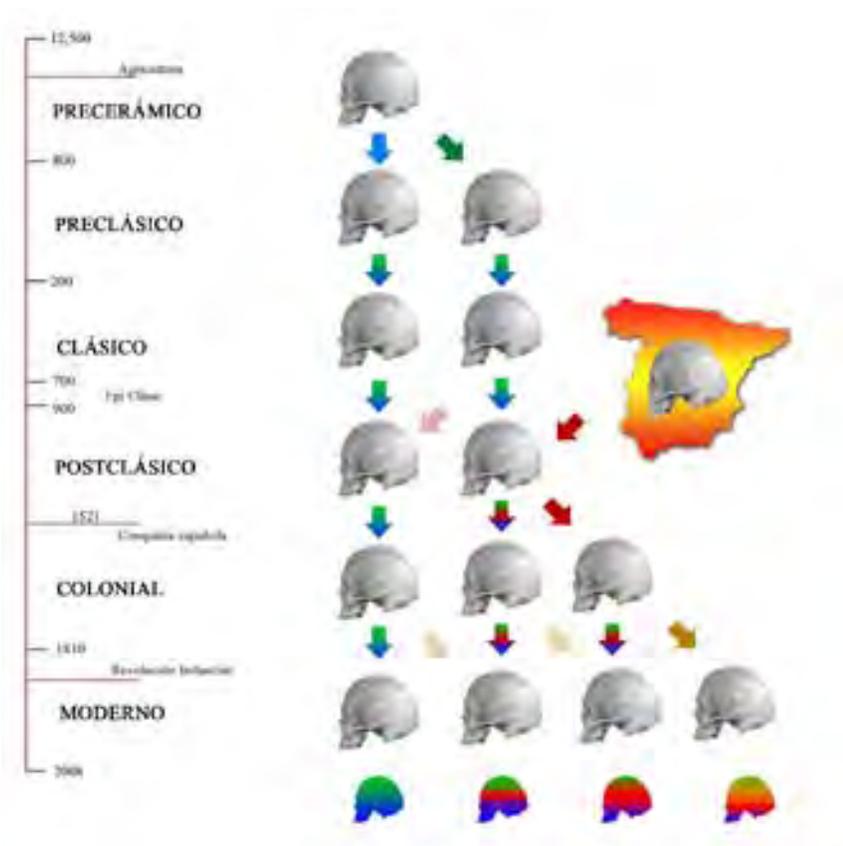


Figura 3.15. Protocolo teórico del análisis microevolutivo de la forma fenotípica del cráneo. Cuatro posibles morfologías de acuerdo a la historia biológica. Se consideran como puntos clave: 1) paso de caza-recolección a agricultura, 2) Mestizaje y 3) paso de Agricultura a Industrialización.

<sup>1</sup> Las funciones discriminantes son ortogonales, así que la contribución a la discriminación entre grupos no se solapa (Manly 1994).

Por último, se generó un análisis de estructura poblacional de Relethford y Blangero y el cálculo de un índice de diversidad para estimación de flujo génico  $F_{st}$ . Esta fue realizada para todas las poblaciones y para los horizontes culturales. Para tratar de inferir cómo se comportó el flujo génico de las poblaciones en relación a la fase cultural.

### **3.12.2 Re-evaluación de Mes t i z a j e e n M é x i c o .**

Con el fin de re-evaluar la componente de la morfología ancestral española se generó un pequeño sub análisis dentro de la tesis (Figura 3.14), ya que la historia microevolutiva no estaría completa sin comprender como se comportan las morfologías ancestrales mexicanas respecto a las poblaciones pos-contacto. Se siguió la idea publicada por Neus Martínez-Abadías (2006), pero esta vez se incluyen una  $n$  mayor y una mejor presentación de las colecciones españolas.

El protocolo fue el mismo que se describe anteriormente solo que, como se reportó en el inicio las frecuencias de cada grupo cambian y algunas de las colecciones no fueron utilizadas. Las comparaciones que realizamos, a diferencia del estudio previo tienen representación de poblaciones del norte, pero al igual que el anterior mayoritariamente representada por individuos del centro de México.

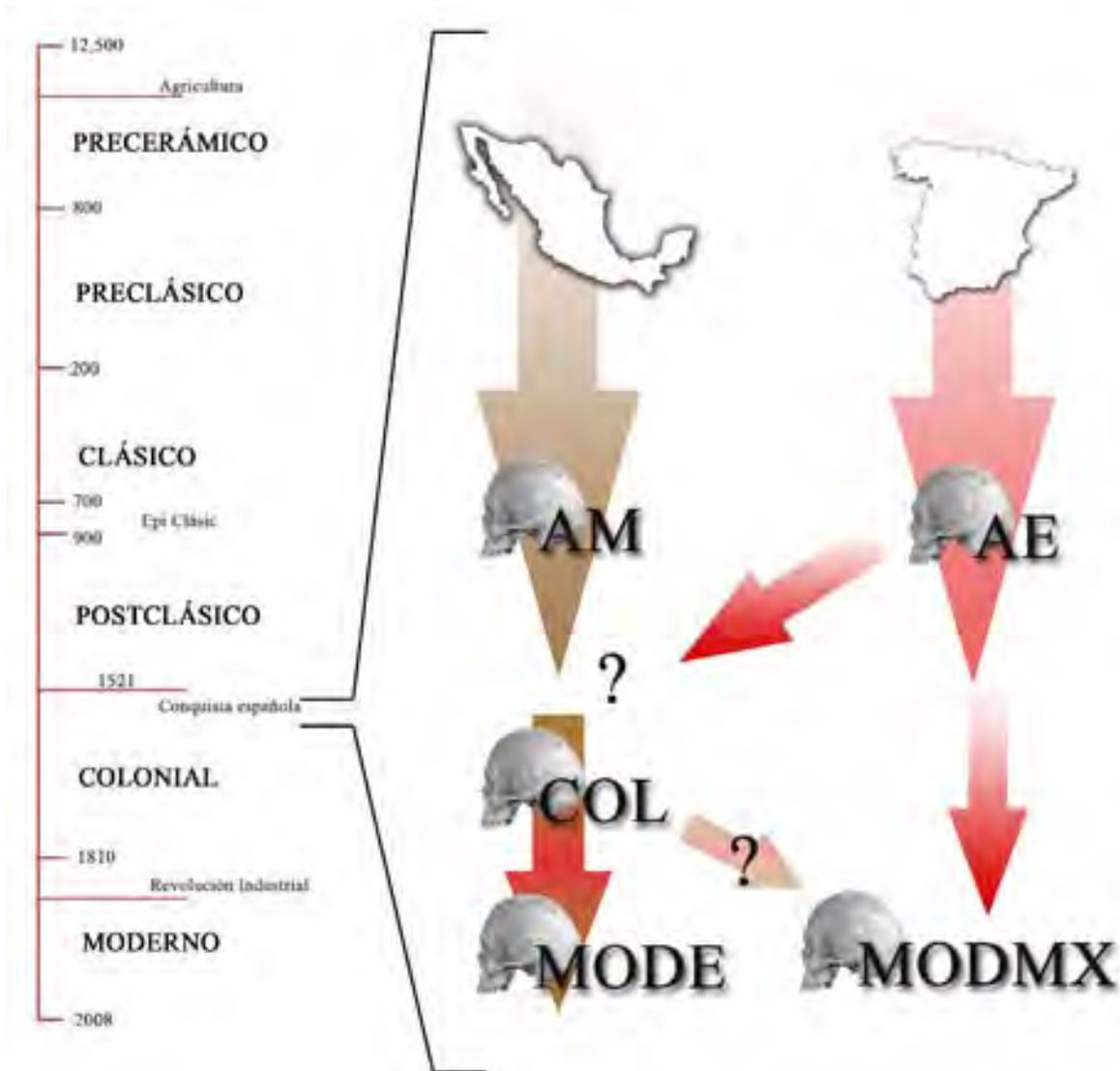


Figura 3.14. Modelo de análisis de mestizaje. Dos historias biológicas diferentes (AE y AM) tienen un punto de inflexión en 1521. Se pueden generar muchas hipótesis de cada fase desde la Colonia hasta la fase Moderna.

### 3.12.3 Tasa de evolución del cráneo: el caso de México.

El último análisis de esta tesis comprende la estimación de la tasa de evolución que ha tenido el cráneo. Para dicho análisis se retoma la fórmula propuesta por MacFadden (1988) y la revisión de Gingerich (1983) para el cálculo de la tasa de evolución ( $r$ ) para caracteres entre pares ancestro-descendiente en el linaje de los caballos, utilizando el siguiente modelo matemático:

$$r = \frac{(\ln x_d - \ln x_a)}{(\Delta t)} \quad (5)$$

donde  $x_d$  y  $x_a$  hacen referencia a los valores promedio del carácter en las especies descendiente y antecesora, respectivamente,  $\Delta t$  el tiempo de separación entre las mismas y  $r$  la tasa de evolución. Los valores resultantes se expresan en unidades *darwins* y es definida como el cambio del carácter en un factor (base de los logaritmos neperianos equivalentes a 2,718) por millón de años. Un *darwin* equivale a un cambio de 2,718 por millón de años (e.g. 0.05 *darwins* suponen un cambio de 0.05 x 2,718 por millón de años=0.1359 por millón de años o 14% de la variación en tal cantidad de tiempo).

En el caso del presente análisis los términos de la fórmula original no son empleados. Seguimos la idea de que el tiempo macroevolutivo podría ser explicado en términos microevolutivos (Fontdevilla y Moya 2003;426), así utilizamos el concepto de *microdarwins*, miles de años y fase en lugar de *darwins*, millones de años y caracteres, respectivamente.

Se debe transformar a logaritmos neperianos los datos de los valores medios de cada población para permitir la comparación de tasas de cambio en fases de tamaño muestrales muy diferente. Además, se calculó una media geométrica para el tiempo con el fin de estandarizar esta variable.

## 4.1 Análisis previos sobre la muestra.

### 4.1.1 Datos perdidos.

De la matriz de configuración original de los datos, sólo fueron sustituidos 108 puntos que no se obtuvieron producto de la digitalización (*landmarks*). Esta cifra representa, tan solo, el 0.38 % de los *landmarks* de todos los cráneos; por lo cual estamos dentro del rango establecido del 1% de sustituciones de los valores de acuerdo a la metodología. De igual manera, se encontró que la mayor frecuencia de pérdida está asociada a *landmarks* como el *prostion*, ectomolares, alares, nariales y zigomáticos; todos ellos en el esplagnocráneo.

### 4.1.2. Cráneos fuera de rango y extremos (*outliers*).

El algoritmo del programa *MorphoJ* para determinar a los cráneos que se consideran fuera de rango o residuales generó una lista de las desviaciones de cada cráneo al valor de la forma media (*average shape*) (Tabla y Figura 4.1).

Cráneo	AS	Cráneo	AS	Cráneo	AS
54	530.28	10	227.68	716	152.34
248	519.72	513	214.9	520	152.02
755	482.07	37	206.71	652	151.99
372	475.29	1	204.83	599	151.76
649	420.14	769	204.08	632	151.45
527	417.71	226	199.01	18	151.08
237	415.93	316	191.64	613	150.85
6	415.66	670	190.39	650	149.18
686	407.92	622	185.68	414	148.11
547	373.33	641	185.1	745	147.84
3	358.09	7	181.57	216	147.09
575	342.55	252	179.84	540	146.94
648	341.73	715	178.75	314	146.25
711	331.5	370	176.15	620	144.25
13	311.77	5	174.6	268	142.57
724	308.63	730	174.37	407	141.39
628	278.59	276	173.78	243	139.43
758	269.62	775	172.06	317	139.02
161	268.28	105	171.34	202	138.53
330	261.77	753	170.75	221	138.43
696	254.14	762	168.83	238	137.84
642	249.9	239	157.71	203	137.44
664	247.56	418	157.62	[...]	
11	242.86	619	157	156	52.02
490	241.11	107	156.89	27	51.89
104	241.04	721	155.13	665	51.81
777	238.85	768	154.55	541	51.74
315	232.45	230	154.09	79	50.13
736	227.91	441	153.25	133	46.65

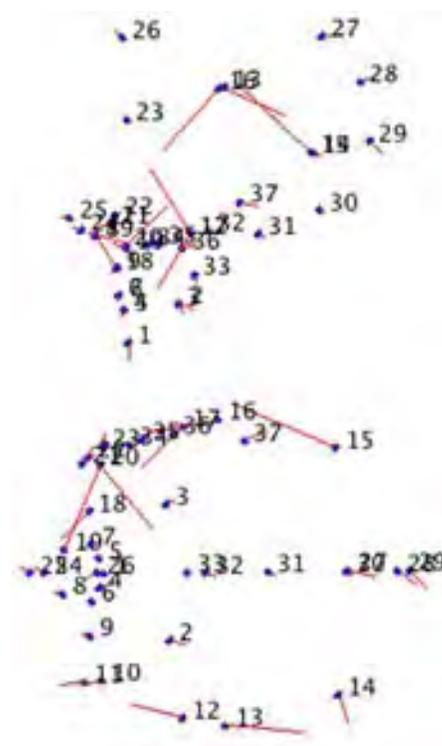
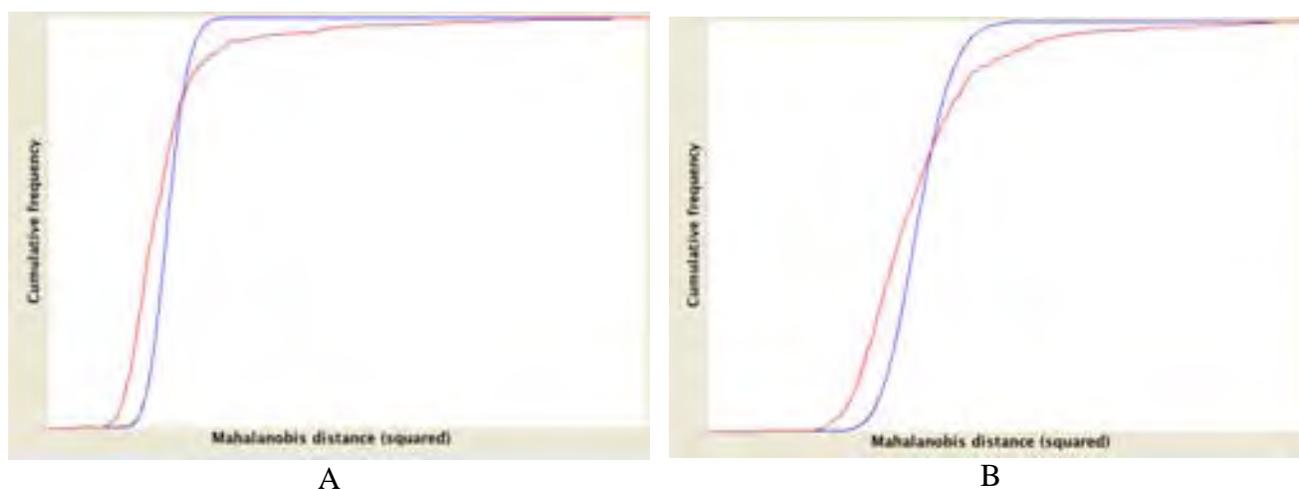


Tabla 4.1. Muestra los valores fuera del rango obtenidos mediante *MorphoJ*. Se presenta una lista de cada cráneo por su valor de desviación a la forma media (*AS-average shape*). Por motivos de espacio se presentan los primeros 80 valores máximos de la lista y los 6 valores finales menores.

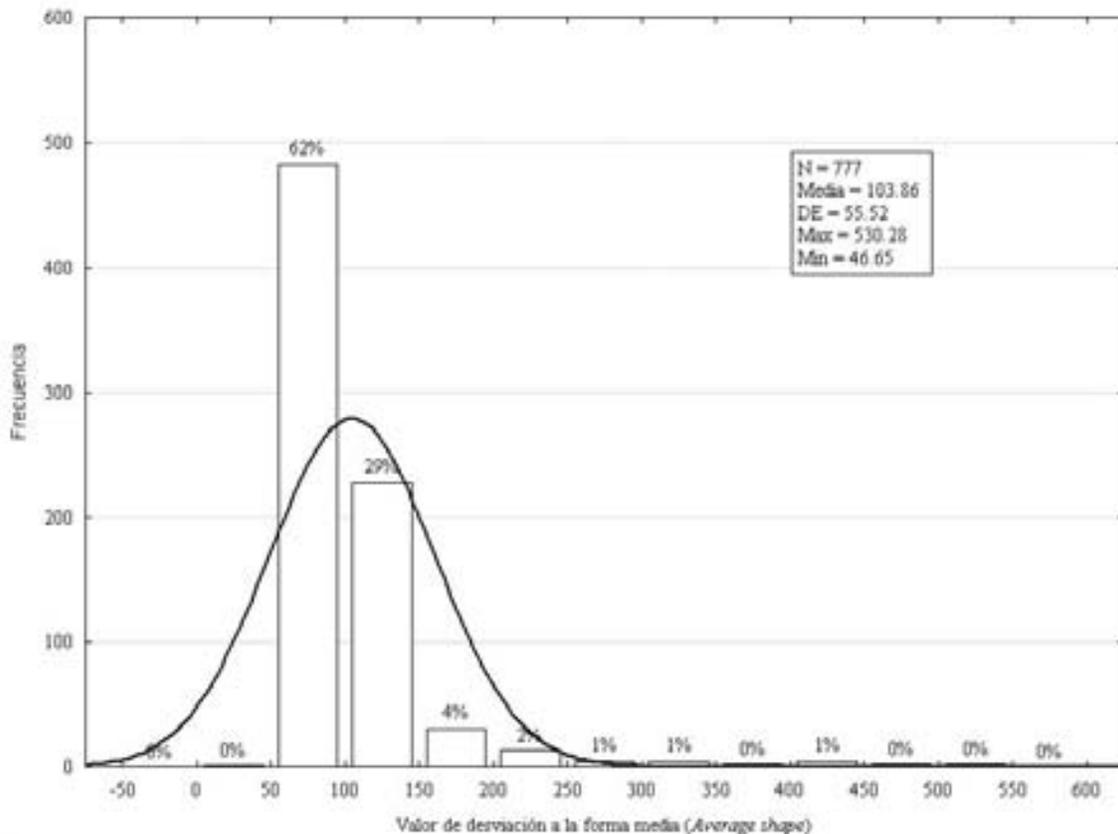
Figura 4.1. Ejemplo de un cráneo fuera de rango (*outlier*) descartado de la muestra. Se puede observar los vectores asociados a puntos craneométricos (*landmarks*) que salen de rango de variación de la forma media o consenso (*AS-average shape*). Se presenta la vista lateral izquierda y la postero-anterior del cráneo.

Asimismo, el programa arrojó gráficas (Gráfica 4.1: A y B) que muestran el comportamiento de distribución de las distancias cuadráticas de Mahalanobis (*squared Mahalanobis distance*) de acuerdo a sus frecuencias acumuladas (*Cumulative frequency*), en relación a la inclusión/exclusión de un cráneo en particular. La línea azul es la curva esperada para una distribución normal multivariante obtenida de los datos originales y la línea roja es la distribución de las distancias de la base de datos; es decir las gráficas explican la relación entre lo observado/esperado. Dependiendo de la relación entre la dimensionalidad de los datos y los tamaños muestrales en la base, se utiliza las distancias de Procrustes o las distancias cuadráticas de Mahalanobis (Klingenberg & Monteiro 2005). Solamente que las distancias de Procrustes es una medida de la magnitud absoluta de la desviación de la forma (*shape deviation*) y las distancias cuadráticas como un cráneo inusual en relación a los otros cráneos de la muestra (que aplica para el caso de muestras grandes). Estos conceptos debemos tomarlos en cuenta al analizar los resultados. La inclusión/exclusión de individuos modificó la asimetría de las curvas.

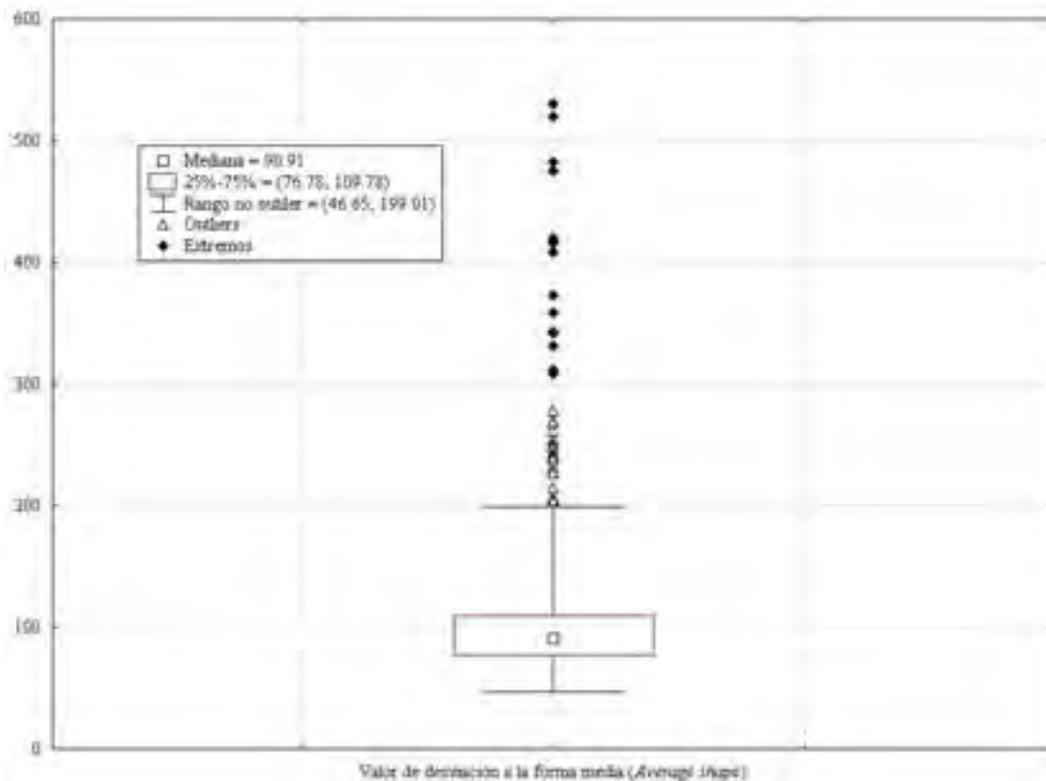


Gráficas 4.1. Comportamiento de la distancias cuadráticas de Mahalanobis respecto de su frecuencia acumulada. A= con *outliers*; B= sin *outliers*. Se puede ver como las curvas se ajustan más uniformemente cuando han sido eliminados los individuos fuera de rango (*outliers*) y/o extremos.

La gráfica 4.2, presenta el histograma de frecuencias de los valores de desviación de la forma media (AS), se puede observar que entre valores de 0 y 250 se concentra el 97% de los cráneos. Así, que mediante la ayuda de una gráfica de caja (*Boxplot-outliers*) se perfiló el punto de corte de los cráneos extremos en 300 (Gráfica 4.3).



Gráfica 4.2. Histograma de frecuencias de los valores de la desviación media (*Average shape*) de la búsqueda de cráneos fuera de rango. La línea permite conocer la distribución de los datos y trazar un corte hipotético a los datos.



Gráfica 4.3. Muestra una gráfica de caja de los valores de la desviación a la forma media (*Average shape*) que define el punto de corte en un valor de 300. Así, fueron eliminados los cráneos extremos.

De la lista general se eliminaron 19 cráneos que se describen en la Tabla 4.2. Los precerámicos (PCE) fue la más frecuente con 3 casos eliminados. Los cráneos masculinos fueron los de mayor frecuencia de eliminación con 12 casos y la cronología moderna (MOD) resultó la mayor, con 6 casos.

No	Cráneo	AS	POB	SEX	CRO
1	3	358.09	PCE	M	PAL
2	6	409.24	PCE	F	PAL
3	10	354.2	PCE	M	PAL
4	54	520.2	CAN	M	POS
5	104	318.19	AZC	M	POS
6	237	414.74	WAM	F	COL
7	248	512.65	WAM	M	COL
8	372	469.44	MAM	F	MOD
9	527	415.07	OLZ	M	MOD
10	547	370.89	PAI	M	COL
11	575	338.8	PAI	F	COL
12	641	185.02	TEO	F	CLA
13	648	337.59	TMP	M	CLA
14	649	421.85	TMP	M	CLA
15	686	404	SON	M	MOD
16	696	251.51	SON	F	MOD
17	711	327.06	TAR	M	MOD
18	724	302.82	TAR	M	MOD
19	755	494.38	SNT	M	MOD

Tabla 4.2. Muestra las referencias de los cráneos eliminados de a muestra. La N=765 se modificó a 746. En gris los valores de una segunda reconfiguración donde se excluyeron 5 casos más.

#### 4.1.3 Análisis generalizado de Procrustes (GPA).

En las figura 4.2 (A, B y C) se pueden observar las configuraciones del GPA (*Generalized Procrustes Analysis*). Se presentan las diferentes vistas de una configuración espacial 3D que muestra el programa *MorphoJ*. Esta imagen representa la dispersión de los datos mediante el ajuste que se realizó por medio de la relación de mínimos cuadrados; entonces, la relación espacial que vemos tiene fuera los efectos de rotación, translación y escala. Aunque no es factible de análisis si es un medio morfoscópico para observar las claras diferencias entre las diferentes partes del cráneo.



Figura 4.2. Muestra la distribución de los cráneos una vez eliminados los efectos de rotación, translación y escala. A) vista lateral izquierda, b) vista infero-superior y C) vista anteroposterior.

#### 4.1.4 Efecto del sexo: análisis discriminante.

Una vez aplicado el análisis discriminante resultó que las medias para los sexos tienen una distancia de Mahalanobis de 1,9973 ( $p < 0.0001$ ), aún para 1000 permutaciones. Los cráneos femeninos se clasificaron “correctamente” en 201 de los casos y 416 para hombres. Tan solo, 32 cráneos femeninos se clasificaron dentro del rango de variación de los masculinos y 77 de los masculinos en los femeninos.

A la validación cruzada, con 1000 permutaciones de los femeninos se clasificaron “correctamente” 173 individuos y 382 de los masculinos. En adición, 60 casos de femeninos se clasificación dentro de la distribución media de los masculinos y 111 masculinos en la distribución femenina (Tabla 4.3).

	Femenino	Masculino	n
Femenino	201 (86.27)	32 (13.73)	233
Masculino	77 (15.62)	416 (84.38)	493
validación cruzada			
Femenino	173 (74.25)	60 (25.75)	233
Masculino	111 (22.52)	382 (77.48)	493
N 726			

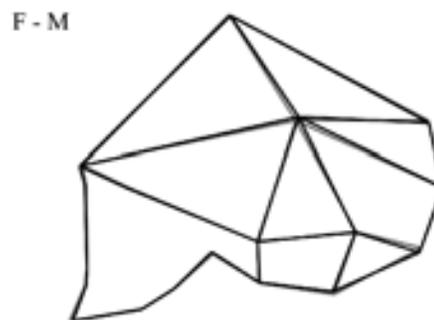
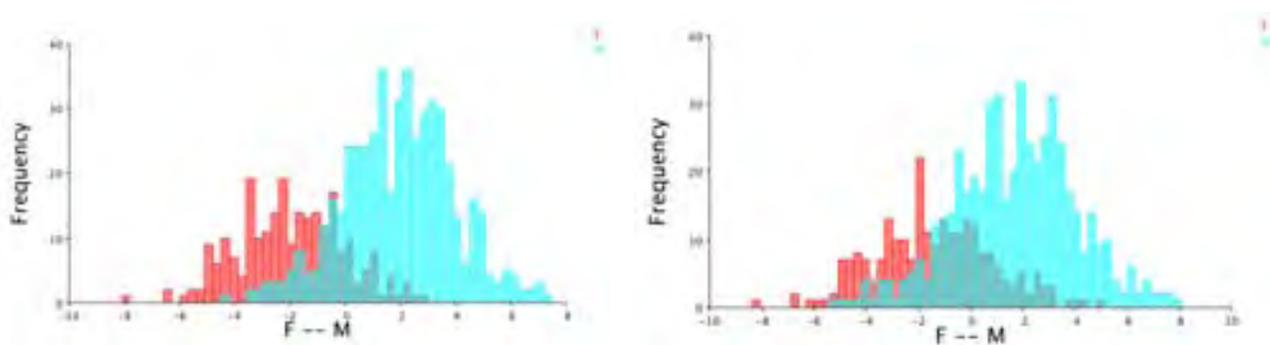


Tabla 4.3 Clasificaciones del análisis discriminante por sexo. Valor de porcentaje entre paréntesis. Arriba valores de la clasificación sin permutación. Abajo valores de las mismas clasificaciones después de 1000 permutaciones

Figura 4.3 Polígono (wireframe) de diferencias entre medias de los cráneos clasificados como femeninos (gris) y masculinos (negro).

Es visible el poco grado de variación entre las medias de los sexos (Figura 4.3). Los histogramas permiten ubicar mejor la varianza entre los sexos (Gráfica 4.4 a: simple y b: validación cruzada). El superposicionamiento de las distribuciones corrobora los datos anteriores.



Gráfica 4.4. Muestra los histogramas de la distribución del sexo. Femeninos (Rojo:izquierda) y Masculinos (Azul:derecha). A) clasificación simple y B) reclasificación por validación cruzada con 1000 permutaciones.



## 4.2 Análisis de variación canónica (CVA) de las poblaciones mexicanas antiguas.

Se incluyeron 407 cráneos según las frecuencias de la Tabla 4.4. Candelaria (CAN) tiene el máximo con 76 cráneos y Tula (TUL) y Tlatilco (TCO) con un mínimo de 6 con un total de 15 poblaciones incluidas en el análisis. Las series españolas fueron evaluadas en un análisis separado, como ya se comentó en la metodología.

No	Población	Observaciones
1	AZC	15
2	BJC	15
3	CAN	76
4	PAI	41
5	PCE	10
6	SMT	12
7	SNT	23
8	SOL	63
9	SON	30
10	TAR	33
11	TCO	6
12	TEO	33
13	TLA	37
14	TMP	7
15	TUL	6

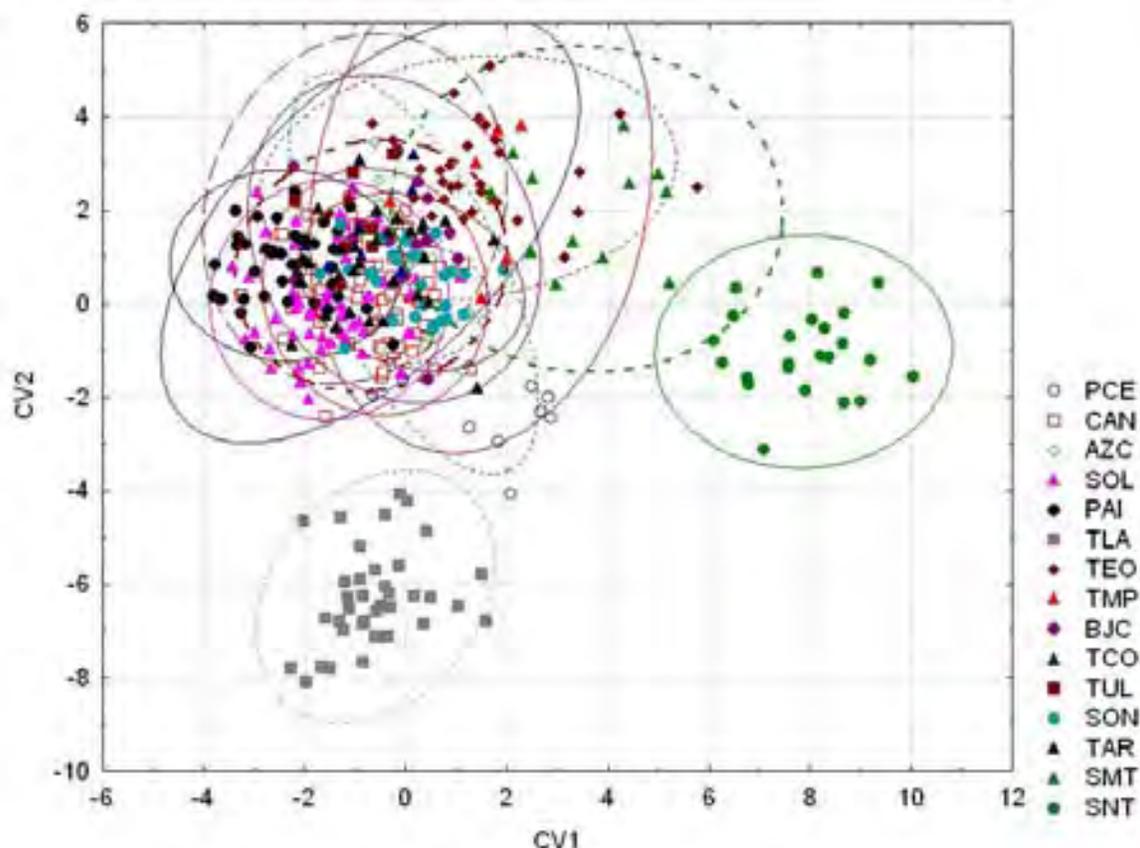
Tabla 4.4. Frecuencias por población utilizadas en el MePSSA

El análisis canónico para estas 15 poblaciones resultó en 14 ejes de variación canónica, teniendo un valor máximo de varianza de 20.27% y completando 95.94% de la varianza en la 11va raíz canónica (Tabla 4.5). Las primeras 3 raíces, que son las que se analizan y reportan gráficamente reúnen un acumulado de 53% de la varianza.

No	Eigenvalores	% Varianza	% Acumulado
1	5.39	20.27	20.27
2	5.07	19.06	39.33
3	3.81	14.3	53.63
4	2.51	9.43	63.07
5	2.25	8.47	71.54
6	1.73	6.51	78.04
7	1.29	4.86	82.9
8	1.22	4.59	87.49
9	0.97	3.64	91.13
10	0.82	3.07	94.2
11	0.46	1.74	95.94
12	0.44	1.64	97.58
13	0.42	1.57	99.14
14	0.23	0.86	100

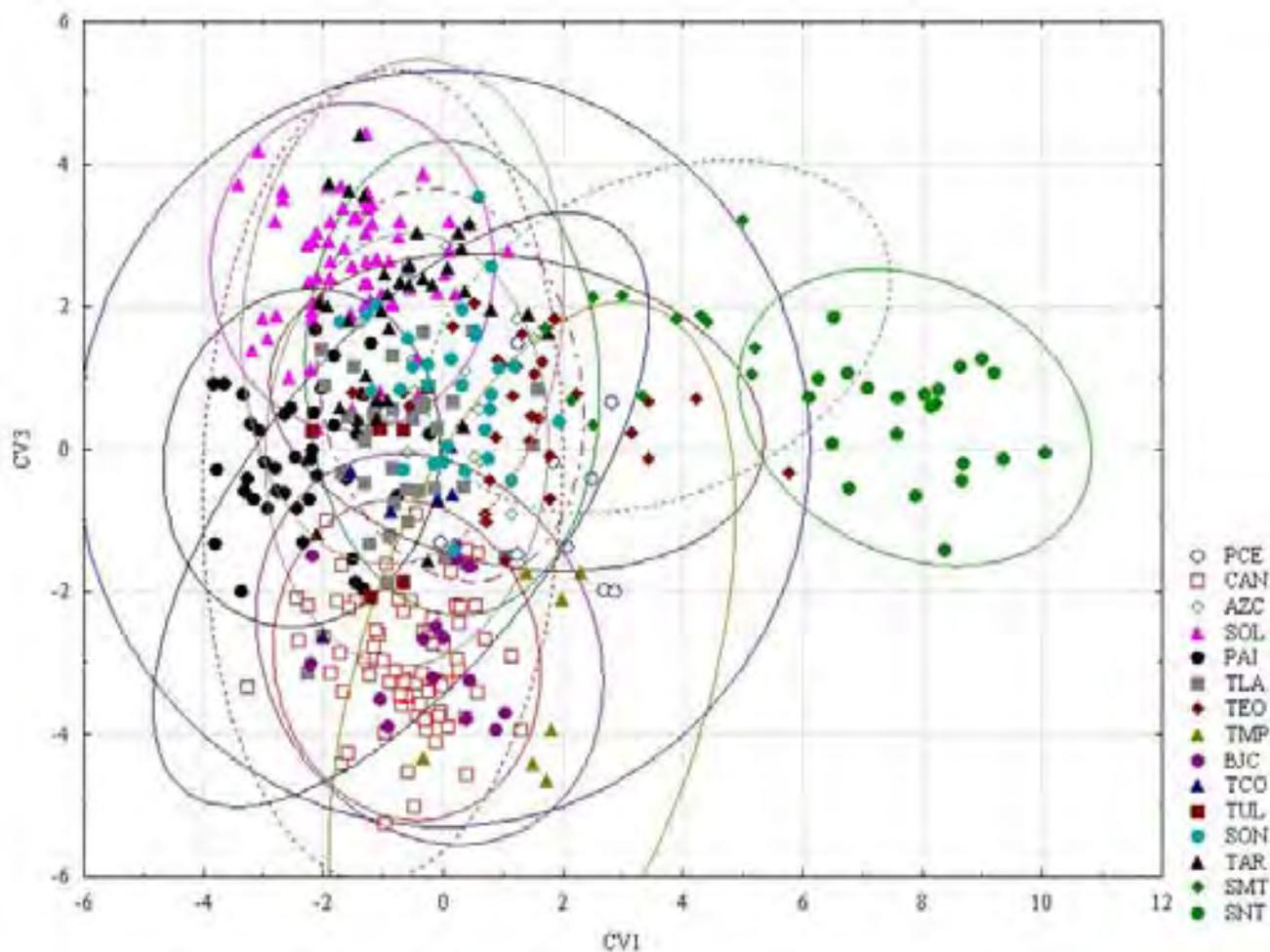
Tabla 4.5. Valores asociados al CVA. Se reportan los eigenvalores, el porcentaje de varianza explicada y su porcentaje de acumulación.

La gráfica 4.5 nos permite ver los primeros patrones de separación por grupos. Hacia valores positivos de la primera raíz canónica podemos ver a la colección de San Nicolas Tolentino (SNT) y hacia valores negativos de la primera y segunda raíz Tlatelolco (TLA). El resto de las poblaciones están orientadas hacia valores positivos de las dos raíces y representan un conglomerado superpuesto de variación.



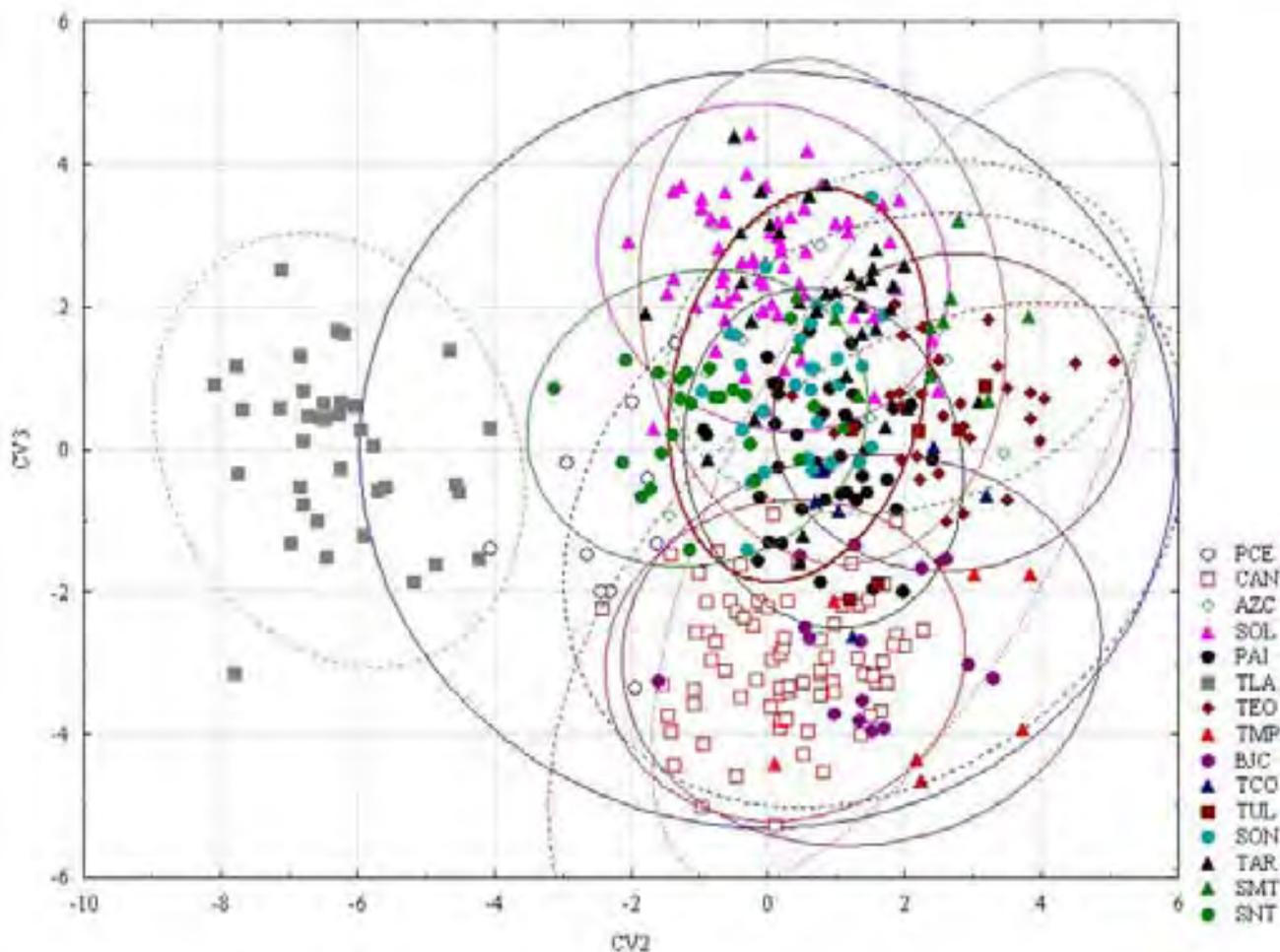
Gráfica 4.5. Diagrama de dispersión de los valores (*scores*) canónicos para cada población incluida en el análisis. La primera raíz explica 20.7% de la varianza y la segunda raíz 19.06 % de la misma. Las elipses representan el 95% de la varianza de la población.

La gráfica 4.6 de la primera y tercera raíces canónicas permite ver que SNT está ampliamente aislado de todas las colecciones. Y denota la separación del complejo que en la primera gráfica no se podía observar por el superposicionamiento de poblaciones, principal problema de llevar un análisis multivariante a un espacio gráfico euclidiano. Así, podemos ver como Soledad (SOL) se diferencia de Candelaria (CAN) y Pericues (BJC). Sin embargo, lo que podemos asegurar es que existe una homogeneidad dentro de las poblaciones mexicanas. No así para la estructura interna la cual es muy diversa.



Gráfica 4.6. Diagrama de dispersión de la 1ra (20.27%) y 3ra (14.3%) raíces canónicas para todas las poblaciones incluidas en el estudio.

Por otro lado, la gráfica 4.7 de la segunda y tercera raíz canónica nos permite adentrarnos más en la relación poblacional, teniendo totalmente aislada a Tlatelolco (TLA) que es población Posclásica. y que denota, junto con San Nicolás Tolentino una gran discriminación respecto al resto de poblaciones.



Gráfica 4.7. Diagrama de dispersión de la 2da (19.06%) y 3ra (14.3%) raíces canónicas para todas las poblaciones incluidas en el estudio.

El programa *MorphoJ* generó la máxima y mínima variación sobre cada uno de los ejes o raíces canónicas. La figura 4.4 nos permite describir como está cambiando la forma del cráneo (desde una vista general=esplagnocráneo + neurocráneo) donde la mayoría del cambio se concentra en la cara y en el neurocráneo siendo la región media de la base del cráneo el área que menos cambia para este grupo de poblaciones. El cambio en la segunda raíz canónica es más conservador y nos habla de la complejidad de la historia biológica de las poblaciones dentro de la superposición de poblaciones en las gráficas anteriores. En la raíz canónica tres se puede observar un cambio importante en la zona del neurocráneo superior y posterior; haciendo ver que hacia valores positivos de la raíz los cráneos son más altos respecto a los que se encuentran en valores negativos de la raíz. A partir de la cuarta raíz canónica se observan cambios importantes en la zona basal, el neurocráneo, prognatismo y en algunos casos, la angulación del esplagnocráneo.

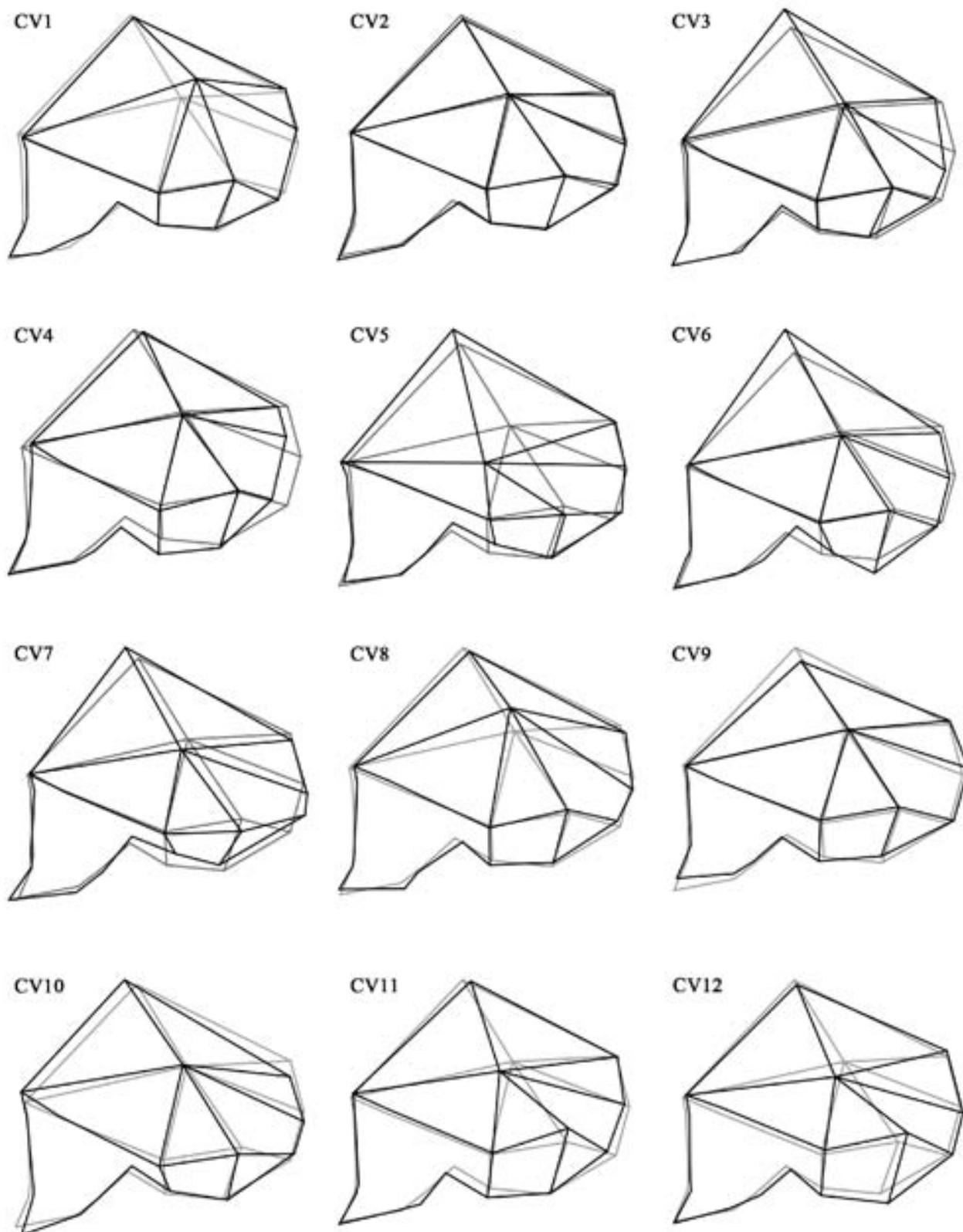
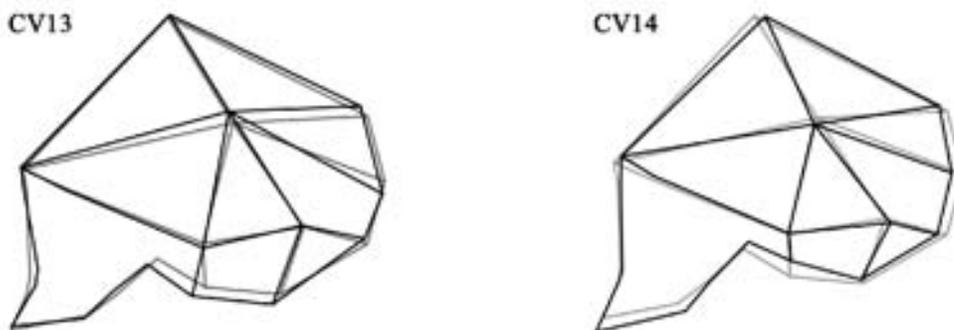


Figura 4.4 . Polígonos del cambio en la forma (*wireframes*) de cada una de las raíces canónicas generadas en el análisis.



Continuación.... Figura 4.4. Polígonos del cambio en la forma (*wireframes*) de cada una de las raíces canónicas generadas en el análisis.

Por otro lado, el análisis tiene dos matrices sobre las cuales los pasados datos cobran más sentido. La matriz de distancias de Mahalanobis entre grupos (*Mahalanobis distances among groups*) permite apreciar las distancias biológicas entre las formas del cráneo en las poblaciones en estudio (Tabla 4.6).

	AZC	BJC	CAN	PAI	PCE	SMT	SNT	SOL	SON	TAR	TCO	TEO	TLA	TMP
BJC	7.33													
CAN	6.2	6.42												
PAI	6.87	6.78	5.28											
PCE	9.5	10	9.16	9.96										
SMT	7.83	9.77	8.66	9.07	10.36									
SNT	9.94	10.66	9.74	10.77	11.32	9.34								
SOL	5.73	7.83	6.02	4.85	9.6	8.1	10.16							
SON	5.48	8.49	5.61	6.51	9.57	7.89	9.67	5.96						
TAR	5.2	7.97	5.93	5.41	9.44	8.33	9.84	4.81	4.25					
TCO	6.85	8.36	6.66	7.55	10.62	9.14	11.49	7.76	6.75	6.87				
TEO	5.56	7.83	5.93	6.7	9.89	6.65	9.36	5.91	6.29	5.61	7.12			
TLA	8.18	9.96	7.64	8.36	9.64	10.67	10.85	7.59	8.17	8.15	9.78	9.44		
TMP	10.86	11.22	9.9	10.77	12.49	10.56	13.03	11.19	11.13	11.21	11.53	9.36	12.35	
TUL	6.05	7.33	6.06	6.73	10.55	9.2	11.15	6.57	6.12	5.82	6.71	5.77	9.45	10.41

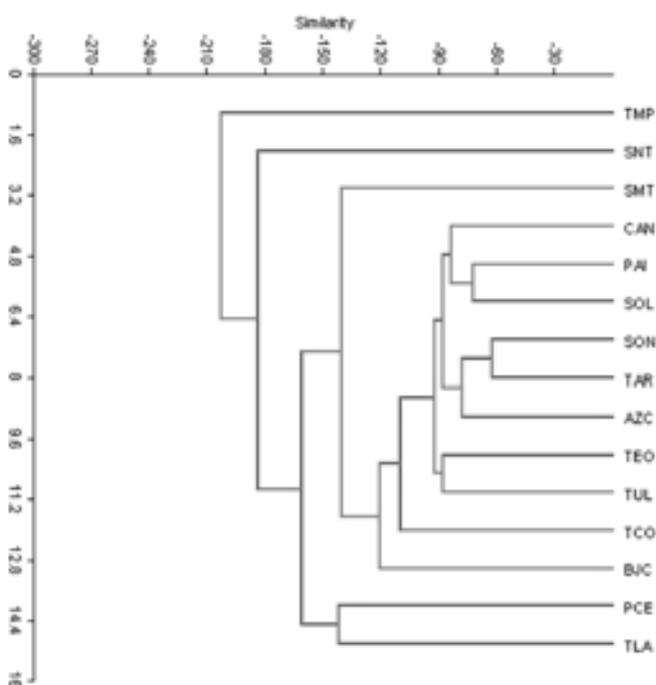
Tabla 4.6. Matriz de distancias de Mahalanobis producto del análisis canónico.

La tabla 4.7 presenta los valores  $p$  (0.005) de 1000 permutaciones de las distancias de Mahalanobis entre grupos, resultando todas significativas a excepción de Tula (TUL) vs Teotihuacan (TEO) que presentó un valor de 0.007 es decir que para el rango de 99% de confianza no hay diferencias significativas entre estas poblaciones. La misma Tula (TUL) presenta valores, que difieren del 0.0001 para todas las poblaciones, de 0.005 para con Tarahumaras (TAR), Tlatilco (0.001) y Sonora (SON) 0.001.

	AZC	BJC	CAN	PAI	PCE	SMT	SNT	SOL	SON	TAR	TCO	TEO	TLA	TMP
BJC	0.0001													
CAN	0.0001	0.0001												
PAI	0.0001	0.0001	0.0001											
PCE	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001										
SMT	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001									
SNT	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001								
SOL	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001							
SON	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001						
TAR	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001					
TCO	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001				
TEO	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001			
TLA	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		
TMP	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
TUL	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0050	0.0010	0.0070	0.0001	0.0001

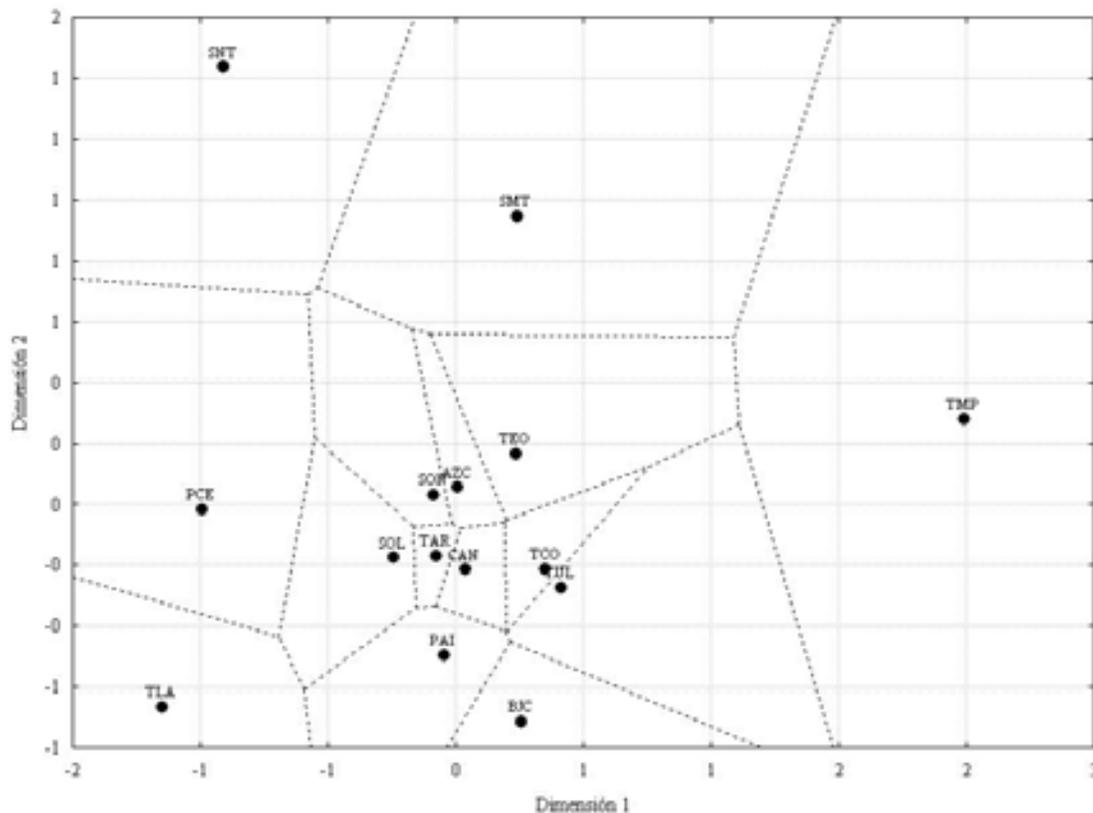
Tabla 4.7. Valorep de significación de la matriz de distancias de Mahalanobis producto del análisis canónico.

Los árboles que se presentan a continuación se deben evaluar a reserva de las significación de las tablas anteriores. La figura 4.8 muestra el árbol resultante de la aplicación del algoritmo UPGMA por análisis de agrupamiento (*cluster analysis*) la complejidad de los datos hacen difícil la lectura del mismo. Sin embargo, se pueden ver algunas agrupaciones: primero, un gran grupo central ( [ [ [ [ [CAN[PAI-COL]] [[SON-TAR] AZC]] ] [TEO-TUL] ] [TCO] ] [BJC] ] ) y que tiene una población satélite SMT y grupo hermano ( [PCE-TLA] ) seguido por un grupo satélite más SNT y un grupo externo que es TMP.

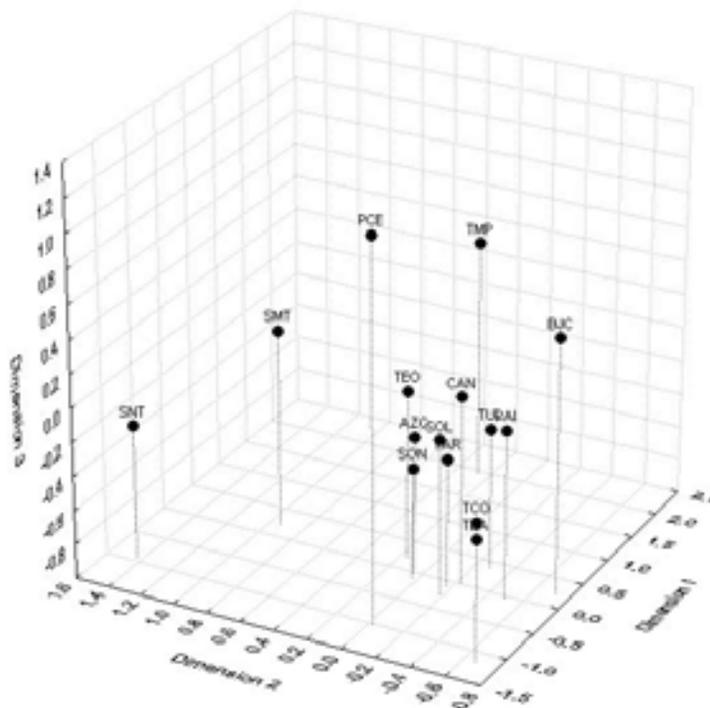


Gráfica 4.8. Fenograma producto de las distancias de Mahalanobis realizado por medio del algoritmo UPGMA (PAST).

Finalmente, los resultados del análisis de escalamiento multidimensional (*multidimensional scaling*) permiten observar una nueva configuración por distancias fenotípicas (biológicas) de cada población por medio de las distancias de Mahalanobis (Gráfica 4.9). Se puede ver un complejo hacia los valores negativos de la primera y segunda dimensión. Soledad (SOL), Tarahumaras (TAR), Candelaria (CAN), Tlatilco (TCO), Tula (TUL), Teotihuacan (TEO), Paila (PAI), Sonora (SON) y Azcapotzalco (AZC) diferenciados de Tlatelolco (TLA), Precerámicos (PCE), San Nicolás Tolentino (SNT), Santa María Texcalac (SMT) y Pirámide de Quetzalcóatl (TMP) (como periféricos). La segunda gráfica 4.10 3D nos permite evaluar mejor la distribución de las poblaciones en el complejo centro y sus separaciones.



Gráfica 4.9. MDS de las distancias de Mahalanobis para las poblaciones incluidas en el estudio.



Gráfica 4.10. MDS (3D) de las distancias de Mahalanobis que permite una mejor resolución debido a que se grafican sus tres dimensiones.

Los valores  $F_{st}$  (estimaciones de las diferencias genéticas mínimas) calculados (Tabla 4.8) para todas las poblaciones resultó ser 0.16 disminuyendo a 0.11 dividido por horizontes culturales, tomando la heredabilidad igual a 1 y asumiendo que la matriz de covariación genética aditiva es proporcional a la matriz de covariación fenotípica (Williams-Blangero and Blangero 1989).

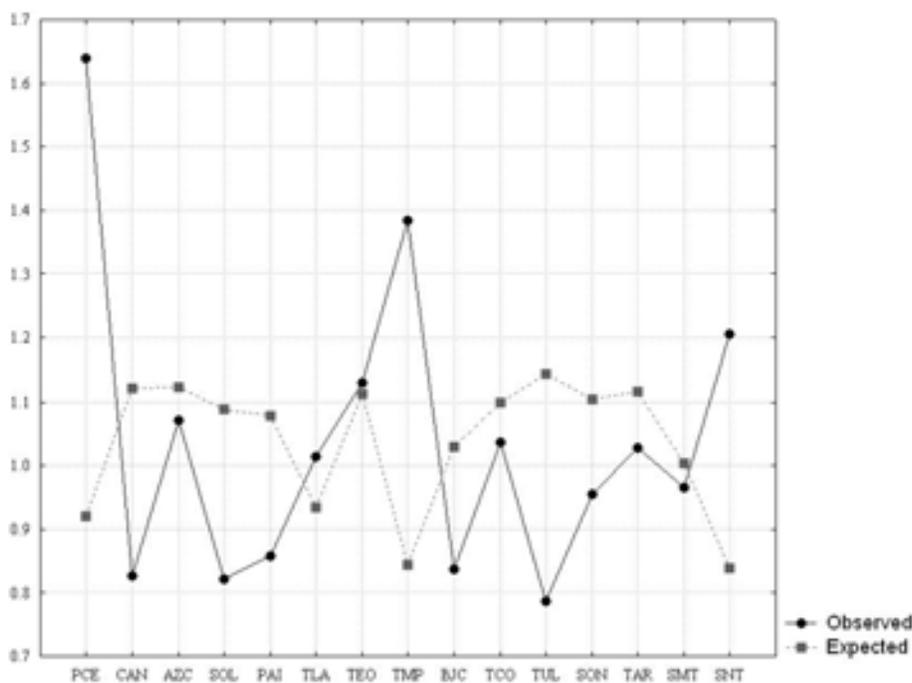
	$F_{st}$	$F_{st}$ Unbiased	Error estándar
Todas las muestras	0.16	0.13	0.0032
Horizontes	0.11	0.08	0.0045

Tabla 4.8. Valores  $F_{st}$  mínimo,  $F_{stunbiased}$  y error estándar calculados sobre todas las poblaciones y las divisiones por horizontes.

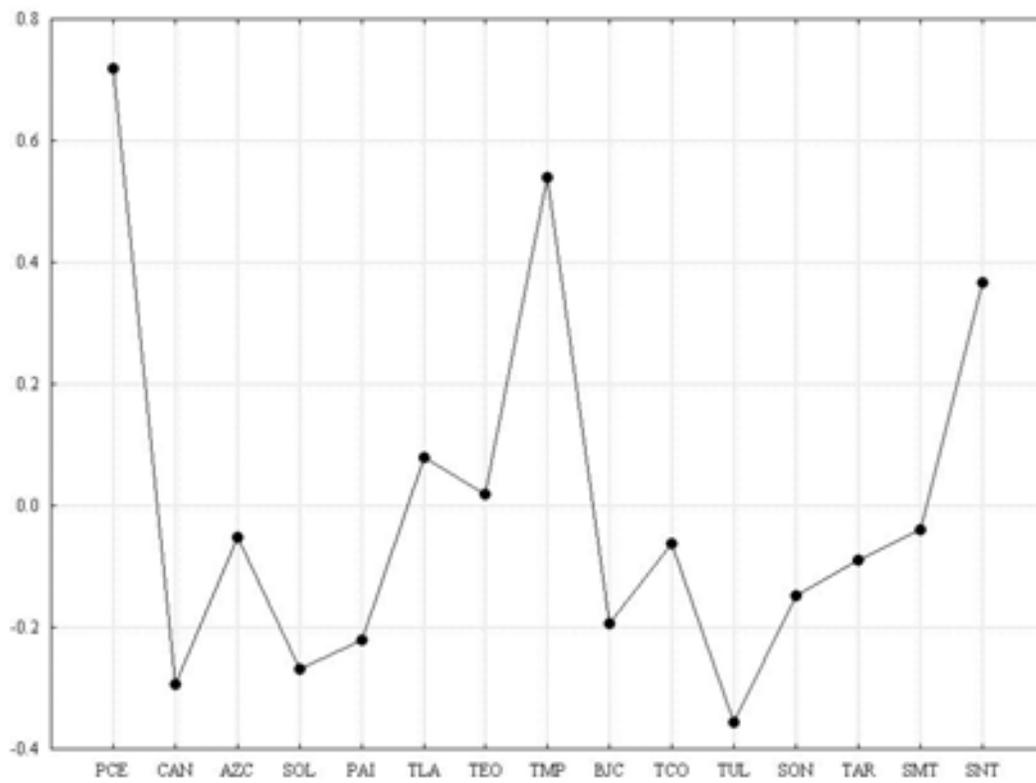
Los resultados del análisis Relethford-Blangero (Tabla 4.9) para todas las poblaciones muestra que los valores más positivos son para PCE (0.72), TMP (0.54) y SNT (0.37). Es decir, están son las poblaciones que resultaron poseer mayor flujo génico. TLA (0.08) y TEO (0.02) estarían en un plano positivo pero medio; y el resto de las poblaciones con valores negativos, es decir, con poco flujo génico. Las gráficas 4.11 y 4.12 resumen el comportamiento de los resultados antes descritos.

Población	r(ii)	Varianza fenotípica entre grupos		
		Observado	Esperado	Residual
PCE	<b>0.22</b>	<b>1.64</b>	<b>0.92</b>	<b>0.72</b>
CAN	0.06	0.83	1.12	-0.29
AZC	0.06	1.07	1.12	-0.05
SOL	0.08	0.82	1.09	-0.27
PAI	0.09	0.86	1.08	-0.22
TLA	0.21	1.01	0.93	0.08
TEO	0.06	1.13	1.11	0.02
TMP	<b>0.29</b>	<b>1.38</b>	<b>0.85</b>	<b>0.54</b>
BJC	0.13	0.84	1.03	-0.19
TCO	0.07	1.04	1.1	-0.06
TUL	0.04	0.79	1.14	-0.36
SON	0.07	0.96	1.1	-0.15
TAR	0.06	1.03	1.12	-0.09
SMT	0.16	0.97	1	-0.04
SNT	<b>0.29</b>	<b>1.21</b>	<b>0.84</b>	<b>0.37</b>

Tabla 4.9. Resultados del análisis Relethford-Blangero. Se presentan por población, el valor de la población al centroide r (ii); y los valores de varianza observado, esperado y residual para cada horizonte cultural. Los residuales más positivos en negritas. Media de la varianza fenotípica entre grupos 1.038.



Gráfica 4.11. Comportamiento de los valores observados y esperados de la varianza fenotípica entre poblaciones.



Gráfica 4.12. Muestra el comportamiento de los residuales (observado-esperado) para cada población.



### 4.3 Análisis de Variación Canónica (CVA) de las poblaciones mexicanas antiguas en relación con sus fases culturales.

El análisis canónico utilizó un total de 407 cráneos subdivididos por una variable clasificatoria como Paleoamericanos (PAL), Preclásicos (PRE), Clásicos (CLA), Posclásicos (POS), Coloniales (COL) y Modernos (MOD); cada uno con las frecuencias que se pueden ver en la tabla 4.10. La muestra está sesgada a poblaciones CLA, POS, COL y MOD.

No	Población	Observaciones
1	PAL	10
2	PRE	6
3	CLA	40
4	POS	134
5	COL	131
6	MOD	86

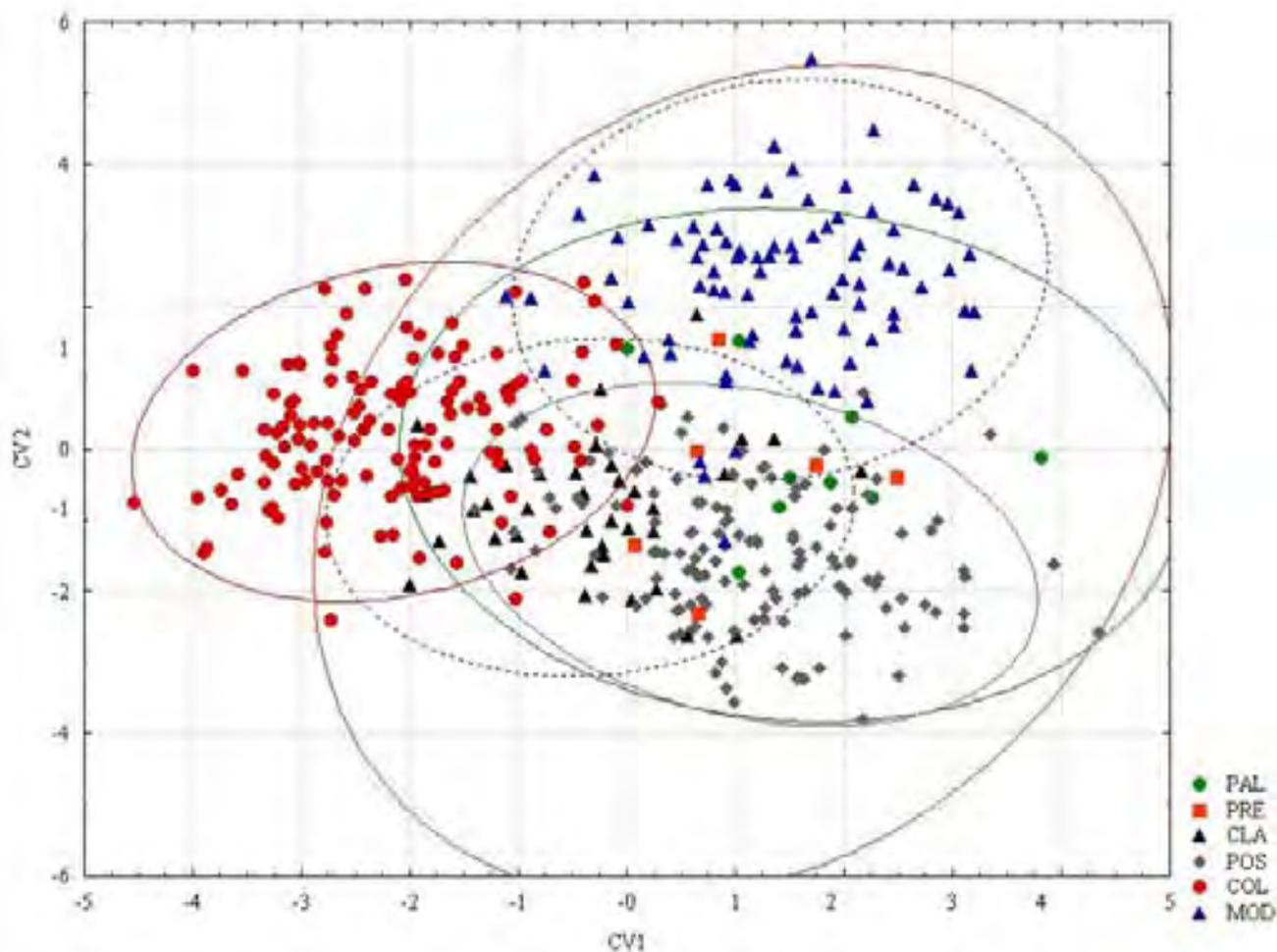
Tabla 4.10. Frecuencias por fase cronológica

Después de los preliminares, podemos decir que el análisis de variación canónica generó cinco raíces canónicas con las cuales se explica el 100% de la variación craneana por fase cronológica. En 3 raíces se tiene el 75.85% de la varianza explicada (Tabla 4.11).

No.	Eigenvalores	% Varianza	% Acumulado
1	2.46	30.16	30.16
2	2.04	25	55.16
3	1.68	20.69	75.85
4	1.48	18.13	93.98
5	0.49	6.02	100

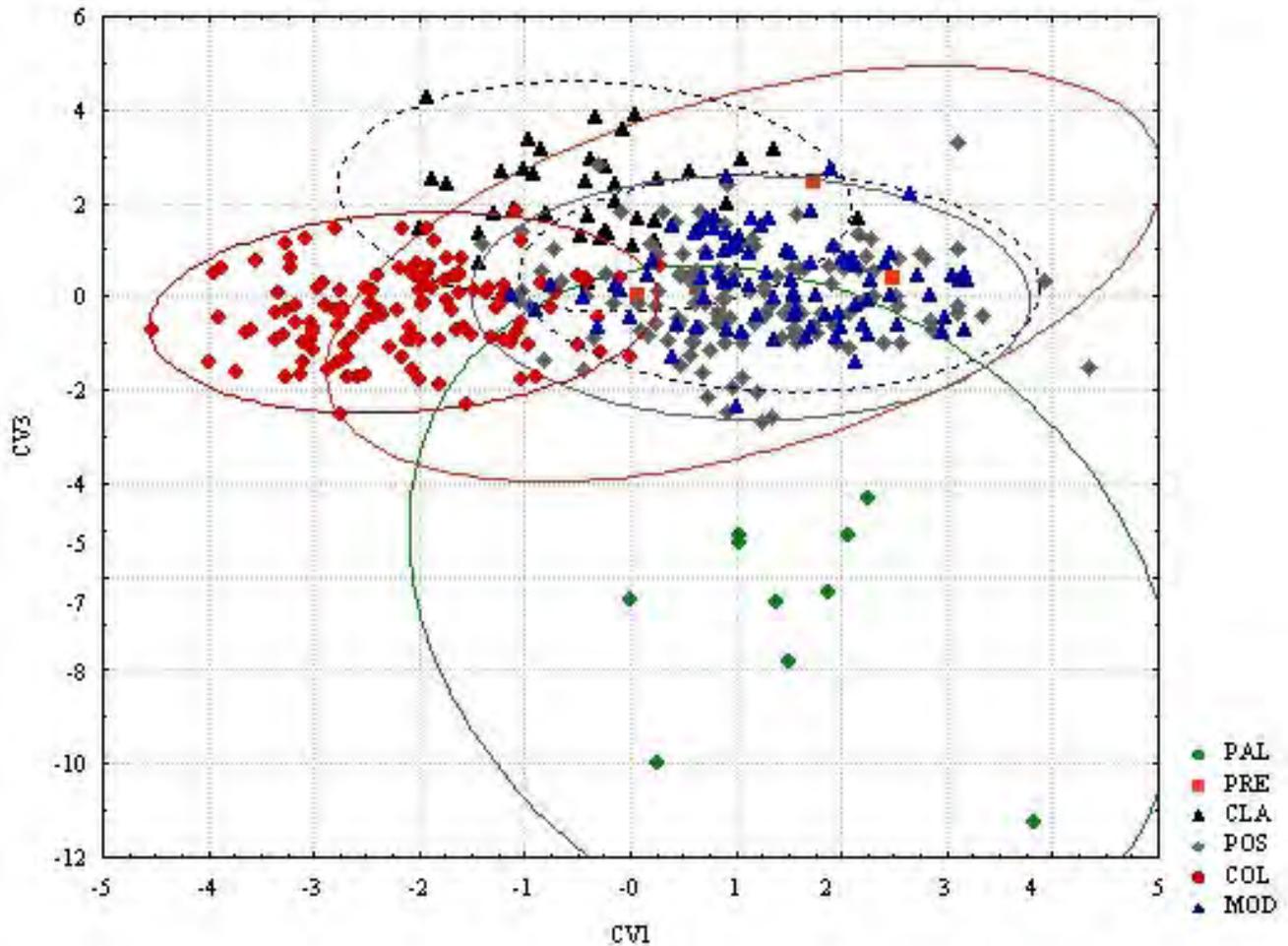
Tabla 4.11. Eigenvalores, porcentaje de varianza y varianza acumulada producto del CVA por horizontes culturales.

Después, la gráfica de la primera y segunda raíces canónicas (Gráfica 4.13) permite observar una separación entre las poblaciones Modernas (MOD), Coloniales (COL) y Posclásico (POS). Entre las poblaciones POS y COL se encuentra las del Clásico (CLA). Las elipses del horizonte Preclásico (PRE) y Precerámicos (PAL) aparecen abarcando toda la gráfica, aunque la dispersión de PRE es menor que PAL.



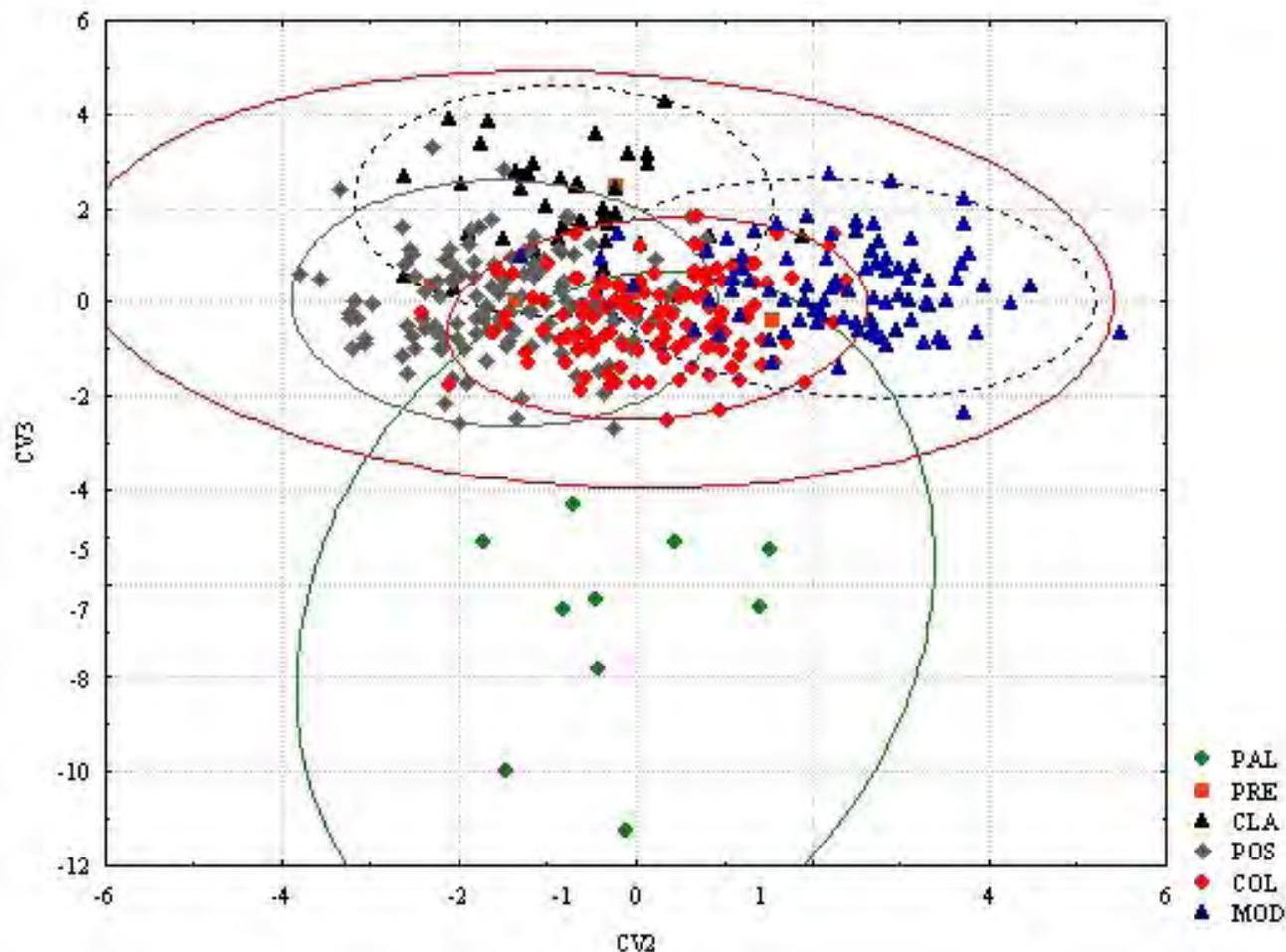
Gráfica 4.13. Diagrama de dispersión de la 1ra (30.16%) y 2da (25%) raíces canónicas de los horizontes culturales.

La gráfica de la primera y segunda raíces canónica (Gráfica 4.14) permite ahondar más en la diferenciación de Horizontes. En esta imagen se puede ver a PAL separada sobre el tercer eje de la variación y que en la primera gráfica parecía dentro de los rangos de los horizontes más contemporáneos a éste. La morfología de los horizontes CLA y COL se separan muy bien; y, POS y MOD parecen estar sobrepuestas. El rango de dispersión de PRE es igualmente amplio.



Gráfica 4.14. Diagrama de dispersión de la 1ra (30.16%) y 3da (20.69%) raíces canónicas de los horizontes culturales.

Por último, la gráfica de la segunda y tercera raíces canónicas (Gráfica 4.15) esclarece aún más los patrones que venimos observando en las pasadas gráficas. En primera instancia, la separación total y discriminada de PAL. Igualmente, el horizonte PRE con un rango de dispersión muy grande al centro de la gráfica; CLA hacia valores positivos de la tercera raíz canónica y negativos de la segunda; POS hacia valores positivos negativos (2 a -2) de la tercera raíz canónica y negativos de la segunda raíz canónica; COL en similar situación que POS superponiéndose las curvas de dispersión de estos horizontes; y finalmente, el horizonte MOD hacia valores positivos de la segunda raíz canónica y positivos negativos (2 a -2) de la tercera raíz canónica.



Gráfica 4.15. Diagrama de dispersión de la 2ra (25%) y 3da (20.69%) raíces canónicas de los horizontes culturales.

La figura 4.5 muestra la variación sobre cada raíz canónica en cuanto a la morfología de diversas zonas del cráneo. Mediante esta gráfica podemos observar y relacionar la posición de un horizonte en una gráfica y ver como es el cambio que ese tiene desde valores negativos a positivos. Los cambios estructurales en el cráneo han sido muy importantes. Lo que podemos observar son cambios en el neurocráneo a nivel de su globularidad (no solo el alto, largo, ancho; si no el conjunto de dimensionalidades del neurocráneo). El esplagnocráneo presenta cambios importantes en la región nasio-glabeular, maxilofacial y sistema óptico (órbitas); asimismo, en la anchura y profundidad de la cara tenemos cambios importantes.

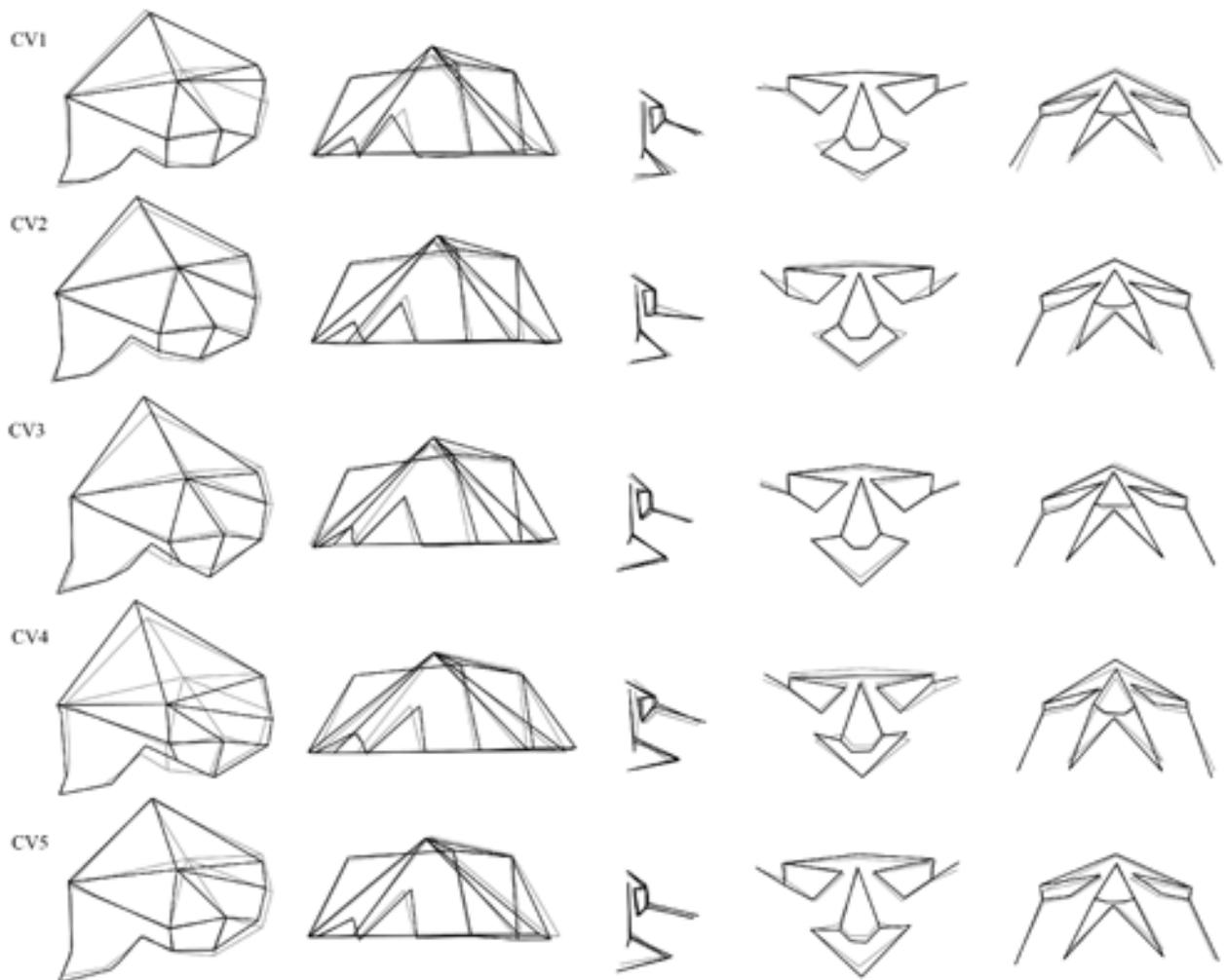


Figura 4.5. Polígonos del cambio en la forma (*wireframes*) para cada una de las raíces canónicas. Cinco vistas (de izquierda a derecha): lateral izquierda, infero-superior hemi-neurocráneo, lateral izquierda esplagnocráneo, frontal esplagnocráneo y infero-superior esplagnocráneo.

Además, la tabla 4.12 contiene las distancias de Mahalanobis para cada horizonte cultural. En orden cronológico el horizonte Precerámico (PAL) y el Preclásico (PRE) tiene la mayor distancia. PRE y el Clásico (CLA) tiene una distancia de 6.88. El CLA se encuentra a una distancia de 4.56 del Posclásico (POS). El POS esta a 3.74 de la fase Colonial (COL). Finalmente, COL tiene una distancia de 4.21 de la fase Moderna (MOD). Todas estas distancias significativas para valores de  $p$  (0.005) (Tabla 4.13).

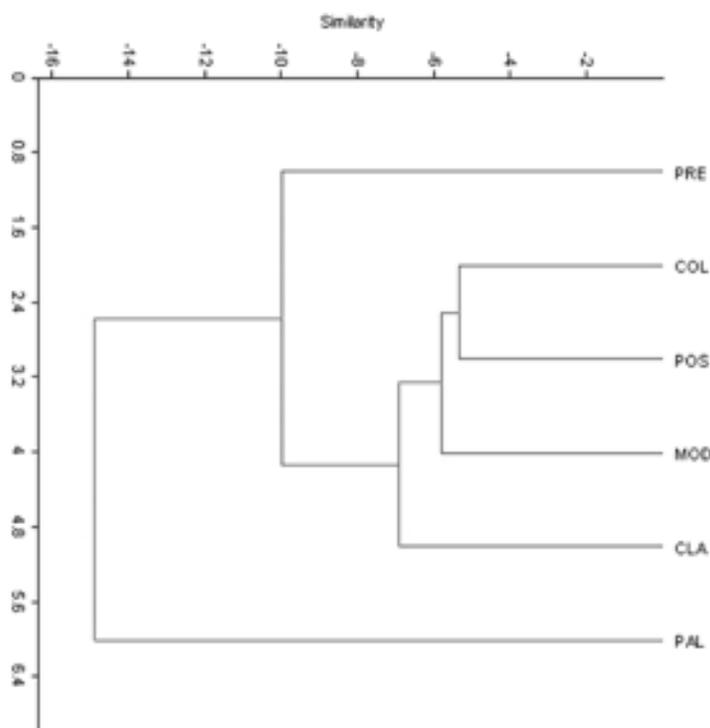
	CLA	COL	MOD	PAL	POS
COL	4.65				
MOD	5.11	4.21			
PAL	9.24	8.62	8.61		
POS	4.56	3.74	3.93	8.35	
PRE	6.88	6.6	6.43	10.06	5.96

Tabla 4.12. Matriz de distancias de Mahalanobis por horizontes culturales.

	CLA	COL	MOD	PAL	POS
COL	0.0001				
MOD	0.0001	0.0001			
PAL	0.0001	0.0001	0.0001		
POS	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
PRE	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

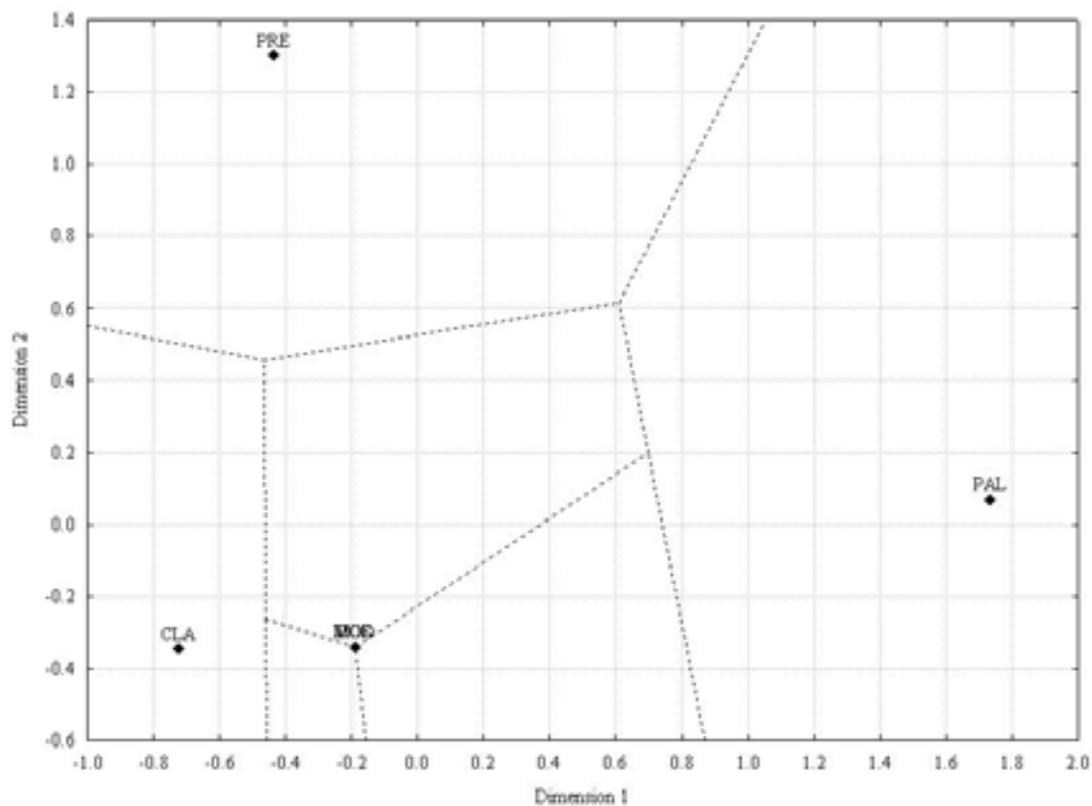
Tabla 4.13. Matriz de valores de significación p de las distancias de Mahalanobis por horizontes culturales.

A continuación se presentan los árboles filo-fenotípicos (fenogramas) generados a partir de las de Mahalanobis y procrustes, los cuales se deben evaluar a reserva de las significancias de las tablas particulares. La figura 4.16 muestra el árbol resultante de la aplicación del algoritmo UPGMA por análisis de agrupamiento (*cluster analysis*) de las distancias de Mahalanobis. La topología del árbol nos permite ver que la cronología tiene correlación con los fenotipos observados. El árbol presenta como primera agrupación a Posclásico (POS) con Colonial (COL) seguida de su horizonte hermano que sería el Moderno (MOD) y exterior a este el Clásico (CLA). Posteriormente, se agrupa los Preclásicos (PRE) y, finalmente, como grupo externo los Precerámicos (PAL)

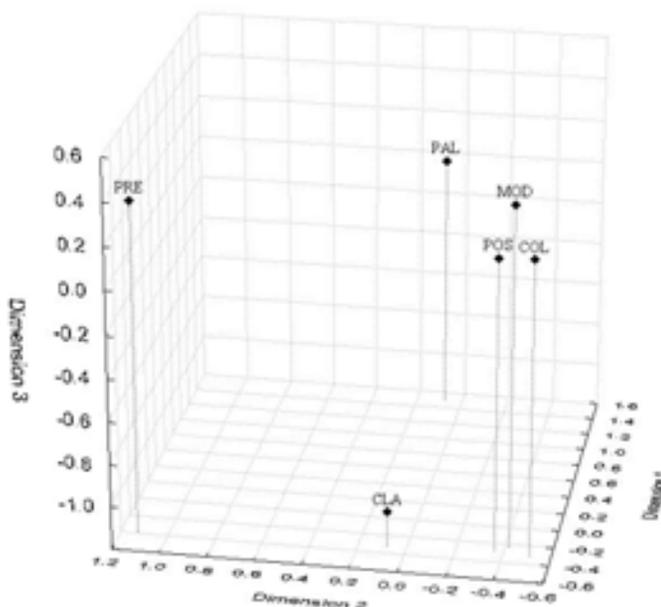


Gráfica 4.16 Fenograma de las distancias de Mahalanobis de los horizontes culturales basado en el algoritmo UPGMA.

Para finalizar con las distancias de Mahalanobis se presentan los resultados del análisis de escalamiento multidimensional que permiten entender mejor el comportamiento de los resultados del árbol filo-fenotípico (Gráfica 4.17). Así, podemos decir que existe una agrupación del Posclásico (POS) y Colonial (COL) sobre las tres dimensiones que generó el análisis. Posteriormente, la relación que en el árbol no se observaba bien la resuelve el escalamiento (3D) (Gráfica 4.18). El grupo MOD, POS y COL se agrupa más al Clásico (CLA). Los Preclásicos los hallamos al extremo de la tercera dimensión en valores positivos, negativos de la segunda y tercera. Por último, Preclásico (PAL) igual de distantes hacia el extremo positivo de la primera, segunda y tercera dimensión. Además, hay que mencionar la gran diferencia entre la utilización de un espacio 2D a 3D.



Gráfica 4.17. MDS de las distancias de Mahalanobis para los horizontes culturales estudiados. Línea discontinua segmentos de Vononoi.



Gráfica 4.18. MDS (3D) de las distancias de Mahalanobis para los horizontes culturales estudiados que resuelve la gráfica anterior.

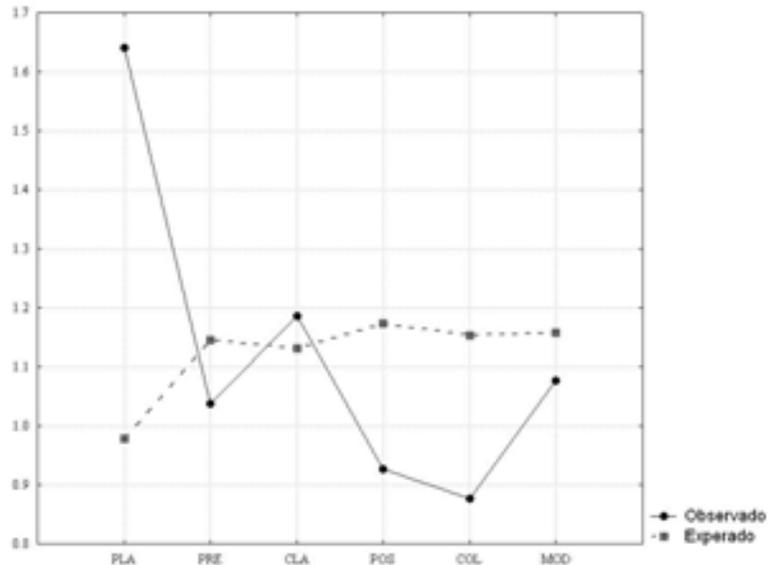
En adición, el análisis de escalamiento multidimensional (*multidimensional scaling*) permite complementar al árbol sobre la topología, realizando la revisión de la configuración espacial de los datos. Se mantienen constantes los grupos, inclusive con la relación MOD, COL y POS que se resuelve en el caso de la gráfica 2D. En realidad si se observa detenidamente el movimiento real es de MOD. Asimismo, podemos ver la complementariedad de las pruebas, al final una resuelve alguna topología diferente y la integración de todas es lo que puede llevar a conclusiones más serias.

Los resultados del análisis Relethford-Blangero para las fases culturales muestra un  $F_{st}$  mínimo de 0.11, menor que en el de todas las poblaciones (Tabla 4.14 ) bajo los mismos parámetros de heredabilidad y mismas referencias teóricas (Williams-Blangero y Blangero 1989). Además, se obtuvieron que los valores más positivos para PAL (0.66) y CLA (0.06). Es decir, están en la fases donde pudo haber mayor flujo génico. El resto de las poblaciones con valores negativos, es decir, con poco flujo génico.

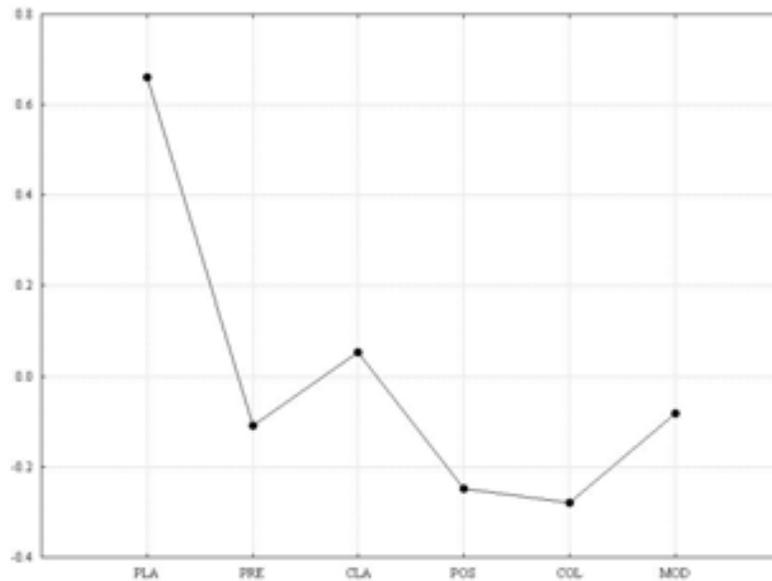
Periodo	r(ii)	Varianza fenotípica entre grupos		
		Observado	Esperado	Residual
PAL	<b>0.2</b>	<b>1.64</b>	<b>0.98</b>	<b>0.66</b>
PRE	0.06	1.04	1.15	-0.11
CLA	0.07	1.19	1.13	0.06
POS	0.04	0.93	1.17	-0.25
COL	0.05	0.88	1.15	-0.28
MOD	0.05	1.08	1.16	-0.08

Tabla 4.14. Resultados del análisis Relethford-Blangero. Se presentan, por periodos, el valor de la población al centroide r (ii); y los valores de varianza observado, esperado y residual para cada horizonte cultural. Los residuales más positivos en negritas. Media de la varianza fenotípica entre grupos 1.038.

Asimismo la gráfica 4.19 resume la tabla anterior y se puede ver las diferencias entre las varianzas esperadas y las observadas y en donde el residual tendría valores más positivos y por ende se esperaría mayor flujo génico. Y como complemento la gráfica 4.20 presenta la distribución de los residuales para cada horizonte cultural.



Gráfica 4.19. Muestra el comportamiento de los valores observados y esperados de la varianza fenotípica entre horizontes culturales del análisis Relethford-Blangero.



Gráfica 4.20. Muestra el comportamiento de los residuales del análisis Relethford-Blangero.

### 4.3.1. Análisis del cambio morfológico del cráneo por fases culturales.

#### 4.3.1.1. Variabilidad del Esplagnocráneo por Horizontes culturales.

La tabla 4.15 muestra todos los contrastes por poblaciones que se realizaron, se reporta la distancia entre medias por Procrustes y Mahalanobis con su respectivo valor de significancia. Además, se presenta los valores  $p$  para 1000 permutaciones de las distancias. Así, se presentó que la mayoría de las combinaciones fue significativa para valores  $<0.0001$ . Algunos casos no fueron significativos para la primera iteración, sin embargo en las permutaciones resultan significativos. Por ejemplo, CLA vs PAL, CLA vs PRE, COL vs PRE, MOD vs PAL, entre otros. Sin embargo, algunos como MOD vs PRE y PAL vs PRE, para distancias de Procrustes, no son significativos y CLA vs PRE, COL vs PRE, MOD vs PRE y POS vs PRE no fueron significativos para distancias de Mahalanobis.

Poblaciones	Diferencia entre medias (distancias):		Valor P	Valores P para 1000 permutaciones	
	Procrustes	Mahalanobis		Procrustes	Mahalanobis
CLA -- COL	0.040	6.660	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CLA -- MOD	0.042	11.688	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CLA -- PAL	0.070	5.592	0.996	0.003	<0.0001
CLA -- POS	0.041	5.664	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CLA -- PRE	0.073	5.202	0.999	<0.0001	0.021
COL -- MOD	0.037	4.611	<0.0001	<0.0001	<0.0001
COL -- PAL	0.084	15.389	<0.0001	<0.0001	<0.0001
COL -- POS	0.032	4.140	<0.0001	<0.0001	<0.0001
COL -- PRE	0.066	12.578	0.010	<0.0001	0.016
MOD -- PAL	0.086	28.769	0.722	<0.0001	<0.0001
MOD -- POS	0.025	4.888	<0.0001	<0.0001	<0.0001
MOD -- PRE	0.053	12.320	0.997	0.024	0.177
PAL -- POS	0.084	11.822	<0.0001	<0.0001	<0.0001
PAL -- PRE	0.105	3.746	0.926	0.027	<0.0001
POS -- PRE	0.049	11.019	0.038	0.003	0.049

Tabla 4.15. Diferencias entre medias por horizontes culturales, el valor  $p$  simple y el mismo valor para 1000 permutaciones de las distancias de Procrustes y Mahalanobis.

Las figuras deben contrastarse con los valores de distancia-significación anteriores. A continuación se describen los cambios en la forma por medias para cada contraste por horizonte cultural.

#### Clásico (CLA) vs Colonial (COL)

El esplagnocráneo de los cráneos del COL tiene un ángulo más recto respecto a CLA. Este desplazamiento de la cara hace visibles cambios en la región naso-glabelar, orbital y zigo-maxilar. El cráneo facial es más grande en CLA que el COL.

#### Clásico (CLA) vs Moderno (MOD)

El esplagnocráneo se reduce aún más que en CLA, el mayor cambio se concentra en el tercio superior de la cara. Hay

variaciones maxilares.

#### Clásico (CLA) vs Preclásico (PAL)

La variación en esta comparación es total. Se puede ver en la imagen que los polígonos (wireframes) coinciden en muy pocos vértices. Existen cambios en los tres tercios de la cara. Los cráneos CLA son igual de ancho en su vista frontal pero difieren en su altura y forma lateral izquierda. La mayor variación se centra en la región maxilar, el tercio superior de la cara y la región maxilar.

#### Clásico (CLA) vs Posclásico (POS)

La variación de la forma del cráneo es conservadora. Hay una variación lateral en zigomáticos en POS y un maxilar más pequeño en POS, pero de manera general el esplagnocráneo no fluctúa como en los casos descritos anteriormente.

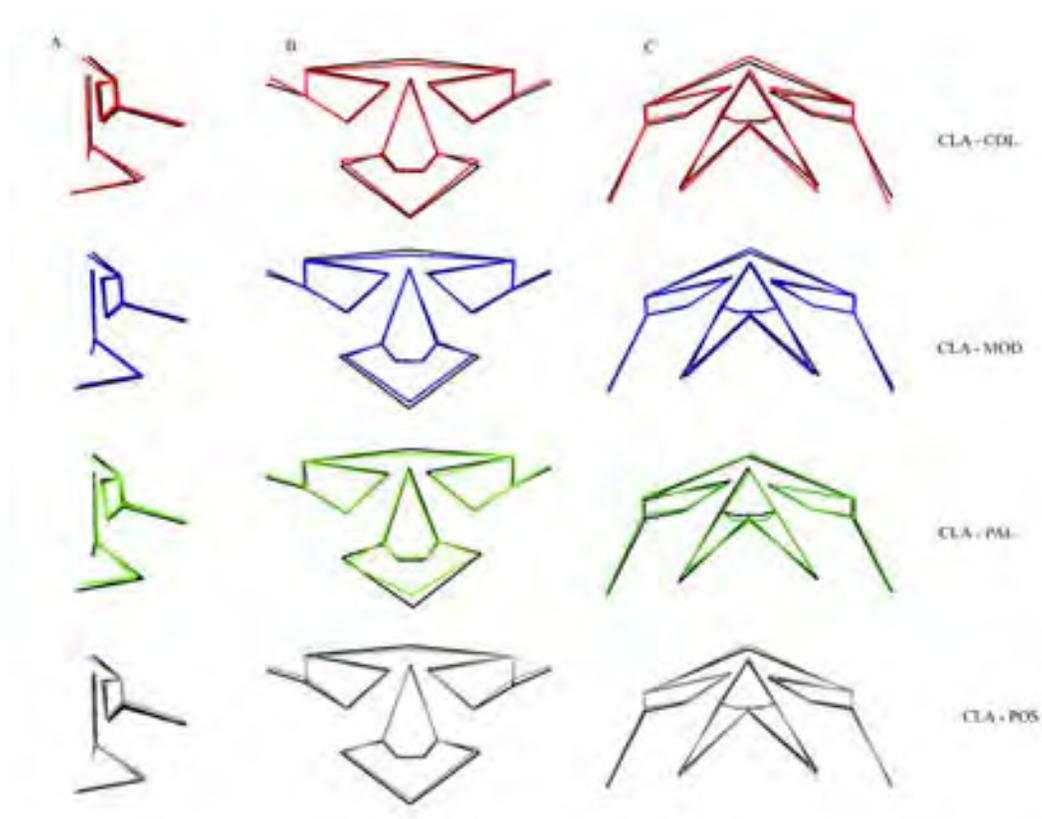


Figura 4.6. Polígonos de cambio de la forma (*wireframes*) para la comparación de medias por horizonte cultural. PAL verde, PRE naranja, POS gris, COL rojo y MOD azul oscuro. Se presentan las vistas del esplagnocráneo: A) lateral izquierda, B) frontal y C) infero-superior.

#### Clásico (CLA) vs Preclásico (PRE)

La variación es importante en la configuración de la forma de la cara. la región nasal es mas alta en PRE, las órbitas presentan cambios en ubicación moviendose postero-anteriormente en PRE respecto a CLA. El maxilar es más reducido lateral y posteriormente en PRE. Por último, la región zigomática cambia haciendose más ancha en CLA.

#### Colonial (COL) vs Moderno (MOD)

El esplagnocráneo presenta una variación muy puntual. Se concentra en el tercio inferior de la cara teniendo cambios puntuales leves en maxilar en anchura y altura, siendo mas mayores en (COL). De manera general las formas medias tiene cambios muy pequeños.

#### Colonial (COL) vs Precerámicos(PAL)

La variación del cráneo facial es total. Se puede definir como un cambio general de la forma del cráneo y con morfologías muy particulares, aunque no relacionadas directamente. En una vista lateral, los tercios inferior y medio son los que presentan los cambios en la forma (*shape*) más importantes, aunque en la vista infero-superior el cráneo presenta variaciones en la región naso-glabelar. El componente nasal, maxilar y óptico se modifican en diversos sentidos. El cráneo COL es más angosto respecto a PAL y, por compensación tiene una cara más larga.

#### Colonial (COL) vs Posclásico (POS)

La cara presenta fluctuaciones conservadoras en la forma (*shape*). Los cambios más importantes se presentan en la región zigomática en donde COL es menos ancho que POS. De manera general, podemos afirmar que COL y POS presentan, solo, cambios puntuales.

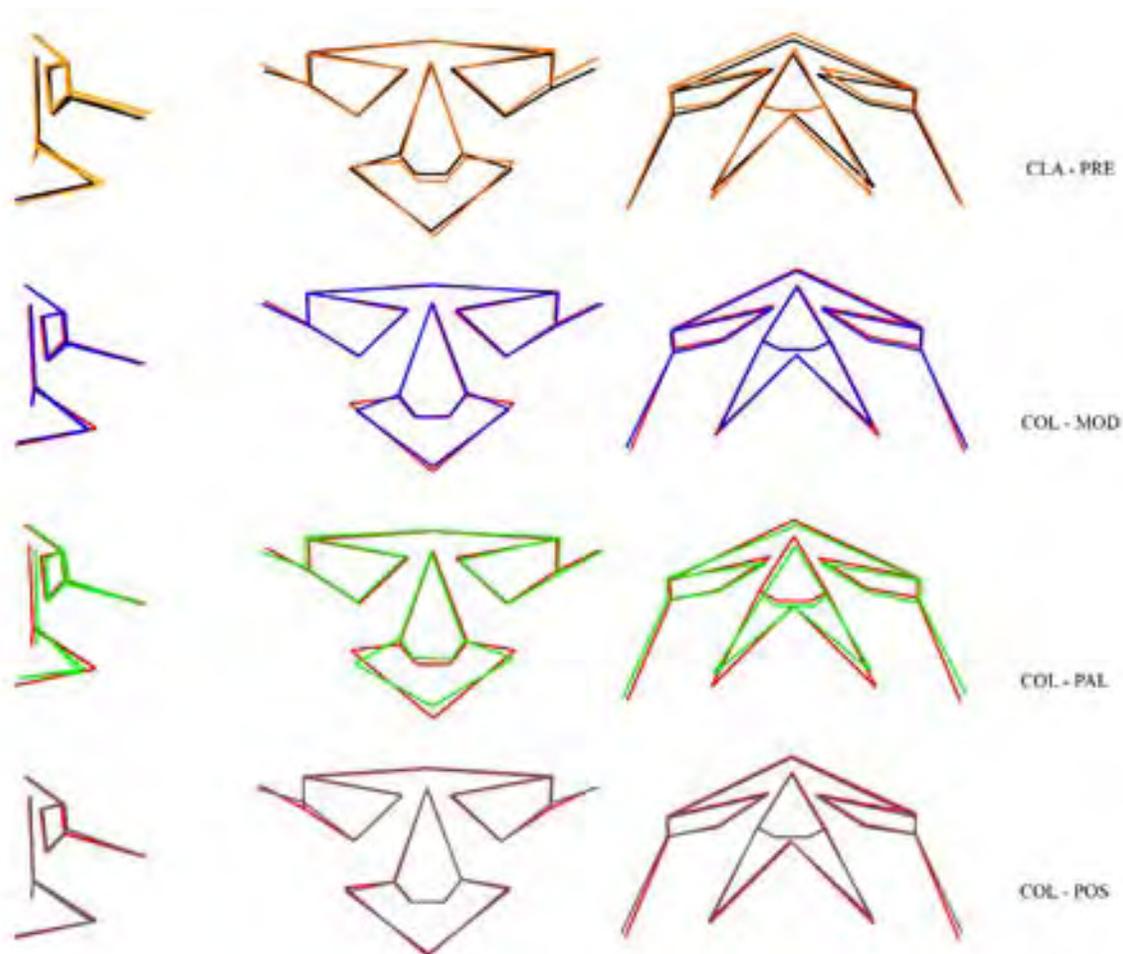


Figura 4.7. Polígonos de cambio de la forma (*wireframes*) para la comparación de medias por horizonte cultural. PAL verde, PRE naranja, CLA negro, POS gris, COL rojo y MOD azul oscuro. Se presentan las vistas del esplagnocráneo: A) lateral izquierda, B) frontal y C) infero-superior.

#### Colonial (COL) vs Precerámicos (PRE)

El cambio en la forma (*shape*) es muy evidente. Al igual que en otros contrastes no hay una explicación cultural de la comparación. Sin embargo, se presenta como prueba del cambio microevolutivo de la forma (*shape*). Entonces, las principales variaciones las tenemos en el maxilar, la región nasal, órbitas, región naso-glabelar; así como, en la altura y anchura de la cara donde COL es menos ancho que PRE al igual que en la altura siendo menor.

#### Moderno (MOD) vs Precerámicos (PAL)

Esta gráfica representa uno de los mejores resultados de esta tesis, ya que perfila la primera inferencia del cambio en la forma (*shape*) del cráneo a través de la historia biológica de poblaciones antiguas. El esplagnocráneo, en vista lateral izquierda se puede ver la diferencia del tercio inferior y medio, siendo un poco más conservador la zona peri-frontal y perizigomática. Para MOD el maxilar es más alto y profundo, a diferencia del maxilar corto y menos profundo que en PAL.

Además el plano frontal (ángulo) que tiene PAL respecto de MOD es diferente. Por otro lado, la nariz es un poco mas grande en MOD. De manera general podemos decir que los cambios no son tan pronunciados como en el caso anterior pero resta analizar la variación neurocraneal.

#### Moderno (MOD) vs Posclásico (POS)

La morfología cambia sólo puntualmente. En el caso de la vista infero-superior podemos denotar que existe una variación en la parte posterior de la cara. Asimismo, podemos ver que el único cambio acentuado de los polígonos (*wireframes*) es en la región zygorbitaria.

#### Moderno (MOD) vs Preclásico (PRE)

La forma (*shape*) del cráneo fluctúa de una manera muy importante, ninguno de las secciones de la cara denota ser conservadora. Los mayores cambios están concentrados en la región perifrntal o nasio-glabelar. El maxilar para PRE en, de forma general, más grande en todas sus dimensiones, y respecto a MOD. La forma de la nariz y su altura se modifican profundamente. PRE tiene una cara más alta que MOD, y se mantiene la anchura de la misma.

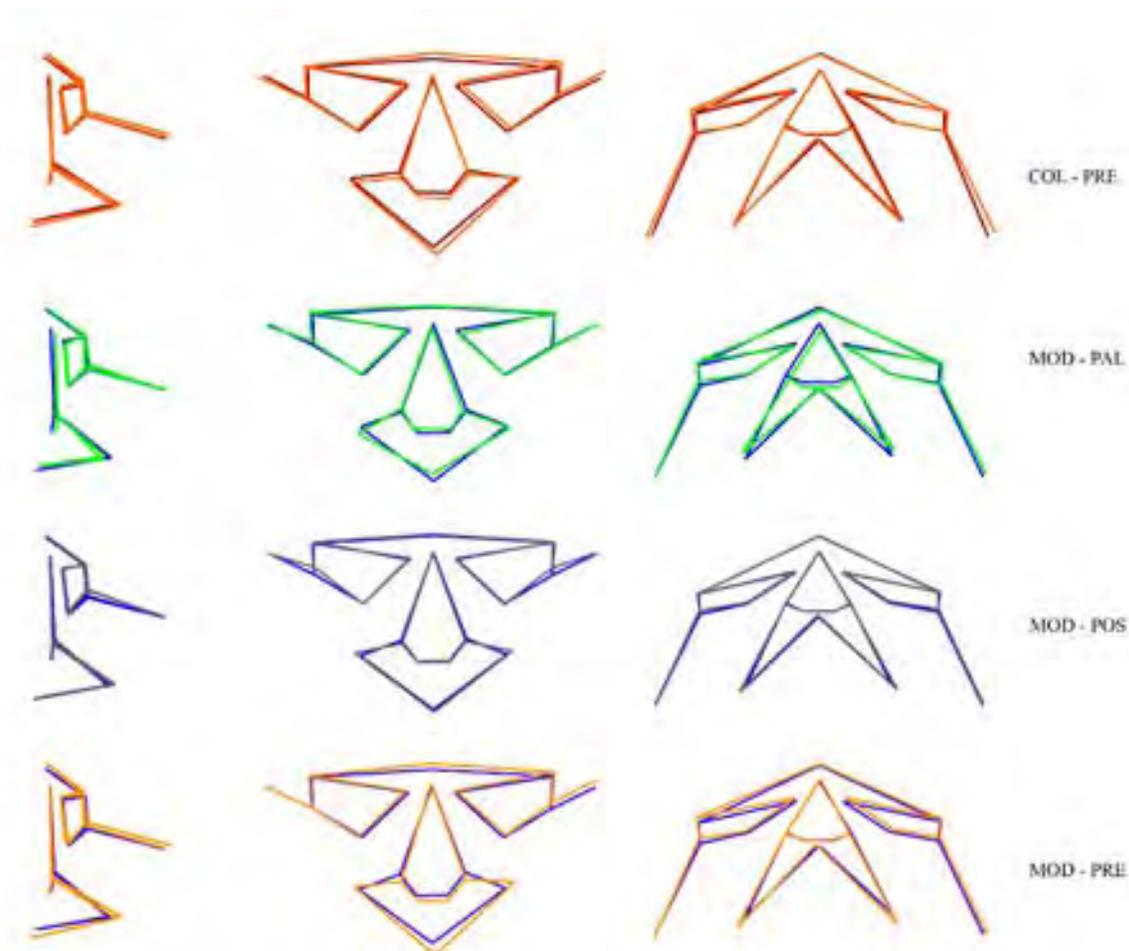


Figura 4.8. Polígonos de cambio de la forma (*wireframes*) para la comparación de medias por horizonte cultural. PAL verde, PRE naranja, POS gris, COL rojo y MOD azul oscuro. Se presentan las vistas del esplagnocráneo: A) lateral izquierda, B) frontal y C) infero-superior.

#### Precerámicos (PAL) vs Posclásico (POS)

El esplagnocráneo se modifica profundamente pero no uniformemente. Existen diferencias entre la región masticatoria (Maxilar) que en PAL es menos alto y más estrecho en su eje anteroposterior. Las órbitas, la nariz, la frente, la región zigomática difieren de manera importante. No así, la región perifrонтal en la que el cambio en la forma es incipiente.

#### Precerámicos (PAL) vs Preclásico (PRE)

Se presenta uno de los más marcados cambios en la forma (*shape*). El cambio se da de manera generalizada en todas los subcomponentes del esplagnocráneo. Los cambios más importantes son el maxilar, la nariz, las órbitas y la región perifrонтal. Para PAL el maxilar es ancho y corto; a diferencia de PRE donde es de similar anchura (aunque diferente angulación) pero mucho mas alto. De manera general la cara en PAL es menos alta que en PRE. Las órbitas en PRE están mas abiertas. Por último la nariz tiene mayor tamaño en PRE que en PAL. La mayor variación se encuentra en los tercios

medio e inferior y en la vista infero-superior se observa que la variación se concentra en la parte anterior del esplagnocráneo.

#### Posclásico (POS) vs Preclásico (PRE)

Se presentan cambios importantes en la configuración morfológica del cráneo. Existen cambios morfoscópicos en la región perifrontal, órbitas, maxilar y tercio inferior de la nariz. La cara PRE es más alta que POS, manteniéndose en anchura.

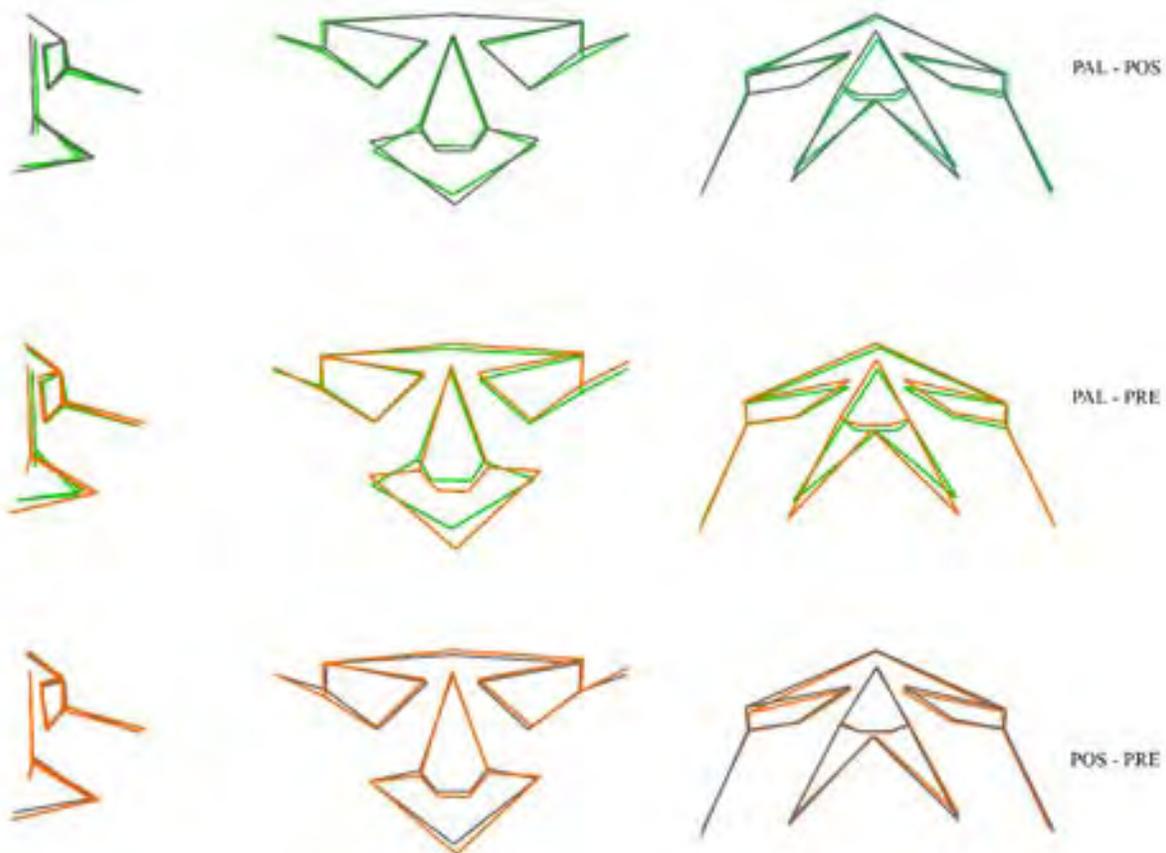


Figura 4.9. Polígonos de cambio de la forma (*wireframes*) para la comparación de medias por horizonte cultural. PAL verde, PRE naranja y POS gris. Se presentan las vistas del esplagnocráneo: A) lateral izquierda, B) frontal y C) infero-superior.

#### 4.3.1.2. Variabilidad del Neurocráneo por horizontes culturales.

Para esta parte del análisis se retoman los valores significación estadística para las distancias entre medias de Mahalanobis y Procrustes, así como la permutación de éstas presentada en la sección de esplagnocráneo (Tabla 4.15) ya que la configuración para estos resultados es la misma solo que, como se dijo en la metodología, se realizaron dos polígonos (wireframes) independientes para facilitar el análisis de los resultados.

Al igual que en la fase anterior los polígonos (wireframe) deben contrastarse con los valores de distancia-significación mencionados. Así, resta decir que a continuación se describen los cambios en la forma por medias para cada contraste por horizonte cultural en norma lateral izquierda y vista supero-inferior.

##### Clásico (CLA) vs Colonia (COL)

Hay cambios importantes en el neurocráneo y la base del cráneo. CLA es un cráneo más pequeño pero más ancho respecto a COL. Sin embargo, los cambios que se observan se concentran en algunas zonas y podríamos definirla como conservadora.

##### Clásico (CLA) vs Moderno (MOD)

Los cambios en la forma (*shape*) del neurocráneo son puntuales. Cambia, incipientemente, la región de la globularidad parietal y se presenta el mismo cambio en la base del cráneo que en la anterior comparación. La altura de los craneos MOD es mayor pero la longitud y anchura parecen ser estables.

##### Clásico (CLA) vs Precerámicos (PAL)

La variación media de la forma del cráneo es importante. Esta pareación nos permite ver la variación de un cráneo dolicoide a un braqui. PAL presenta un cráneo largo y bajo en altura, a diferencia de CLA que es alto y corto. Asimismo, la globularidad del neurocráneo está afectada, la vista supero-inferior nos permite acceder a complementar la visión taxonomista dolico-meso-baqui agregando la posibilidad de regionalizar el cambio. Entonces, PAL por consiguiente es más estrecho respecto a CLA. La base del cráneo tiene diferentes configuraciones espaciales.

##### Clásico (CLA) vs Posclásico (POS)

La forma media del cráneo en estos horizontes es muy conservadora. La variación en la forma (*shape*) es puntual. POS muestra un cráneo un poco más largo, aunque es ligero. De manera general la globularidad del neurocráneo cambia. Para CLA tiene su máximo (*eu r - eu l*) más posterior y superior que en POS.

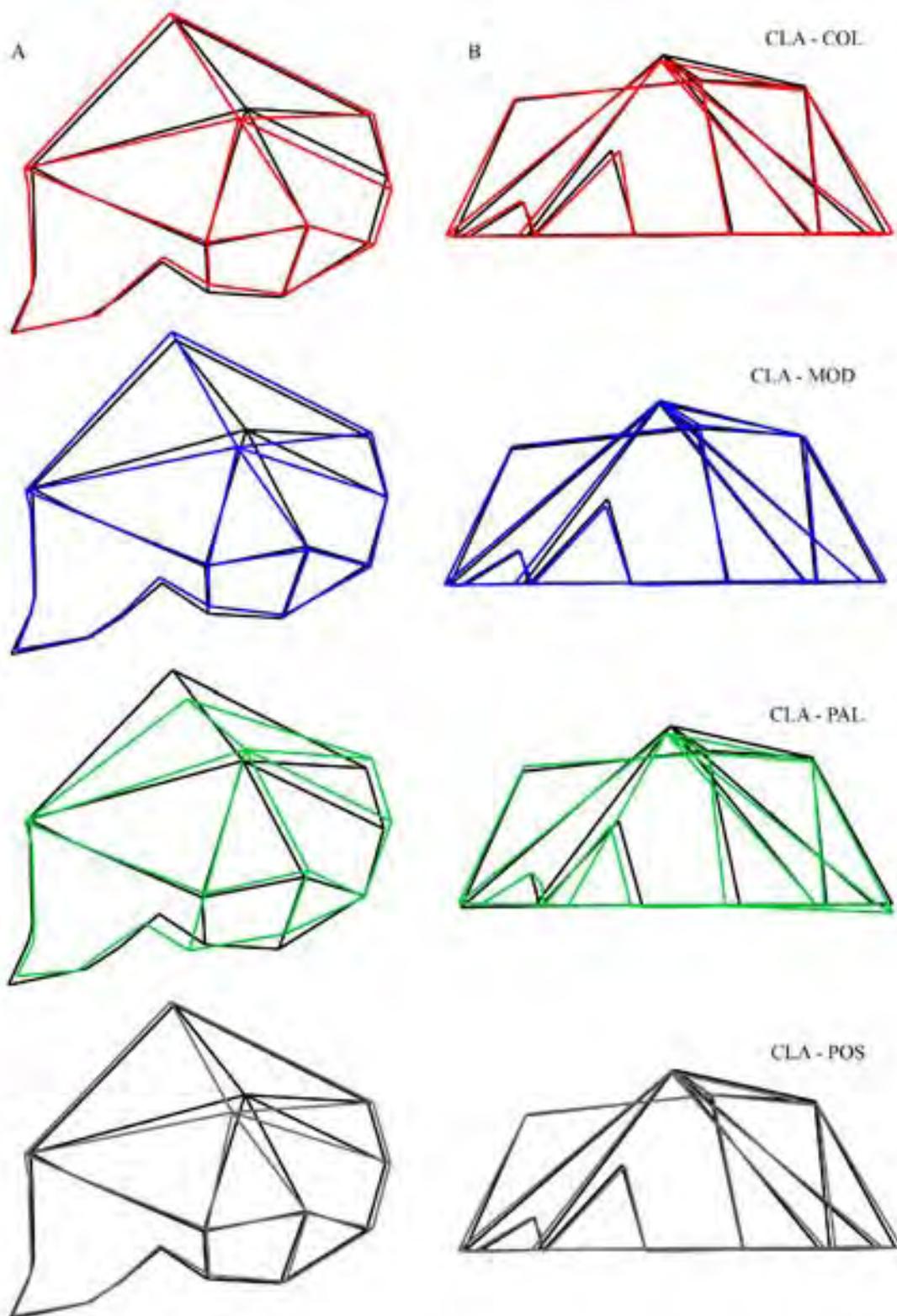


Figura 4.10. Polígonos de cambio de la forma (*wireframes*) para la comparación de medias por horizonte cultural. PAL verde, POS gris, COL rojo y MOD azul oscuro. Se presentan las vistas del neurocráneo: A) lateral izquierda y B) infero-superior del hemi-neurocráneo izquierdo.

#### Clásico (CLA) vs Preclásico (PRE)

El neurocráneo presenta un cambio generalizado en la forma (*shape*) aunque muy conservador. Se presentan cambios localizados en la globularidad, base del cráneo, occipital y la altura y anchura del cráneo. PRE tiene un cráneo más grande respecto a CLA.

#### Colonial (COL) vs Moderno (MOD)

Existen dos cambios puntuales en la forma del cráneo para este par de horizontes. Los principales cambios son en la parte posterior del neurocráneo (occipucio) y la globularidad del mismo. COL presenta un cráneo mas estrecho respecto de MOD.

El restos de las estructuras fluctúan pero de manera muy incipiente por lo cual no es posible definir las.

#### Colonial (COL) vs Precerámicos (PAL)

El cambio, de manera global es muy evidente e intenso. Sobre la vista lateral podemos observar las componentes de dos fenotipos totalmente disímiles. En la vista supero-inferior solo es posible ver cambios puntuales. El esplagnocráneo, base del cráneo, neurocráneo frontal, medio posterior y occipital están modificados respecto a PAL.

#### Colonial (COL) vs Posclásico (POS)

El cambio en el neurocráneo y la globularidad en este par es muy conservadora. Podemos observar que los polígonos cambian en los parietales, hacia la región de la base media del cráneo, neurocráneo superior y región iniana.

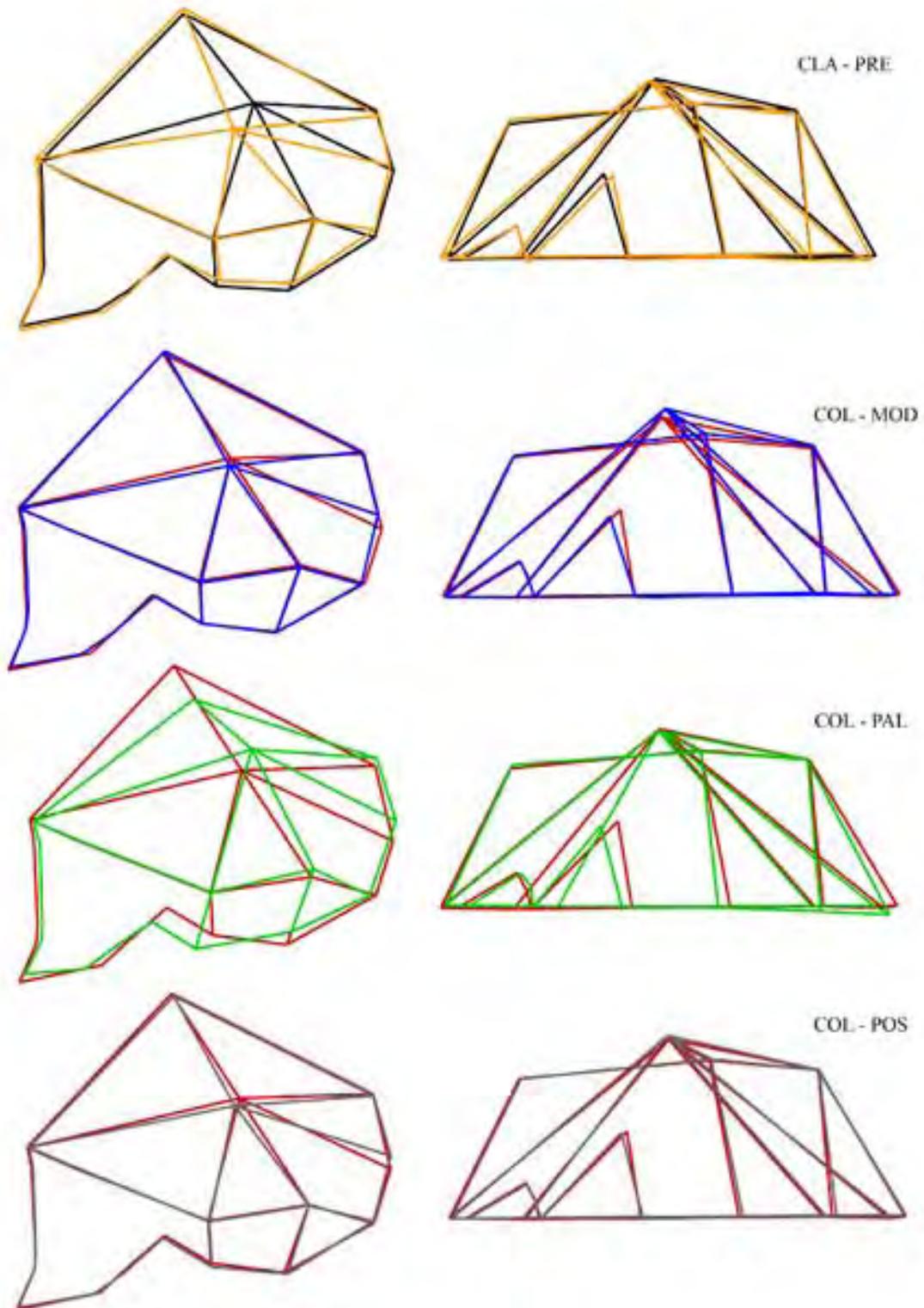


Figura 4.11. Polígonos de cambio de la forma (*wireframes*) para la comparación de medias por horizonte cultural. PAL verde, PRE naranja, CLA negro, POS gris, COL rojo y MOD azul oscuro. Se presentan las vistas del neurocráneo: A) lateral izquierda y B) infero-superior del hemi-neurocráneo izquierdo.

### Colonial (COL) vs Precerámicos (PRE)

El cambio en las formas medias de los horizontes en comparación es notable. Los principales cambios están en la globularidad del neurocráneo, la parte posterior u occipital del mismo, la máxima distancia en parietales (*eu r – eu l*) y un poco de prognatismo en COL.

### Moderno (MOD) y Precerámicos (PAL)

Los cambios en la forma del cráneo son muy evidentes es uno más de los ejemplos de cambio generalizado. Complementando a la poca variación en esplagnocráneo. En este polígono observamos que los cambios en el cráneo desde las fases más antiguas a las modernas se centra, principalmente en el neurocráneo. El cráneo del Horizonte Moderno es un de mayor globularidad craneal<sup>1</sup> (alto y ancho, principalmente); las zonas perifrontal, parietal, temporal, occipital y los dos tercios posteriores de la base del cráneo están en diferente configuración morfo-espacial.

### Moderno (MOD) y Posclásico (POS)

Las diferencias entre forma del cráneo en este par de horizontes son conservadoras. Existen cambios muy puntuales y que no exhiben mucho modificación del polígono. Tal vez, debemos señalar que MOD tiene un neurocráneo más alto respecto a POS; aunque no se cumple esta condición para el resto de los ejes de la globularidad neurocraneana.

### Moderno (MOD) y Preclásico (PRE).

Existen diferencias importantes entre las medias de estas dos configuraciones de puntos craneométricos (*landmarks*). El principal eje de cambio en la forma lo configura la globularidad (ancho, largo y alto) siendo MOD es mayor que PRE. Además, el tercio anterior de la base del cráneo sufre modificaciones importantes, PRE presenta un maxilar mas prógnata respecto a MOD.

---

<sup>1</sup> Recordar que aunque se utilizan los términos clásicos ancho, largo y alto, la morfometría geométrica tiene la ventaja de romper el patrón taxonomista sustituyendo por un análisis holista de los puntos craneométricos (*landmarks*). Luego entonces los puntos se analizan de en su conjunto y no particularmente. Así, la visión clásica de los índices, diámetros es sustituida radicalmente por este nuevo paradigma.

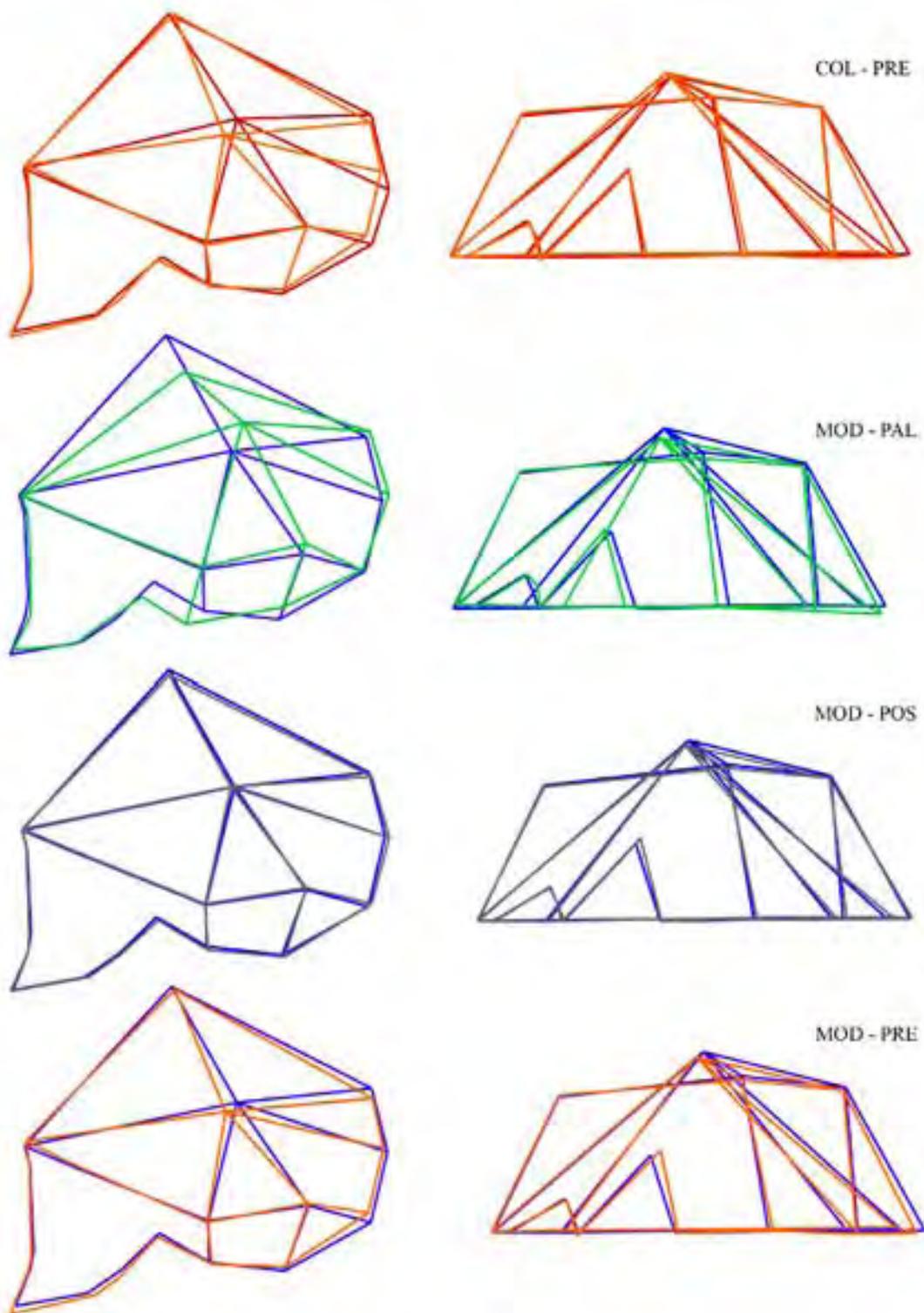


Figura 4.12. Polígonos de cambio de la forma (*wireframes*) para la comparación de medias por horizonte cultural. PAL verde, PRE naranja, POS gris, COL rojo y MOD azul oscuro. Se presentan las vistas del neurocráneo: A) lateral izquierda y B) infero-superior del hemi-neurocráneo izquierdo.

#### Precerámicos (PRE) vs Posclásico (POS)

El cambio generalizado en la forma del cráneo es muy importante. Podemos acotar que los principales ejes de cambio en la forma (*shape*) son: PAL con un cráneo mas largo y bajo y de una anchura menos que en POS. POS con un cráneo menos largo, mas alto y mas ancho respecto a PAL. Los tercios medio y posterior de la base del cráneo sufren modificaciones importantes. Finalmente, el esplagnocráneo tiene menores dimensiones (tamaño) en PAL.

#### Precerámicos (PAL) vs Preclásico (PRE)

Similar a la condición anterior, las formas medias de la variación craneal son importantes. La globularidad del neurocráneo es, por mucho, mayor en PRE respecto a PAL. PAL presenta un cráneo largo, bajo y angosto, contrario a la globularidad de PRE: corto, alto y ancho. asimismo, PRE tiene un maxilar mas alto, prognata, que PAL. El esplagnocráneo de PAL es mas pequeño que PRE. Finalmente, y reafirmando lo expuesto, el cambio en la globularidad (regiones perifrontal, parietal, temporal, base del cráneo y occipital) cambian drásticamente.

#### Posclásico (POS) vs Preclásico (PRE)

Los cambios en el cráneo de estos dos horizontes son puntuales. Principalmente, podemos ver que tenemos una modificación espacial de la máxima anchura el cráneo (*eu r – eu l*) que en POS esta hacia la parte posterior respecto a PRE. Además, POS tiene un occipital mas posterior que PRE. Cada movimiento del cráneo presenta su corresposal desplazamiento compensatorio en la morfología general del cráneo. Finalmente, PRE presenta un maxilar mas alto y pronunciado (prógnata) que POS.

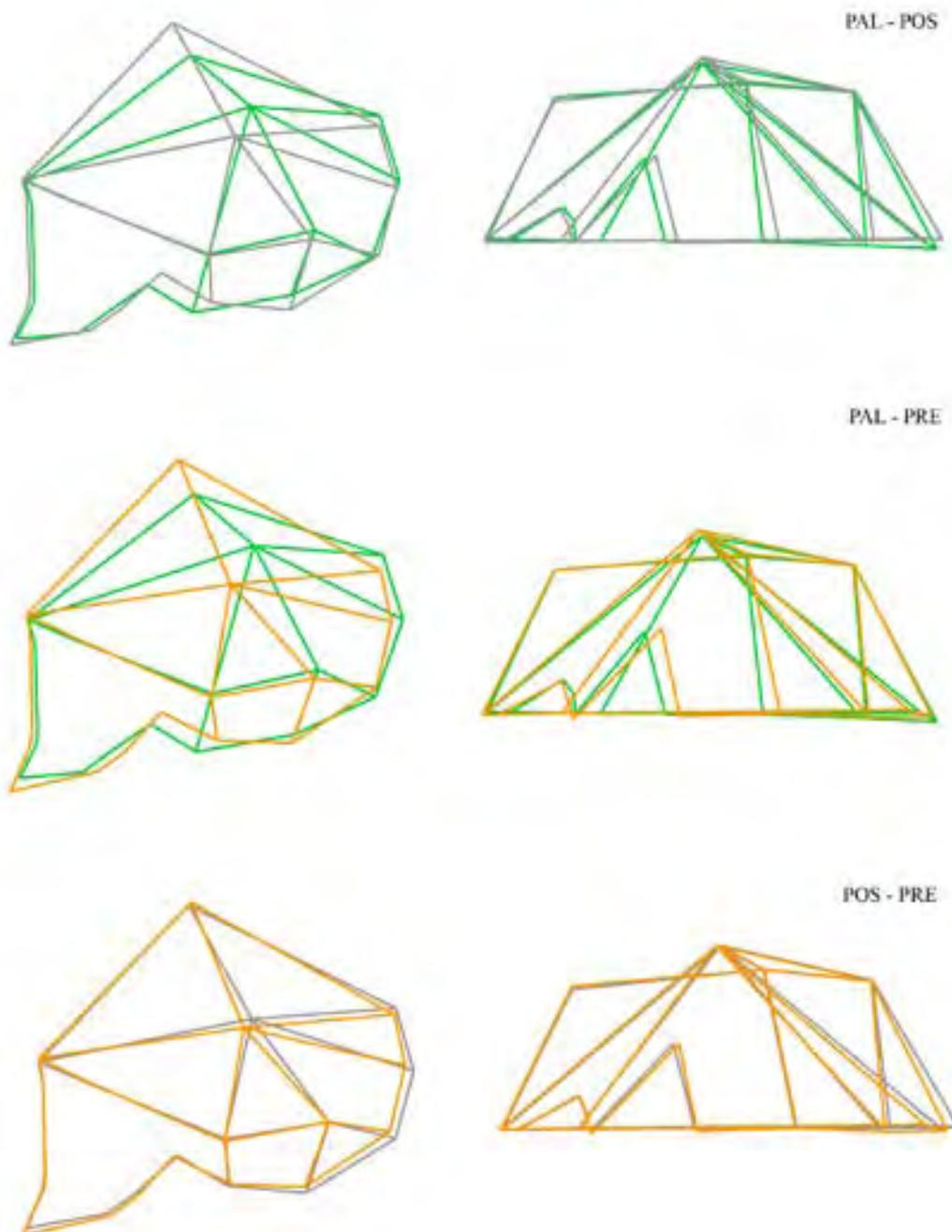


Figura 4.13. Polígonos de cambio de la forma (*wireframes*) para la comparación de medias por horizonte cultural. PAL verde, PRE naranja y POS gris. Se presentan las vistas del neurocráneo: A) lateral izquierda y B) infero-superior del hemi-neurocráneo izquierdo.



#### 4.4 Análisis de Variación Canónica (CVA) de las poblaciones mexicanas antiguas en relación a su estrategia económica.

El análisis canónico (CVA) utilizó un total de 404<sup>2</sup> cráneos subdivididos por una variable clasificatoria como Cazadores-Recolectores (CZR), Agricultores (AGR) e Industriales (IND); cada uno con las frecuencias que se pueden ver en la tabla 4-16 . La muestra sigue los requisitos de la teoría del muestreo, teniendo a los cazadores-recolectores (CZR) como el grupo menos numeroso, difiriendo en 1/3 de resto de las divisiones económicas.

No	Población	Observaciones
1	AGR	156
2	CZR	100
3	IND	148

Tabla. 4.16. Frecuencias de individuos por tipo de estrategia económica.

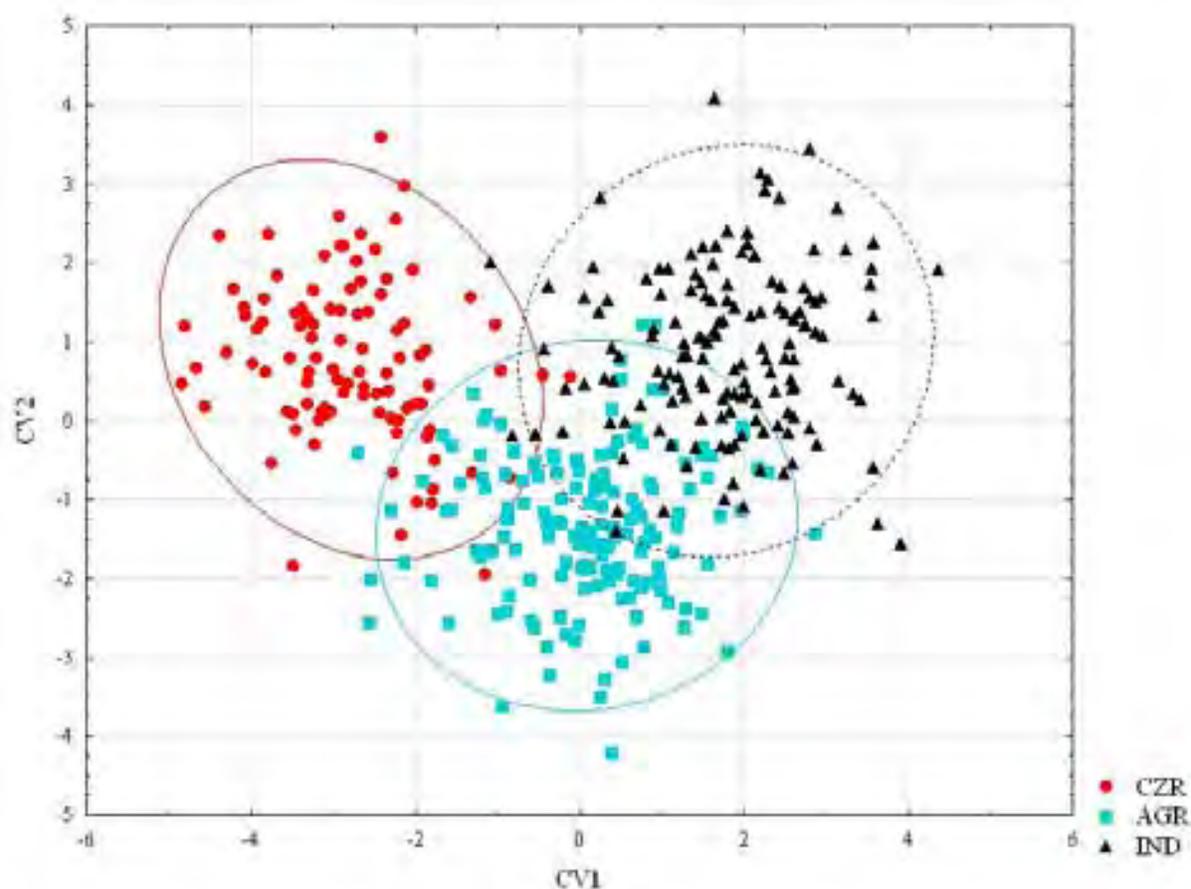
El CVA generó solo dos raíces o ejes canónicos de variación. La primera raíz colige el 73.36% de la variación y la segunda un 26.64% (Tabla 4.17).

No	Eigenvalores	% Varianza	% Acumulado
1	3.102	73.36	73.36
2	1.127	26.64	100

Tabla 4.17. Eigenvalores, porcentaje de varianza y porcentaje acumulado de la varianza producto del análisis canónico de la varianza (CVA).

Al graficar estas dos raíces (Gráfica 4.21) pudimos conocer la distribución de las estrategias económicas las cuales resultaron, a primera vista, muy concluyentes. Existe una continuidad morfológica muy clara. Asimismo, es observable el proceso de traslape de distribuciones (sólo en los extremos) de cada una de las elipses (95%). Podemos observar la transición de la estrategia de caza-recolección a la agricultura teniendo a sus elipses compartiendo más área, mientras que la agricultura con la industrialización, poco menos conservadora. Si vamos sobre la primera raíz canónica de valores positivos a negativos tendremos los cambios de la Caza-Recolección-Agricultura-Industrialización en un solo eje de la varianza (73.36%).

2 Inicialmente eran 407 pero resultaron 3 individuos fuera de rango según lo establecido en la metodología.



Gráfica 4.21. Diagrama de dispersión de la 1ra (73.36 %) y 2da (26.64%) raíces canónicas. Se observa la transición no lineal de la morfología de una economía cazadora recolectora, pasando por una agricultora hasta una industrial. Elipses explican el 95% de la varianza por grupo.

Las figuras del cambio morfológico en el cráneo a través de las raíces canónicas (Figura 4.14) nos ayuda a entender los cambios sufridos en el cráneo debido a una estrategia en particular. La primera raíz, que explicaría el paso de CZR-AGR-IND, muestra que el neurocráneo es la estructura que más se modifica. Podemos ver que existe un cambio profundo en la globularidad del mismo. El cráneo en CZR es menos globular que IND (Figura 4.13 , valores negativos), siendo la zona de parietales, temporales y occipital las regiones más cambiantes. Asimismo, es observable un cambio importante en el vector (y por ende dimensiones generales) del agujero occipital que en el caso de los CZR es más tendiente a la línea  $180^\circ$ , mientras que en IND es aproximadamente de  $5-10^\circ$  menos. Como compensación la zona esfeno-basilar se modifica y aparece más baja en CZR. La AGR se encuentra en un estado o rango medio de la variación sobre la primera raíz. Finalmente, aunque el esplagnocráneo parece tener pocos cambios, existe un proceso de modificación importante en toda la cara, salvo, la región del maxilar, en su relación *prosthion-espina post nasal*; aunque en la segunda raíz se modifica posteriormente. Entonces, la cara cambia en órbitas, anchura, región nasal y maxilar. Las caras en CZR tienen mayores dimensiones generalizadamente. La vista frontal del esplagnocráneo nos permite ver el cambio anterior, las regiones o módulos de las órbitas junto con arcos zigomáticos y nariz cambian drásticamente.

Hacia la segunda raíz podemos observar que los cambios definen más a las poblaciones de AGR, ya que sobre éste eje es que se separa este grupo (Gráfica 4.21). Los cambios en este eje son interesantes, podemos ver que el neurocráneo también se modifica en globularidad sobre todo hacia su parte lateral (*eurion*) y la zona posterior (lambda-occipital). La base del cráneo es modificada en su totalidad trascendiendo al sistema bucal, desde *prosthion* hasta *hormion*. La región del maxilar sufre una deformación muy visible haciéndose más anguloso hacia regiones negativas del eje y retrayéndose hacia las positivas. La región naso-glabelar cambia teniendo una ubicación más superior y posterior en los valores negativos del eje y más posterior e inferior en los valores positivos. Asimismo se correlaciona la presencia de la variación en globularidad del neurocráneo, aunque menor que la primera raíz canónica.

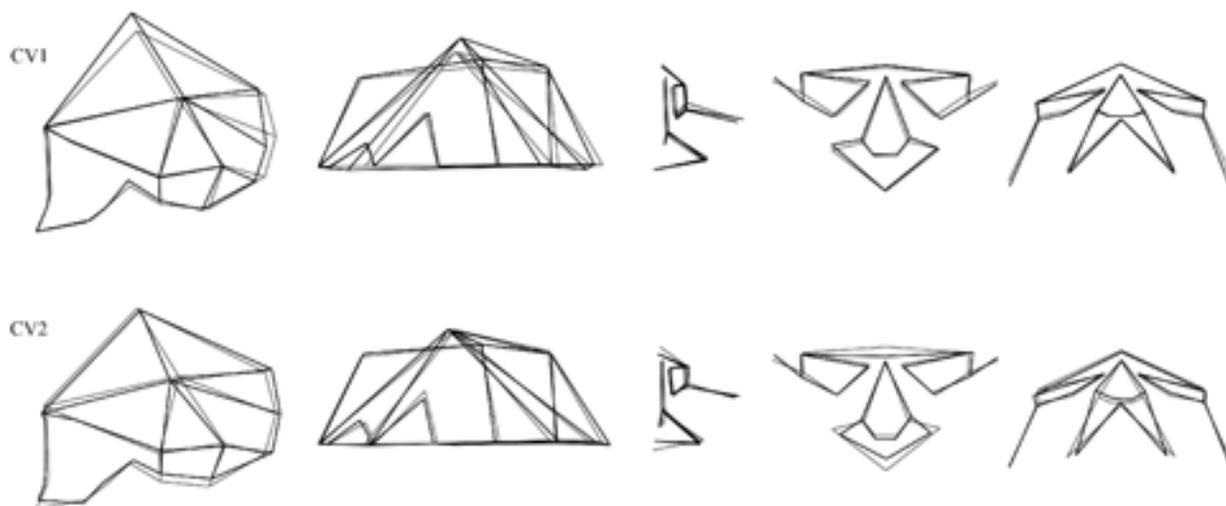


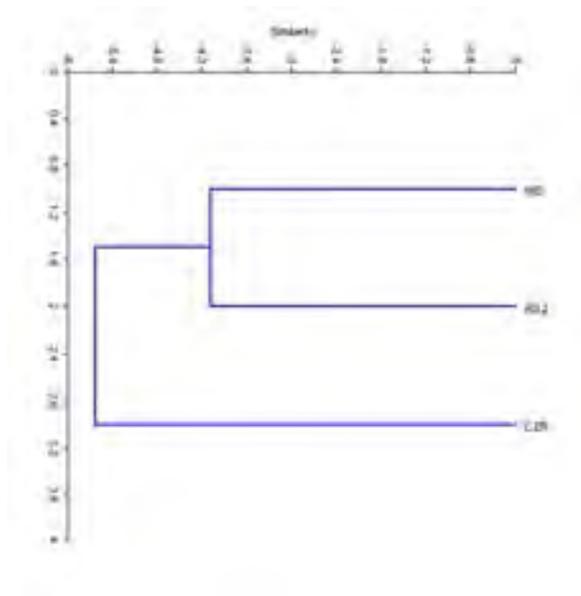
Figura 4.14. Polígonos de cambio en la forma (*wireframes*) por raíz canónica. Línea negra máximo valor positivo y línea gris valor medio. Cinco vistas (de izquierda a derecha) lateral izquierda, infero-superior de hemi-neurocráneo, esplagnocráneo lateral izquierdo, esplagnocráneo frontal y esplagnocráneo infero-superior.

Siguiendo el protocolo se presenta las distancias de Mahalanobis para cada estrategia, con sus respectivo valor de significación entre paréntesis (la tabla 4.18 resumen mucha de la información antes descrita además de asignarle un valor de significancia estadística). La mayor distancia para ambos casos es la de CZR e IND (4.34 Mahalanobis), seguida de CZR y AGR (2.38 Mahalanobis) y, finalmente, AGR e IND con 2.83 para la distancia de Mahalanobis.

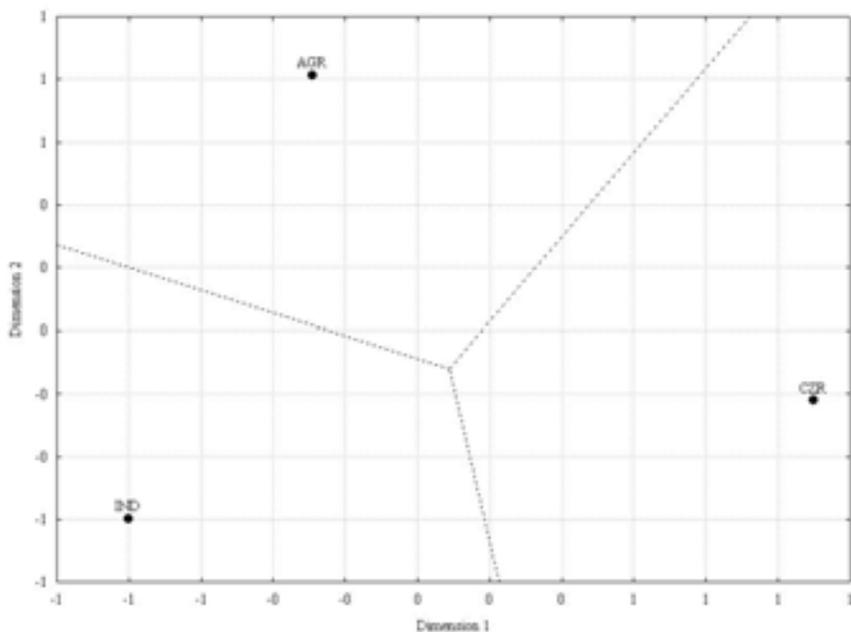
	AGR	CZR
CZR	3.4601 (0.0001)	
IND	2.8329 (0.0001)	4.3461 (0.0001)

Tabla 4.18 . Matriz de valores de las distancias de Mahalanobis para las estrategias económicas y su valore de significación *p* entre paréntesis.

Los resultados de la aplicación de agrupamientos (*cluster analysis*) resulto en la misma topología (Gráfica 4.22). Podemos ver como la estrategia económica se correlaciona en el fenotipo. Se puede ver como la agrupación de Industrial (IND) y Agricultura (AGR) se mantiene en el árbol construido a partir de distancias de Mahalanobis. De igual manera, el grupo externo Cazador-Recolector (CZR). Este resultado resulta de vital importancia en el análisis microevolutivo de las forma del cráneo. Mismos resultados en el caso del escalamiento multidimensional (Gráfica 4.23).



Gráfica 4.22. Fenograma de la matriz de distancias de Mahalanobis para las estrategias económicas analizadas.



Gráfica 4.23. MDS de la matriz de distancias de Mahalanobis. Línea punteada división por triangulación de Voronoi

#### 4.4.1 Análisis del cambio morfológico del cráneo por estrategia económica: contraste de formas medias (*Average shape*).

##### 4.4.1.1 Variabilidad del esplagnocráneo por estrategia económica.

Los polígonos (*wireframes*) resultantes de la discriminación de los valores canónicos y de procrustes vía 1000 permutaciones presentan evidencia del cambio en la forma del esplagnocráneo. Estos resultados deben contrastarse, a su análisis, con los valores de significación de las matrices de distancias Mahalanobis y Procrustes. La tabla 4.19 muestra todas los contrastes por tipo de estrategia económica que se realizaron, se reporta la distancia entre medias por Procrustes y Mahalanobis con su respectivo valor de significancia. Además, se presentan los valores p para 1000 permutaciones de las distancias. Algunos casos que no fueron significativos para la primera iteración lo fueron en las permutaciones.

Estrategia Económica	Diferencia entre medias (distancias):		Valor $p$	Valores $p$ para 1000 permutaciones	
	Procrustes	Mahalanobis		Procrustes	Mahalanobis
AGR-CZR	0.02	3.96	<0.0001	<0.0001	<0.0001
AGR -- IND	0.02	2.81	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CZR -- IND	0.04	5.51	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Tabla 4.19. Valores de diferencias entre medias por estrategia económica (distancias) y sus 3 valores de significación  $p$  simple y uno para 1000 permutaciones.

A continuación se realiza una descripción breve de los principales cambios en la forma por medias para cada contraste por estrategia económica.

##### Cazadores-Recolectores (CZR) vs Agricultores (AGR)

El cambio en la cara para estas dos estrategias es conservador, siendo los cambios muy puntuales. Las modificaciones morfológicas más evidentes visibles por el contraste de medias de la forma (*shape*) son: la modificación del maxilar que en CZR es más prominente hacia la parte basal y anterior de la cara, la región zigomática está también modificada en CZR siendo más estrecha y alta. La nariz en CZR es menos larga que AGR, teniendo un acortamiento en la base de la abertura piriforme. La región glabellar presenta un desplazamiento superior en CZR. El límite de la cara es más anterior en AGR. El análisis del neurocráneo permitirá establecer la generalización de este análisis.

##### Agricultores (AGR) vs Industriales (IND)

La fluctuación de la forma en esta pareación es puntual. Podemos observar que la mayor variación en la forma (*shape*) se concentra en la región zigo-orbitaria, peri-glabellar, bi-latero-nasal y maxilar. Los AGR presentan un maxilar más

alto hacia la región basal posterior de la cara. Además, la región nasal presenta un movimiento bilateral en su forma. Al igual que el anterior la región peri glabellar muestra mayor altura en AGR.

#### Cazadores-Recolectores (CZR) vs Industriales (IND)

Los cambios en las formas medias del cráneo de este par de estrategias son puntuales. Se puede ver, mediante los polígonos (*wireframes*). Los principales cambios pueden enlistarse como: variación de la región zigomaxilar, nasal, orbital y de anchura de la cara. Los CZR presentan, respecto a IND, una cara más amplia (ancha), un desplazamiento de la región zigomaxilar hacia la zona del tercio superior de la cara que modifica la configuración general, y por compensación, de la nariz y órbitas.

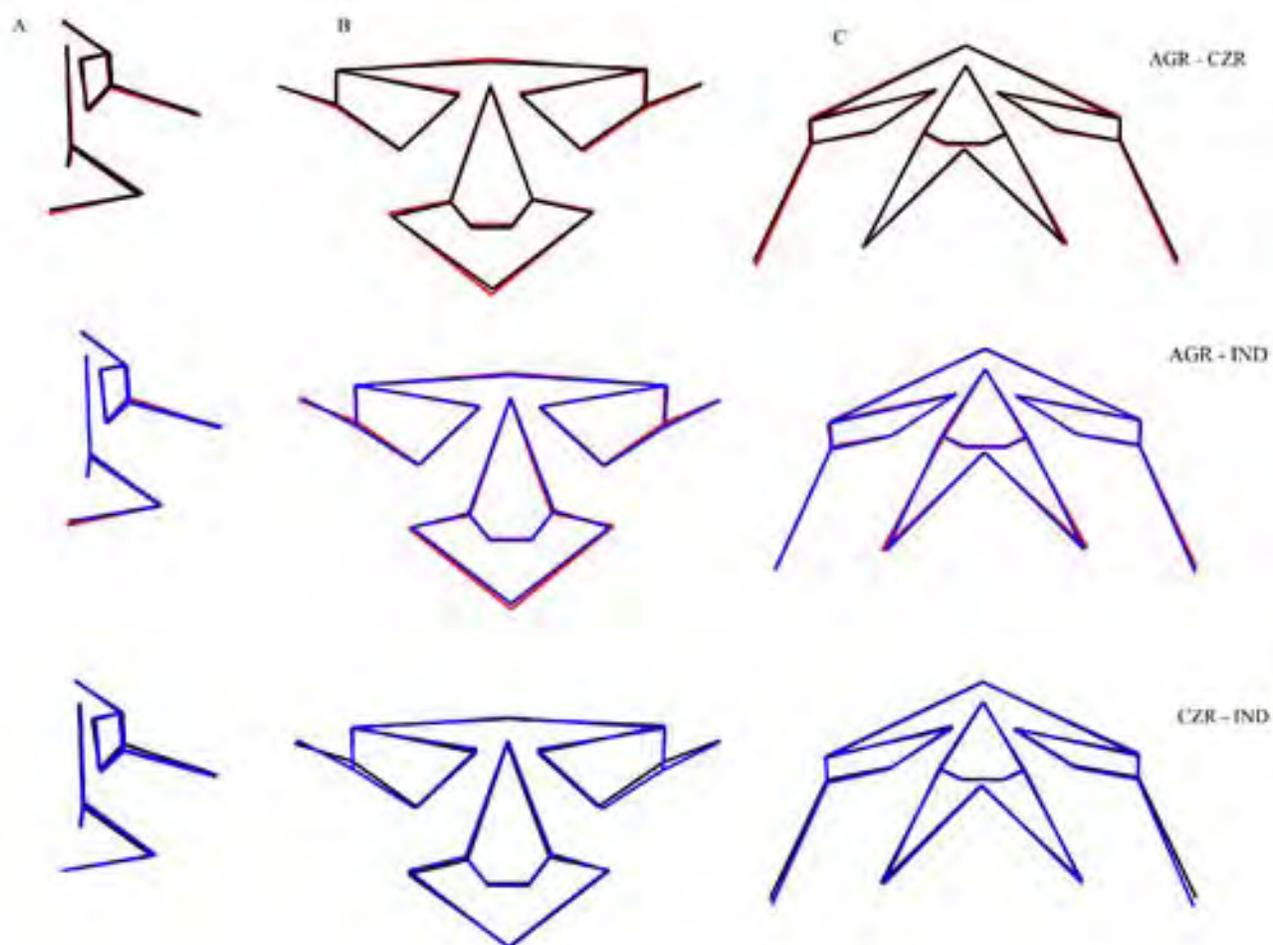


Figura 4.15. Polígonos de cambio de la forma (*wireframes*) para la comparación de medias por tipo de economía. CZR línea azul fuerte, AGR línea roja y IND línea negra. Se presentan las vistas del esplagnocráneo: A) lateral izquierda, B) frontal y C) infero-superior.

#### 4.4.1.2 Variabilidad del neurocráneo por estrategia económica.

Como complemento al análisis anterior, se presentan los resultados de los polígonos (*wireframes*) en cuanto al cambio en la forma del cráneo por estrategia económica. Es importante recordar que este análisis debe contrastarse con los datos de significación permutacional de la Tabla y no como líneas aisladas y en el marco de la variabilidad poblacional obvia.

##### Cazadores-Recolectores (CZR) vs Agricultores (AGR)

Los cambios en el neurocráneo son importantes. La principal modificación en la morfología craneana es el cambio de la globularidad craneana (modular), aunque es evidente desde este punto los cambios puntuales como el del maxilar. Se puede apreciar que AGR tiene un cráneo más alto respecto a CZR. CZR tienen un cráneo más largo respecto a AGR.

##### Agricultores (AGR) vs Industriales (IND)

La modificación de la morfología cefálica es puntual. Las principales áreas de cambio son protrusión, modificación de la zona peribasal del cráneo, occipital, temporal, parietal y frontal en sus tercios medio y posterior. Podemos decir que la globularidad de IND es mayor que AGR, siendo los cráneos IND más altos y anchos. Finalmente, el cambio en la base está relacionada a la zona del agujero occipital y la zona peri-esfenobasilar.

##### Cazadores-Recolectores (CZR) vs Industriales (IND)

Los cambios en la configuración general de la morfología del neurocráneo son totales. La regionalización de este cambio se puede reportar como cambio radical en la globularidad general del neurocráneo con modificación de parietales, occipitales, temporales y base del cráneo. En particular, CZR tienen un neurocráneo menos alto pero más largo y con una base craneal desplazada hacia la parte anterior. También, se puede observar que la cara es conservadora en su modificación.

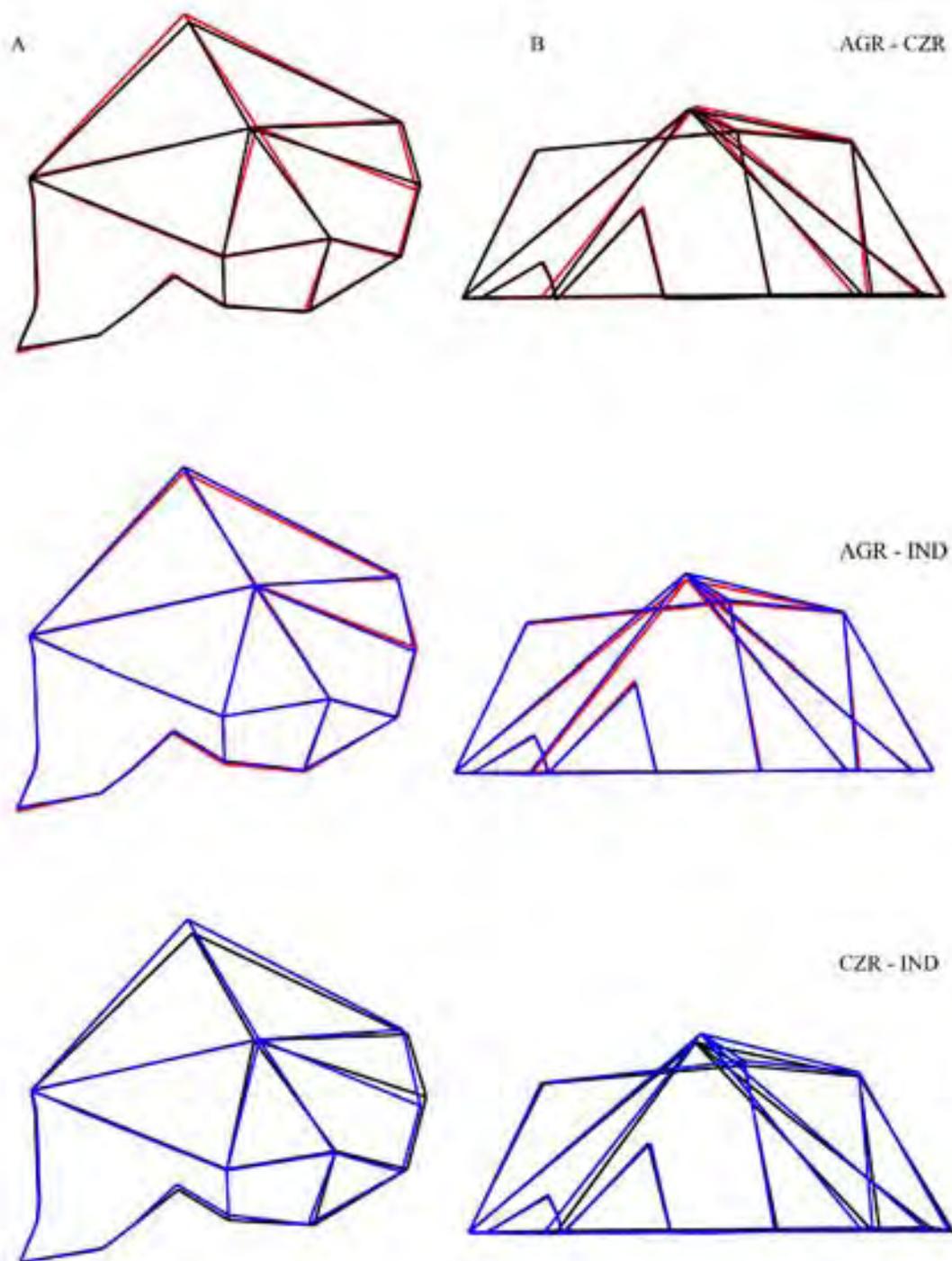


Figura. 4.16. Polígonos de cambio de la forma (*wireframes*) para la comparación de medias por tipo de economía. CZR línea azul fuerte, AGR línea roja y IND línea negra. Se presentan las vistas del neurocráneo: A) lateral izquierda y B) infero-superior del hemineurocráneo izquierdo.



#### 4.5 Re-evaluación de proceso de Mestizaje.

Para esta fase de la tesis se incluyeron 726 cráneos (Tabla 4.20) los cuales se dividieron en los grupos mencionados en la metodología y que son: ancestro mexicano (AM), ancestro español (AE), coloniales (COL), modernos mexicanos (MODM) y modernos españoles (MODE).

No	Grupo	Observaciones
1	AE	122
2	AM	177
3	COL	114
4	MODE	232
5	MODMX	81

Tabla 4.20. Frecuencia por grupos en el análisis de mestizaje.

El análisis de variación canónica dio como resultado 4 ejes o raíces canónicas (4.21) en las que se explica la variación de nuestros datos. Con las primeras tres raíces se explica el 93.89 % de la variación. La siguiente colige solo el 6.11% de la variación.

No	Eigenvalores	% Varianza	% Acumulado
1	6.67	71.99	71.99
2	1.16	12.47	84.46
3	0.87	9.43	93.89
4	0.57	6.11	100

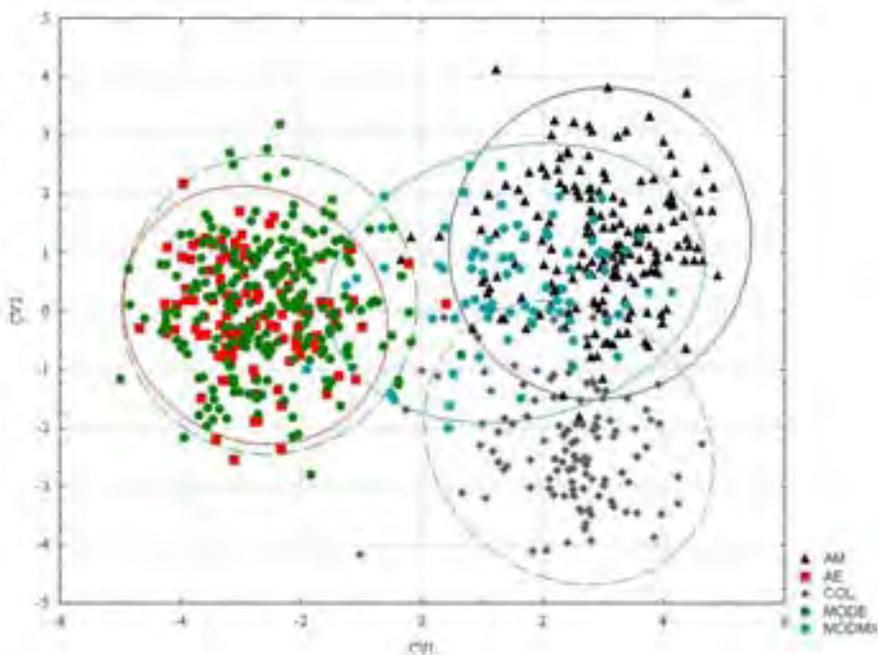
Tabla 4.21. Eigenvalores, porcentaje de varianza explicada por cada raíz canónica y su valor acumulado del análisis de mestizaje.

La observación detallada de la gráfica 4.24, de las primeras tres raíces canónicas permite corroborar la discriminación entre grupos de México y España. Además existe, dentro de las poblaciones de México, discriminación entre lo ancestral (AM), lo Colonial (COL) y lo moderno (MODMX). Las colecciones españolas ancestrales (AE) y moderno (MODE) se superponen. La gráfica de la primera y segunda raíces canónicas denota la separación de los componentes españoles y mexicanos, diferenciándose entre sus propias subestructuras (metapoblaciones). En el caso de las colecciones mexicanas podemos ver que las más modernas se agrupan más sobre las coloniales que respecto al ancestro mexicano y, a su vez, los coloniales más cerca del ancestro. En el caso de las colecciones españolas las dos subdivisiones se superponen en todos los ejes de la variación.

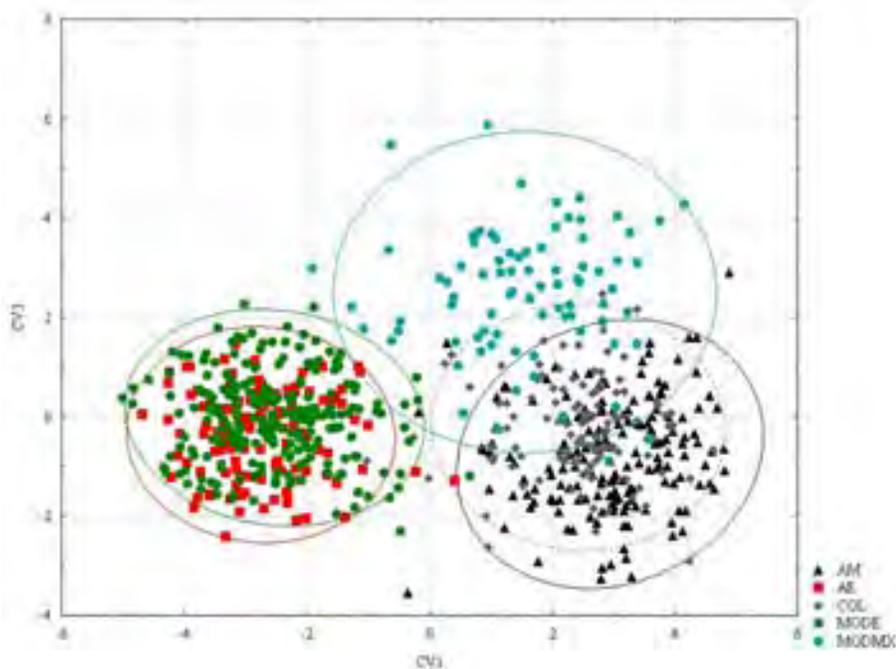
La gráfica de la primera y tercera raíces canónicas (Gráfica 4.25) permite observar que se mantiene la configuración espacial de las poblaciones, clarificando la relación entre las colecciones modernas y coloniales, siendo más importante que para con el ancestro mexicano.

La gráfica de la segunda y tercera raíces canónicas (Gráfica 2.26) nos resuelve la superposición de colecciones mexicanas teniendo al ancestro mexicano hacia los valores positivos de la segunda raíz canónica y hacia negativos de la

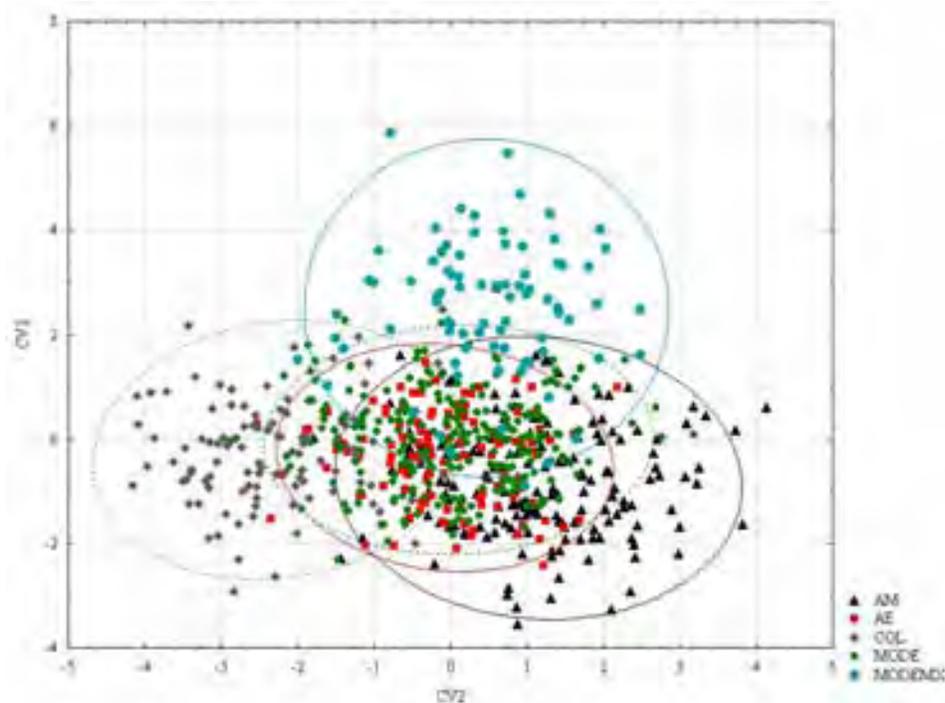
tercera. Las colecciones coloniales negativos de ambas raíces (2da y 3ra) y, finalmente, a los modernos hacia valores negativos de ambas raíces. El ancestro español se distribuye en medio de las poblaciones mexicanas, desviando su elipse de distribución a 95% hacia coloniales y modernos, pero superponiéndose también con los ancestros mexicanos.



Gráfica 4.24. Diagrama de dispersión de la 1ra (71.99%) y 2da (12.47%) raíces canónicas del análisis de mestizaje. Las elipses representan el 95% de la distribución por grupo.



Gráfica 4.25. Diagrama de dispersión de la 1da (71.99%) y 3ra (9.43%) raíces canónicas de los grupos analizados en el mestizaje. Las elipses representan el 95% de la distribución por grupo.



Gráfica 4.26. Diagrama de dispersión de la 2da (12.47%) y 3ra (9.43%) raíces canónicas de los grupos analizados en el mestizaje. Las elipses representan el 95% de la distribución por grupo.

La figura 4.17 muestra la variación en la morfología de acuerdo a los ejes o raíces canónicas generadas por el CVA. Podemos ver que la primera raíz, que explica el 71.99% de la varianza, presenta cambios en la forma del cráneo muy importantes. La globularidad neurocraneal se modifica, sobre todo, hacia el occipital y la base del cráneo; aunque los temporales y frontal posterior se ven afectados. Asimismo, hay una variación en la anchura del cráneo. El esplagnocráneo se modifica profundamente, el maxilar el prominente y alto; la región zigomática, orbital y perifrontal se modifican radicalmente. Finalmente, se puede ver un cambio importante en la configuración de la parte posterior y basal de neurocráneo en la relación asterion- eurion que denota un proceso de acortamiento de esa zona.

Hacia la segunda raíz canónica se puede observar que los cambios son puntuales y se pueden enlistar como: cambios en la parte posterior del neurocráneo (región iniana), menor altura del cráneo, maxilar más largo hacia la parte posterior y más alto (profundo), cambios importantes en la zona zigomática, orbital haciendo la cara mas ancha.

La tercera y cuarta raíces canónicas presentan cambios en el neurocráneo, en su globularidad; así como en la estrechez del maxilar, la modificación de la región nasoglabelar, occipital, el límite anterior de la cara y las órbitas. Sobre la cuarta raíz se observa un cambio en la región peri-nasoglabelar importante.

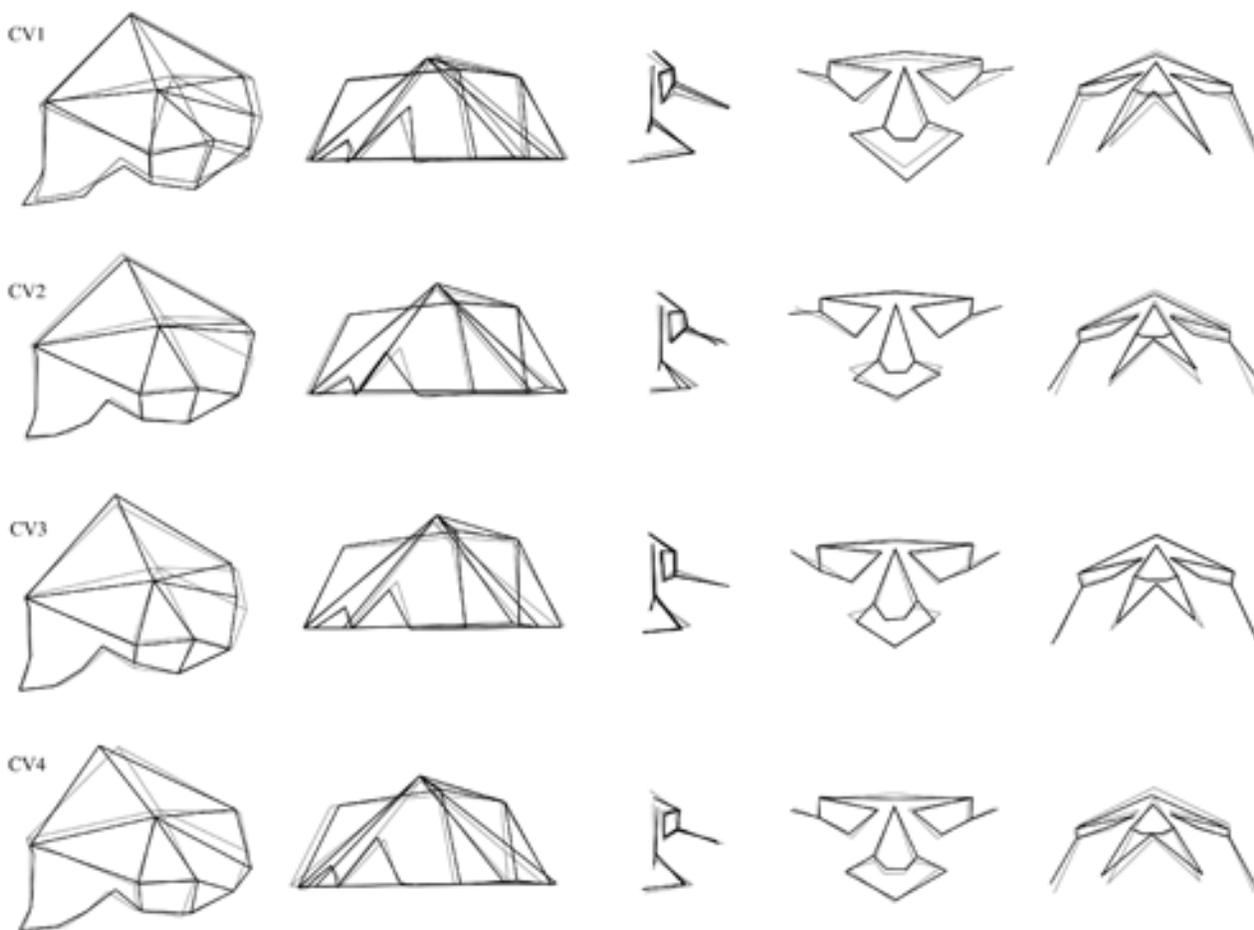


Figura 4.17. Polígonos del cambio en la forma (*wireframes*) productos del CVA para el análisis del mestizaje. Se analizan cinco normas o vistas, de izquierda a derecha: lateral izquierdo del cráneo, inferior superior del hemi-neurocráneo, lateral del esplanocráneo, frontal del esplanocráneo y inferior superior del esplanocráneo.

Continuando con los resultados de esta fase del análisis reportamos las matrices de distancias fenotípicas (biológicas) que resultaron del análisis de variación canónica. Se presentan los valores de las distancias de Mahalanobis y Procrustes asociados a sus valores de significación  $p$  que resultaron significativos para datos  $<0.0001$  en un análisis con 1000 permutaciones (Tablas 4.22 y 23). La mayor distancia es la de AM y AE que son los ancestros de cada población. Posteriormente, el AE y COL tienen una distancia morfológica importante.

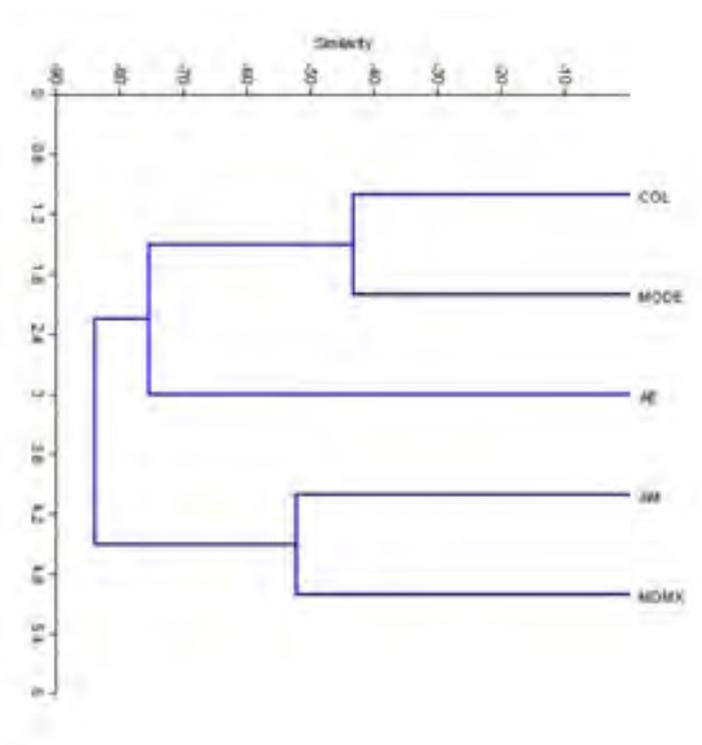
	AE	AM	COL	MODE
AM	6.01			
COL	5.82	3.48		
MODE	2.28	5.67	5.53	
MODMX	5.33	3.62	3.96	4.94

Tabla 4.22. Matriz de distancias de Mahalanobis por clasificación temporal en el análisis del mestizaje

	AE	AM	COL	MODE
AM	0.0001			
COL	0.0001	0.0001		
MODE	0.0001	0.0001	0.0001	
MODMX	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

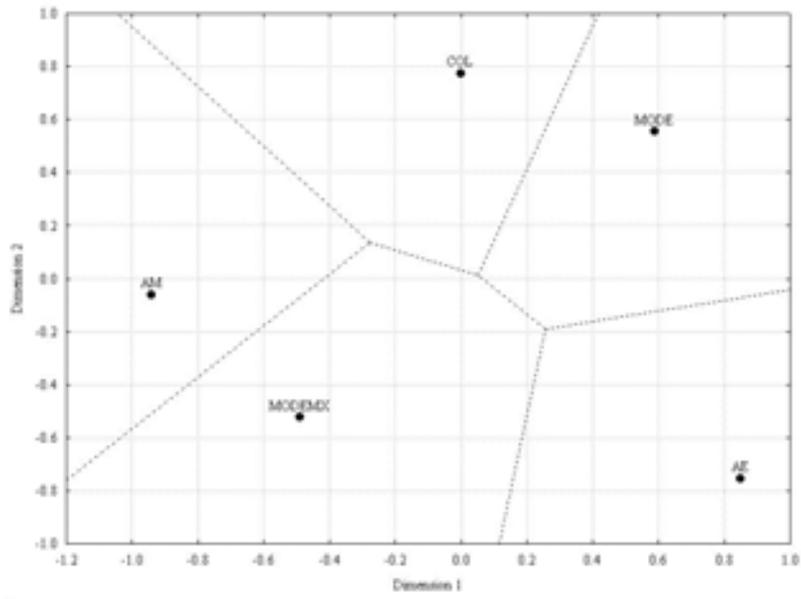
Tabla 4.23. Valor  $p$  de significación de la matriz de distancias de Mahalanobis anterior (Tabla 4.22).

La aplicación de un análisis por agrupamiento (*cluster analysis*) y escalamiento multidimensional sobre las distancias anteriores resultaron en árboles filo-fenotípicos (Gráfica 4.27). Se puede ver que se hace una clasificación UPGMA curiosa, las poblaciones coloniales agrupadas con los españoles modernos, seguida por el ancestro español y éstos últimos, grupo hermano del ancestro mexicano y las poblaciones modernas mexicanas. La figura que pertenece a las distancias de Procrustes propone la división española y mexicana, manteniendo la relación moderno mexicano con ancestro mexicano.

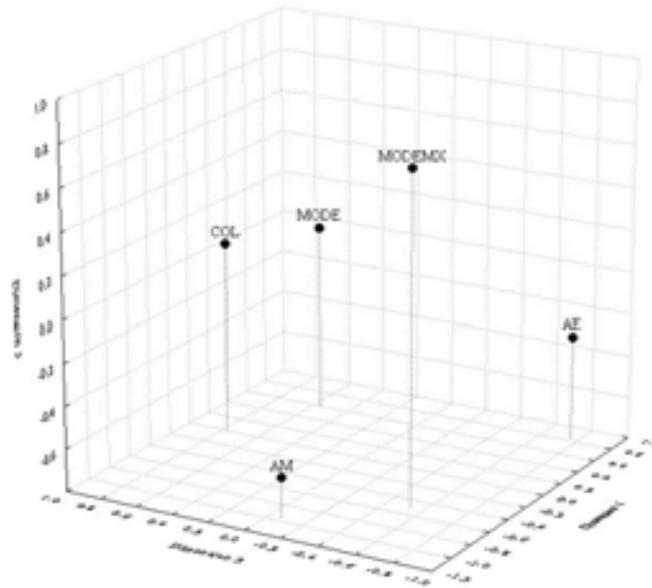


Gráfica 4.27. Fenograma UPGMA de las distancias de Mahalanobis de las poblaciones analizadas en el Mestizaje

Para finalizar las distancias de Mahalanobis se presenta en la gráfica 4.28, que es el resultado del escalamiento multidimensional en donde las relaciones fenotípicas anteriores se resuelven. Se puede ver que las poblaciones mexicanas se encuentran hacia el lado izquierdo de la gráfica y los españoles a la derecha, partido cerca de la mitad del plano. El gráfico en 3D (Gráfica 4.29) resuelve la gráfica euclidiana simple dando muestra de la relación espacial de cada población. Parece que la morfología colonial (COL) se agrupa a la moderna española (MODE) en todas los casos; caso similar del ancestro mexicano (AM) y las poblaciones modernas mexicanas (MODMX), pero esta última relación descrita es mas distante respecto a la dimensión 3 del escalamiento.



Gráfica 4.28. MDS a partir de las distancias de Mahalanobis. Linea discontinua triangulaciones de Voronoi.



Gráfica 4.29. MDS (3D) sobre las distancias de Mahalanobis. Se puede observar mejor la relación espacial de los grupos.

#### 4.5.1 Contraste de formas (*shape*) medias poblacionales del cráneo en el análisis del mestizaje en México.

La tabla 4.24 muestra todos los contrastes por poblaciones que se realizaron, se incluye la distancia entre las medias por Procrustes y Mahalanobis y su valor inicial de significancia. En adición, se reportan los valores  $p$  para 1000 permutaciones de estas distancias. Todos las combinaciones son diferentes ( $p < 0.0001$ ). Aunque no todas las combinaciones tiene un sentido en el estudio, se presentan los datos para su análisis generalizado y como un dato que respalda la diferencia que se ve entre las poblaciones en interés por su valor explicativo para el fenómeno del mestizaje.

Poblaciones	Diferencia entre medias (distancias):		Valor $p$	Valores $p$ para 1000 permutaciones	
	Procrustes	Mahalanobis		Procrustes	Mahalanobis
AE -- AM	0,06013843	7,3437	<0.0001	<0.0001	<0.0001
AE -- COL	0,04990389	7,8987	<0.0001	<0.0001	<0.0001
AE -- MODE	0,01799130	2,5564	<0.0001	<0.0001	<0.0001
AE -- MODMX	0,05780848	6,8994	<0.0001	<0.0001	<0.0001
AM -- COL	0,03063180	4,0513	<0.0001	<0.0001	<0.0001
AM -- MODE	0,05847399	6,1469	<0.0001	<0.0001	<0.0001
AM -- MODMX	0,02389599	4,3601	<0.0001	<0.0001	<0.0001
COL -- MODE	0,04962526	6,6245	<0.0001	<0.0001	<0.0001
COL -- MODMX	0,03806215	5,3673	<0.0001	<0.0001	<0.0001
MODE -- MODMX	0,05601214	5,6853	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Tabla 4.24. Diferencias entre medias por clasificación en el análisis del mestizaje, el valor  $p$  simple y el mismo valor para 1000 permutaciones de las distancias de Mahalanobis.

Entonces, teniendo los valores de significación podemos analizar el cambio en la forma para cada comparación de nuestro interés. A continuación desglosaremos unas breves descripciones de éste cambio para cada una de las comparaciones que se consideran importantes.

##### Ancestro español (AE) vs Ancestro mexicano (AM)

Los cambios en la forma (*shape*) del cráneo son muy importantes y por así llamarlas, generalizados. Estos cambios se centran en las siguientes regiones: la globularidad del neurocráneo, la forma de la cara, el protrusión, la forma y orientación de las órbitas y la región perifrontal. De manera general son dos morfologías diferentes, salvo en el caso de la nariz que pareciera, junto con el límite anterior de la cara, lo más conservador. El AE presenta un cráneo mas corto respecto a AM; asimismo mas prógnata, con el tercio superior de la cara mas alto y la región zigomática desplazada superiormente compensando, también, el movimiento de las órbitas.



Figura 4.18. Polígonos del cambio en la forma (*wireframes*) producto de la comparación por medias para AE y AM.

#### Ancestro Mexicano (AM) vs Colonial (COL)

Los cambios en la forma del cráneo son más puntuales pero importantes. La globularidad del neurocráneo se ve afectada en la zona occipital, la base del cráneo y la región peri-éurica. Además, el cráneo se hace más angosto en COL. La estructura de la cara es diferente en los tercios inferior y superior, ya que la región nasal es donde se observan menos cambios. El maxilar sufre cambios siendo más posterior en COL. Por último, hay un desplazamiento en la zona zigomática haciendo más estrechas las caras de los COL.

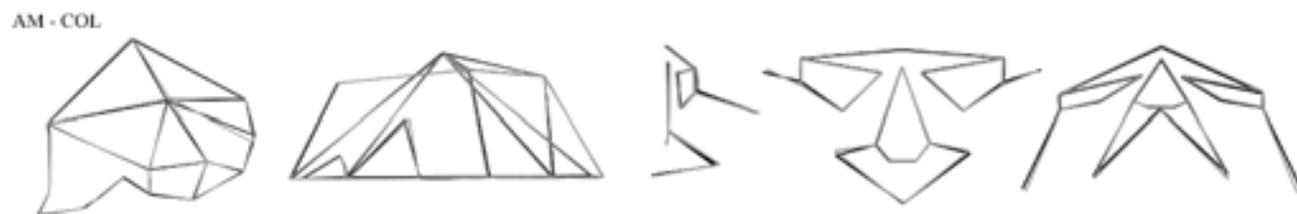


Figura 4.19. Polígonos del cambio en la forma (*wireframes*) producto de la comparación por medias para AM y COL

#### Ancestro español (AE) vs Colonial (COL)

Se puede observar un cambio radical en la configuración de cráneo para esta comparación. Las regiones que no cambian son la nariz (tercio medio de la cara) y el frontal tiene modificaciones importantes. La globularidad del cráneo es mayor en AE sobre todo hacia la región posterior, ya que en la basal es más importante la de AE y la altura es la misma. Asimismo, la anchura del neurocráneo es mayor en el AE. Para la cara tenemos cambios generalizados en órbitas, región nasio-glabeular, maxilar, zigomáticos, aunque las caras son de anchura y largo similares ; no así la altura que es menor en AE.

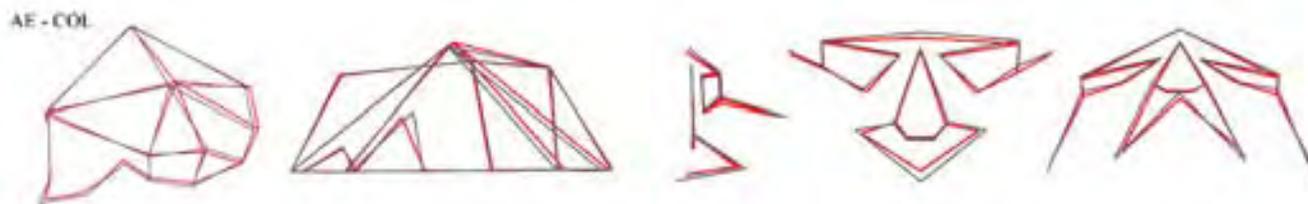


Figura 4.20. Polígonos del cambio en la forma (*wireframes*) producto de la comparación por medias para AE y COL

#### Colonial (COL) vs Moderno mexicano (MODMX)

Los cambios encontrados en la forma del esplagno y neurocráneo son puntuales. el neurocráneo solo cambia en la región parietal (parte posterior), en su anchura (siendo mayor en MODMX). Además, tenemos cambios en el esplagnocráneo, por ejemplo, el maxilar en COL es más largo pero la cara es más estrecha. Las órbitas de COL son mas estrechas que en MODMX. Finalmente, la altura de la cara de COL es un poco mayor.

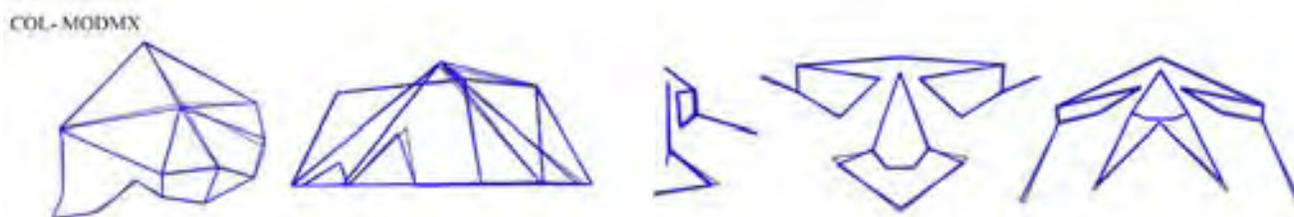


Figura 4.21. Polígonos del cambio en la forma (*wireframes*) producto de la comparación por medias para COL y MODMX

#### Moderno mexicanos (MODMX) vs modernos españoles (MODE)

La modificación de la morfología craneana es radical para esta comparación. No es visible una región no diferenciada. La globularidad del neurocráneo, la orientación, altura, anchura y longitud de la cara son diferentes. MODMX tiene un cráneo más largo que MODE; asimismo, tiene una cara más pequeña y menos ancha, pero de órbitas más grandes. La nariz es más amplia en el caso de MODE. Los cambios, como lo hemos visto anteriormente se asemejan a los ancestros.

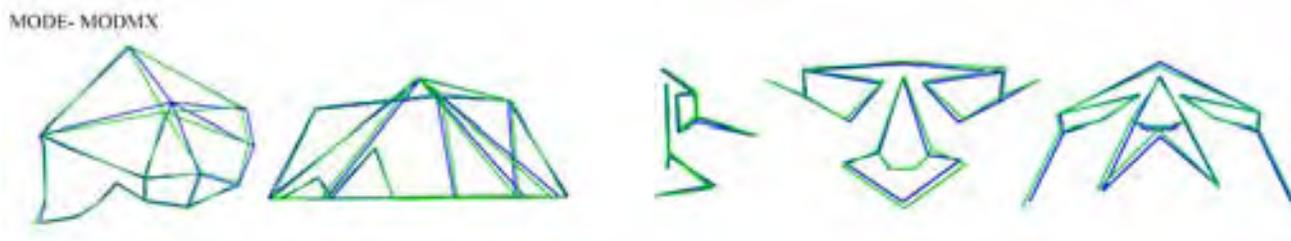


Figura 4.22. Polígonos del cambio en la forma (*wireframes*) producto de la comparación por medias para MODE y MODMX

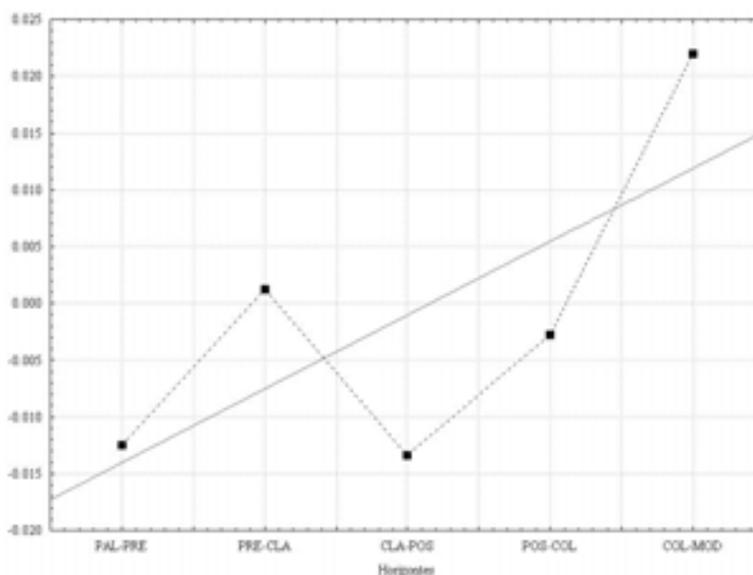


### 4.6 Tasa microevolutiva de la forma del cráneo en México.

Una vez aplicados los modelos matemáticos y recomendaciones de MacFadden (1988) y Gingerich (1983) para tasas de evolución<sup>3</sup> resultó que existe una tasa de microevolución (Tabla 4.25) importante del Posclásico al horizonte Moderno (Gráfica 4.30) La microevolución del cambio en la forma comienza con un valor de -0.012484 para comparación del horizonte Precerámico con Preclásico. La siguiente comparación, Preclásico con Clásico, eleva su tasa de evolución a 0.0012652, que en la comparación del Clásico al Posclásico vuelve un valor cercano al primero (-0.0013366). La tasa para el contraste Posclásico Colonial se presenta un incremento en la tasa estimada. Aunque la tasa aumenta en el contraste de los horizontes Colonial y Moderno.

	Eigenvalores PCA	Periodos	<i>t</i>	<i>r</i>
PAL	0.01679540	PAL-PRE	71.06	-0.012484648
PRE	0.00691646	PRE-CLA	35	0.001265211
CLA	0.00722962	CLA-POS	27.12	-0.013366986
POS	0.00503127	POS-COL	23.02	-0.002745172
COL	0.00472314	COL-MOD	14.54	0.021971009
MOD	0.00650128			

Tabla 4.25. Valores de la sumatoria de los eigenvectores de cada horizonte, la comparación por periodos, su correspondiente media geométrica de la separación entre los horizontes (*t*, medido en años BP) y la tasa de microevolución (*r*)



Gráfica 4.30. Distribución de los valores *r* (●) en las comparaciones. La línea gris denota la media de los datos.

<sup>3</sup>Recordar que un Darwin equivale a un cambio de 2,718 por millón de años (*ma*). Sin embargo como nuestro tiempo es ecológico así que los *ma* los tomamos como años simplemente. Así, restando ceros a la ecuación no se altera.

### 5.1. Sobre la configuración y perspectivas de las muestras.

Las colecciones osteológicas que sustentan este trabajo proceden de excavaciones realizadas en diferentes épocas, con diferentes contextos y aplicando diversas técnicas. Aunque en el capítulo de la metodología se especificó que la muestra debería tener determinadas características de conservación, la mayoría de los cráneos presentan pérdidas *postmortem* o inadecuada técnica de excavación, aún sabiendo que el cráneo es una de las estructuras óseas que más se conservan en los entierros (Mays 1992). No obstante, el criterio de elección de los individuos fue riguroso e inclusive pasaron el filtro estadístico y el arreglo por Procrustes para así tener sólo la variación en la forma (*shape*).

En primera instancia tenemos que discutir la falta de representatividad de nuestras poblaciones, ya que son sólo una proporción descubierta de la totalidad de entierros y a su vez, una proporción de la población que vivió en el pasado (Roberts y Manchester 2005). Este punto ha sido debatido en exceso y no me voy a detener en exponer los ejes de cada propuesta, si no más bien en decir que nuestros datos reconocen, en algunos casos, una tendencia al sesgo estadístico, al no representar todo el rango de variación de la población antigua. Algunas de nuestras muestras se integran de sólo 6 individuos (Tlatilco<sup>1</sup>, TCO) que de ninguna manera representan a la población antigua del Preclásico, aunque sí la única referencia material ósea cuantificable de éstos individuos. Lo anterior representa un problema generalizado en la antropología física, aunque no por ello no se muestra la inferencia, como lo atestiguan trabajos como Hanihara *et al.* (2008) que tiene muestras de 14 individuos para una población.

En la Metodología se citó a Rodríguez (2001) que define: la influencia del tamaño de la muestra, la poca representatividad del sexo femenino y la variación en la amplitud geográfica son factores para la calidad final de los resultados. Un aspecto importante es pensar en que tipo de teoría estadística puede ayudarnos a disminuir el fenómeno de no representatividad de nuestras muestras con números muestrales bajos. ¿Es posible realizar estudios de historia biológica a partir de estos datos?

Para responder a la pregunta se toman algunos conceptos como distribución normal (Daniel 2006;130) unido al teorema del límite central (Rice 1995, Weisstein 2009) y los análisis sobre muestras pequeñas (Sokal y Rohlf 1986) que se interrelacionan para definir que 10 poblaciones están por arriba de la primera recomendación (Daniel 2006) del número límite de casos (<30 casos) para que se de una distribución normal, sólo 6 poblaciones tiene una  $n \geq 10$  casos y solo 3 poblaciones con valores < que 10 casos (TUL, TCO y TMP). En discordancia con Daniel (2006), Knussman (1967) realizó

---

<sup>1</sup> Y que no tiene una distribución normal y procede de una muestra general heterocedástica.

comparaciones entre las distancias de Mahalanobis y de Penrose hallando muchas correlaciones en muestras de 27 individuos, por lo que tenemos al menos 10 poblaciones en ese rango. Conociendo este patrón podemos interpretar nuestros datos con reserva de este panorama. Sin embargo, existe evidencia para sustentar que nuestro método es sensible para estos casos con números muestrales bajos ya que la mayoría de las poblaciones están por arriba de los rangos recomendados. Luego entonces el núcleo estadístico del análisis se mantiene sin modificaciones sustanciales.

Los cráneos procedentes del Templo de Quetzalcóatl en Teotihuacan (TEO) son un caso particular de análisis para esta discusión. Si observamos las gráficas 4.8 y 4.9, podremos denotar la peculiaridad de dichos casos; los cráneos se aíslan, por distancias euclidianas del resto de las poblaciones. Inclusive en el caso del fenograma (UPGMA) podemos ver que es el grupo externo a todas las poblaciones (fenograma por distancias de Mahalanobis, Gráfica 4.8). Anteriormente este fenómeno había sido descrito (Quinto-Sánchez 2007) aunque en interacción con menos poblaciones (Figura 5.1). ¿Cómo podemos explicar que estos siete cráneos se dispersen del resto de poblaciones?

Según los datos arqueométricos de isotopía de hidrógeno en huesos (White *et al.* 2002) de estos individuos y el análisis de su contexto arqueológico (Sugiyama 1989), se determinó que estos individuos no eran de teotihuacanos y el presente análisis lo percibe. Ahora bien, cabe destacar que para el estudio previo la forma del cráneo se evaluó en 2D y solo con 10 puntos en norma lateral izquierda. El presente estudio se realiza con 37 *landmarks* en 3D, lo que le permite sustentar que los análisis multivariantes de la forma son mejores indicadores del cambio microevolutivo; ya que, a pesar del cambio de metodología de análisis, la discriminación de los datos es importante; es decir, pertenecen a una morfología que no es afín a alguna de las poblaciones incluidas en el estudio. Asimismo, muchos investigadores pueden argumentar que este hecho es una coincidencia pero la significación estadística es constante ( $p < 0.0001$ ) para todas las poblaciones contrastadas.

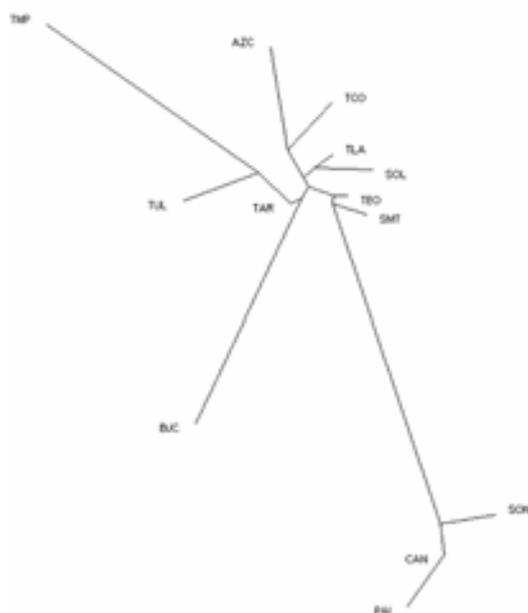


Figura 5.1. Fenograma UPGMA de 13 poblaciones 2D norma lateral izquierda para 10 *landmarks*. Puede observarse que TMP se discrimina del resto de poblaciones. Tomado de Quinto-Sánchez 2007

Entonces, de manera general mediante este ejemplo comprobamos que la morfología, cuando es estudiada de manera global es un estimador confiable de las relaciones fenotípicas.

En suma, tenemos ejemplos de la paleoantropología, patología, demografía y ontología que nos ayudan a pensar en que los bajos números muestrales no invalidan los resultados. Muchos estudios paleoantropológicos basan sus estudios sobre inferencias poblacionales con números muestrales bajos (Curnoe 2008, Barbera *et al.* 2008, Harvati 2004, Bastir y Rosas 2004), no por ello demeritando la calidad del análisis y perspectivas del análisis. La evolución humana está sustentada en muy pocas muestras, lo que no ha obstaculizado la continua investigación sobre ellas.

Ubelaker (2006; 27) apunta que los restos humanos representan no solamente extraordinarias fuentes de información científica, si no también individuos únicos, como ya citábamos en la Metodología. Luego entonces, preferible incluir un dato con reservas de interpretación a dejar parte de esa posible totalidad de la variabilidad fuera del estudio.

Como en paleoantropología, la paleontología que trata la historia biológica de organismos extintos en términos macroevolutivos, se presentan limitantes muestrales similares; sin embargo, lo anterior no limita el trabajo, desarrollo, interpretación y validez de dichos estudios. La ciencia no es un proceso <<acabista>>, la propia dinámica del proceso

científico permite avanzar con estas “limitantes” para que en un futuro próximo, con el desarrollo de nuevas metodologías y recursos tecnológicos, este paradigma sea sustituido y, como ahora lo hace la morfometría clásica, representen la base teórica-metodológica de la morfometría geométrica.

En adición a esto, la paleontología plantea que se puede definir que una población con bajos representantes es sustentable a su comparación por su vicarianza (temporal y tal vez geográfica). Por ejemplo existen muestras muy separadas temporalmente como por ejemplo precerámicos (PAL) y modernos (MOD). Entonces como existen 12000 años de diferencia entre las muestras podemos decir que, a pesar que la muestra (PLA) sea muy pequeña (10 cráneos) la separación temporal nos dicta, por lógica formal, que la muestra será diferente aunque nuestras poblaciones compartan un mismo espacio geográfico, el centro de México. Por otro lado, en el caso del aislamiento geográfico o vicarianza podemos ver cómo una morfología particular como los pericues o las poblaciones del norte presentan, por simple clina geográfica una variación morfológica importante y, seguramente con buenas raíces genéticas. Sin embargo, en el caso de las poblaciones del centro de México podemos decir que las variaciones puntuales deberían tener rasgos de explicación adaptacionista. La estructura de las relaciones hace que se creen barreras de variabilidad importantes que nos ayuden a poder comparar a muestras pequeñas con grandes como en el caso de TMP que a pesar de ser 6 cráneos se discriminan muy bien.

## **5.2 Modelo probabilístico y significación estadística.**

El modelo probabilístico tiene algunas importantes reservas que se deben discutir. Lo primero, es que las clasificaciones que realiza el programa son de una rigurosidad matemática estricta. Es decir, si al programa se le designa un valor de significación  $p^2$  para 99% de confiabilidad, su corte es determinante excluyendo los casos en el límite de la variabilidad aceptada como “normal”. Ahora bien, si se cambia a un rango de 95% algunos datos comenzarían a modificarse dejando a muchos individuos fuera de lo “aceptable; y así, sucesivamente 85%, 80% etc. Este fenómeno ha sido aceptado por la comunidad científica definiendo que el mejor parámetro es 95%. Asimismo, para el caso de los números muestrales ya hemos citado que es 30, aunque estudios anteriores (Quinto-Sánchez 2007) demostraron que las configuraciones de los resultados no fluctuaban cuando son eliminados las poblaciones cuyos números muestrales son inferiores a 10. En lo que se debe tener cuidado es en la inferencia de procesos biológicos poblacionales con dichas muestras. Recordemos que la generalización en la antropología física clásica le valieron el descrédito por los excesos en las visiones determinísticas desarrolladas a partir “comprensión” de la probabilidad de que un evento sucediera.

<sup>2</sup> el valor  $p$  representa un índice de disminución de la confiabilidad de un resultado (Brownlee 1960).

Para complementar la idea resta citar el trabajo realizado por Ousley y Jantz (2005): el programa *Personal Computer Forensic Discriminant Functions* (FORDISC 3.0). Mismo que requiere de una base de datos (*Data Collection Procedures for Forensic Skeletal Material* Moore-Jansen, Ousley y Jantz 1994) para que, al ingreso de uno o varios datos de un organismo  $x$  (desconocido), el *software* le asigne un tipo racial y sexo usando funciones discriminantes. El programa, condiciona al modelo matemático a elegir, de las bases de datos existentes, en donde el organismo  $x$  se ubica mejor y le asigna una significación estadística. Si este organismo se encuentra morfológicamente dentro del rango de 95%; entonces, será clasificado con significación positiva. Pero si esta fuera de las dos desviaciones estándares, será clasificado como *outlier*; aunque pudiera pertenecer a dicha población. Para resolver este problema se realizan permutaciones o iteraciones, para así conocer si dicho proceso se mantiene, por así decirlo, en relación a una unidad de tiempo o repetición y es posible asignarle un nuevo valor de significación de acuerdo a un número determinado de iteraciones. Entonces, si la asignación vía discriminante, obliga al programa a ponerle en un grupo  $x$ , lo podemos comprobar en nuestros resultados si observamos las gráficas producto de las comparaciones discriminantes y su validación cruzada. En ellas encontraremos como, a lo largo de las permutaciones la asignación a un grupo se comporta. Por ello, también se deben considerar estas gráficas al interpretar los resultados. Muchas de las poblaciones humanas pueden presentar una variabilidad intrapoblacional mucho mayor que la variabilidad interpoblacional, complicando su análisis mediante alguna metodología propuesta. En otro escenario, podríamos tener casos en que el fenotipo no este catalogado dentro de la variación de las muestras incluidas y su asignación a un grupo  $x$  será de valores muy bajos de probabilidad. Aunque este es el mismo fenómeno que pudiera ocurrir en los individuos en el área de superposicionamiento de curvas de distribución, donde un individuo  $x$ , puede ser asignado a dos poblaciones por su relación matemática. En este punto, la referencia fidedigna de los datos es de vital importancia.

Aunque se puede cuestionar mucho los resultados, un hecho concreto es que las bases de datos que se ocupan, como por ejemplo la de Howells, permiten la asignación a un grupo de un individuo no identificado o comparaciones con otros datos recién generados. Aunque no siempre se conocen a ciencia cierta cómo se generaron los datos, qué errores existieron en ellas, etc. Sin embargo, representan un medio de discriminación más para una muestra determinada.

### **5.3 Sobre los cráneos no incluidos**

En otro contexto, la deformación cefálica intencional, una costumbre muy diseminada en el México prehispánico, es nuestro principal rasgo de eliminación de cráneos según nuestro protocolo. La modificación del cráneo producto del

modelado cefálico intencional hace que la información morfológica y genética que el cráneo contiene se modifique vía plasticidad fenotípica. Entonces, en la mayoría de los casos existe disponibilidad de cráneos con muestras importantes; sin embargo, bajo los requerimientos protocolarios de nuestro estudio genético poblacional es imposible ajustar la deformación cefálica intencional ya que las modificaciones morfológicas son importantes (O'Loughlin 2004, Frieb y Baylac 2003, O'Loughlin 1996, White 1996, Kohn *et al.* 1993, Konigsberg *et al.* 1993, Cheverud *et al.* 1992, Cheverud y Midkiff 1992, Anton 1989, Ossenberg 1970, McNeill y Newton 1965, Moss 1958).

Finalmente, resulta interesante describir que para el estudio resultó limitante el poderio que diversos investigadores tienen sobre las colecciones osteológicas. La historia biológica antigua sigue con hitos por el afán controlador al acceso de muestras, por la tradición retrógrada hacia la falsa propiedad de colecciones científicas, por el recelo a permitir el estudio de determinadas fuentes de información biológica. Entonces, si pudiéramos acceder a la totalidad de cráneos disponibles, al día, tendríamos un mejor acercamiento a la historia biológica antigua. Y, como el afán capitalista se extiende a la investigación científica, el trabajo se desarrollo con el material disponible, de libre acceso o en préstamo y/o colaboración de algunos investigadores.

#### **5.4 Morfometría clásica vs morfometría geométrica.**

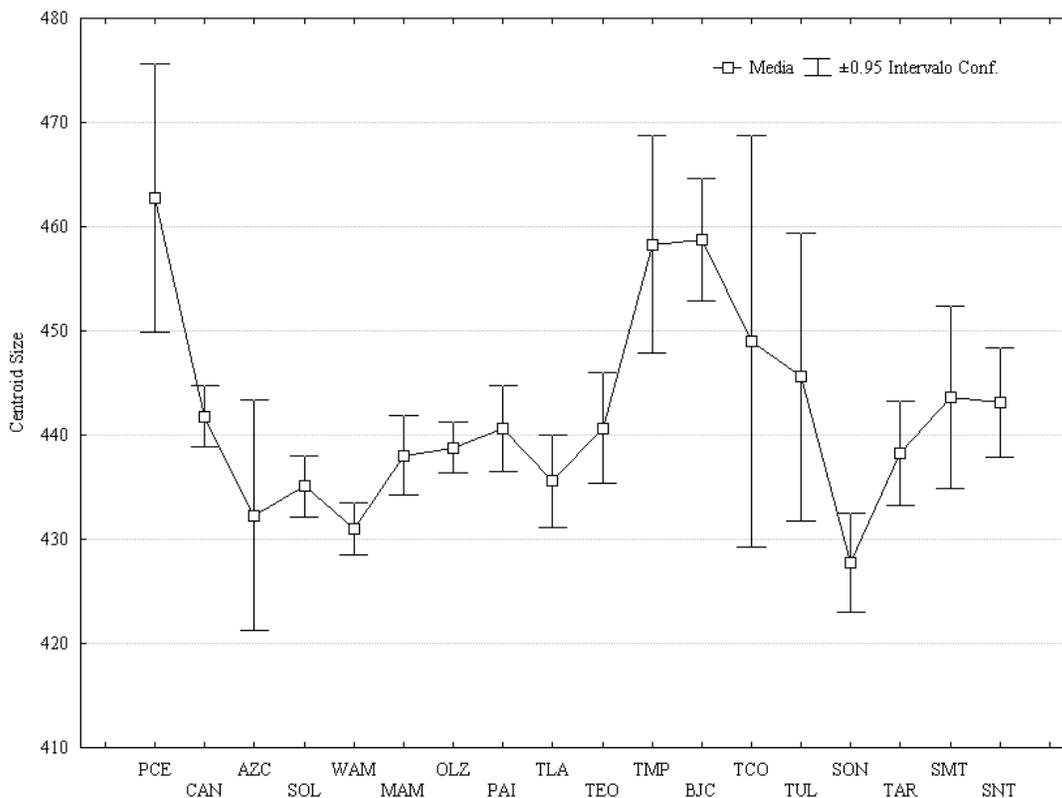
##### **5.4.1 La digitalización del cráneo: cambio de paradigma.**

La medición morfométrica clásica ha sido superada. El fundamento de esta aseveración recae en varias discusiones particulares. La primera resulta de un problema fundamental de la morfometría clásica, que mediante distancias, ángulos, curvas, etc., se pierde la información de la forma biológica en estudio (Richtsmeier *et al.* 2002). Las características del cráneo (porosidad, ancho, alto, profundidades, etc), como el resto de los huesos del esqueleto humano, lo definen como una estructura irregular en cuanto a dimensiones (*shape, size y form*) (Mays 1998). Por lo que, la captura de su forma no puede reducirse a una serie de distancias.

Otro rubro a discutir es lo asegurado por Pucciarelli (2008; 26) mediante la cranelogía tradicional se consiguen deslumbrantes distribuciones taxonómicas pero con escaso, y a veces nulo, valor de información biológica. Lo importante, argumenta, el mismo autor, es detectar las diferencias interpoblacionales a través de valoraciones con traducción biológica porque sustentaría, a su vez, la existencia de proceso evolutivos, adaptativos o producto de mixogénesis. Así, la nueva

morfometría incluye como parte de su protocolo el análisis descriptivo previo pero como fundamento, no como un fin en si mismo. La morfometría clásica es un paso no obligado a la morfometría geométrica, ya que los valores de la significación de una distancia no tienen validez para la MG. La validez de la técnica morfogeométrica reside en el análisis multifactorial de los diversos puntos que miden la forma, mas allá del estudio de la forma puramente descriptiva (D'Arcy 1961). Lo anterior nos lleva a presentar algunos puntos importantes de la nueva morfometría.

De la forma del cráneo nació la idea de la orientación del mismo, para tener un estándar y así obtener mediciones comparables; además de que se desarrollaron una serie de puntos anatómicos homólogos o *landmarks*. La morfometría clásica, tiene normas de medición muy rigurosas en cuanto a la configuración inicial de orientación del cráneo ya que si se obvia estos planos de referencia las medidas no son comparables. La orientación en morfometría geométrica en principio carece de sentido ya que se analiza la forma, no la distancia interlandmarks. Lo importante en la morfometría geométrica es tener un mismo marco de referencia espacial en el cráneo; es decir, referenciar espacialmente al cráneo para que el elemento digitalizador estime, en un mismo marco de referencia una serie de puntos homólogos. Cabe destacar que esta referencia incluye la información del tamaño de cada espécimen, que es discriminada en el análisis para poder analizarla por separado o como unidad de covariantes (Richtsmeier *et al.* 2002). En realidad la morfometría involucra la cuantificación de la *form*, que incluye a el tamaño (*size*) y la forma (*shape*) (Ibídem *et al.* 2002, Corruccini 1987), por esta razón la MC tiene la limitante de ser dependiente del tamaño del cráneo (Gráfica 5.1), diferenciación sexual, edad, etc. Este análisis se aseguró, además de los efectos de tamaño, escala, traslación, rotación y espejeo de eliminar los efectos del sexo mediante un análisis discriminante previo (léase necesario) para conocer como se comportaban las diferencias por sexo, una vez ajustados por Procrustes. Las clasificaciones del discriminante (Tabla 4.3) nos refieren lo complicado de la asignación del sexo en colecciones osteológicas y del grave efecto existente sobre un resultado. Por tal motivo, y a pesar de que las diferencias entre medias de los sexos no son marcadas, aunque significativas; podemos asegurar que la estandarización del sexo es un medio para asegurar que nuestros resultados son la variación en la forma (*shape*) y no diferencias por sexo. Aunque nuestro objetivo no era analizar el carácter de la clasificación sexual relativo a la morfología, debemos aclarar que en primera instancia las diferencias sexuales no son tan marcadas porque el análisis procrustes elimina el efecto de tamaño, principal factor de dimorfismo sexual en cráneo. Así, que además del efecto tamaño se ajusto la distribución de los sexos para que sólo, y inequívocamente, se tuviera la información de la forma.



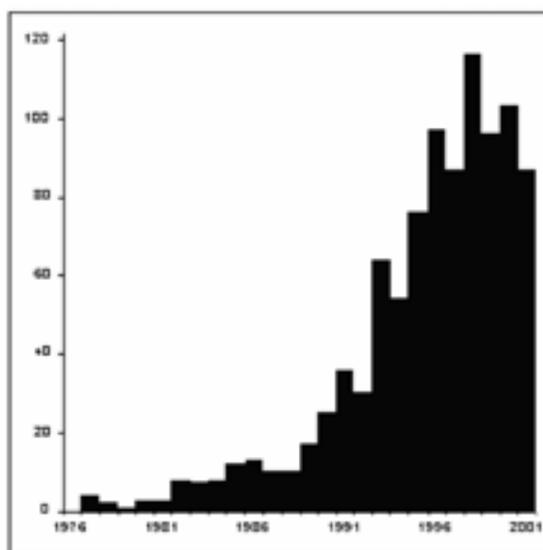
Gráfica 5.1 Comportamiento del estimador de tamaño (*centroid size*) en las diversas poblaciones estudiadas. Es observable el rango de variabilidad en las poblaciones, por lo cual se elimina también el efecto del tamaño en el estudio.

Así, el morfómetra clásico accede a datos de distancias lineales directas entre puntos, curvas o ángulos y comparar entre ellos perdiendo toda la información de la forma (Bookstein 1991 y Slice 2005). La principal revolución de la morfometría geométrica y de la digitalización, es que se preserva la forma en las distancias *interlandmarks* de los especímenes en estudio (O’Higgins *et al.*, 2001). Además de que se pueden obtener las distancias lineales clásicas o ángulos, pero no al contrario; es decir, que de los datos de medición directa no pueden transformarse a puntos espaciales (Bruner 2007;1358, Corner *et al.* 1992, 347-350).

Una de las limitaciones de la morfometría clásica, derivados de mediciones con compás de correderas, es que los datos están confinados a los puntos fijos del mismo instrumento (Bookstein 1991 y Slice 2005). Además de que las alturas o anchuras suelen representar lo más ancho y alto pero carece de una razón anatomofuncional.

Una idea apegada a la escuela clásica es que la digitalización no es medición; sin embargo, resulta que el aparato obtiene una magnitud escalar de un punto en un espacio de tres dimensiones, es decir cuantifica las coordenadas  $x$ ,  $y$  y  $z$  de un punto particular. Así que, metodológicamente, el digitalizador realiza la misma función que un compás, sólo resta que el ordenador aplique la fórmula de distancia entre dos puntos en 3D para acceder a la distancia directa, mismo proceso que realiza el cerebro humano al realizar una observación. La diferencia radica en que la morfometría geométrica no analiza los datos de manera individual, sino que los analiza en conjunto toda la relación espacial y anatomofuncional del cráneo.

En los últimos años la morfometría geométrica ha tenido una gran preferencia en las publicaciones (Gráfica 5.3) que nos denota la importancia de la metodología y su impacto en la bibliografía arbitrada. Los trabajos precursoros en México permitieron resolver preguntas que la morfometría taxonomista no pudo explicar.



Gráfica 5.2. Citas por año acerca de Morfometría Geométrica desde 1976 hasta 2001 (Tomado de Adams *et al.* 2004).

Aunque, Cramon-Taubadel y colaboradores (2007) dicen que una desventaja del uso de *landmarks* es que el análisis estadístico es más difícil en comparación a variables de la morfometría tradicional por el problema del registro. Sin embargo, esta tesis prueba que el correcto manejo de los programas de morfometría geométrica más el conocimiento de estadística multivariante permiten un análisis simple de los caracteres morfológicos vía morfometría geométrica.

Finalmente, resta decir que la morfometría geométrica tiene una limitante particular y es que aunque mediante esta técnica se mantiene la información de la forma está íntimamente relacionada con las distancias interlandmarks, es decir, entre mayor sea el número de landmarks en una estructura mayor será la calidad de captura de la forma. Esto conlleva una

serie de conceptos aplicables en los puntos craneométricos, ya que el investigador puede definir tantos landmarks desee para solucionar el problema de la captura de la forma. Un proceso alternativo es la configuración de contornos que aunque no participan en el análisis directo si ayudan en la definición del cambio en la forma.

### **5.5 Sobre los individuos fuera del rango y el error intraobservador.**

Uno de los aspectos más importantes dentro del presente estudio es que todos los factores de error externo se eliminaron o se redujeron a valores cercanos a 0. Uno de estos factores fueron los individuos con un rango de extremo posicionamiento en relación a la distribución general de la muestra. Como lo vimos en los resultados estos cráneos fueron eliminados del estudio, con el fin de que los datos no afecten los resultados finales.

El segundo factor es que nuestros resultados reflejen las diferencias morfológicas y no el error en la toma de datos, esto ha sido ampliamente discutido en la literatura sobre técnicas y/o métodos en biología antropológica (Cramon-Taubadel *et al.* 2007, Ross *et al.* 2008, Corner *et al.* 1992, Buikstra y Ubelaker 1994, Bernal *et al.* 2004, ).

En el caso de los rangos de eliminación de individuos diseñamos que al introducir éste parámetro reducimos, aun más, los valores de error y sesgo de nuestros datos. Es decir, mediante esta pequeña estandarización, es seguro que en los datos se redujo la asimetría, curtosis y en general la heterocedasticidad de nuestra muestra; haciéndola tendiente a la homocedasticidad. Como se puede observar en los resultados fue analizada la distribución de la muestra para valorar el tipo de corte que se utilizaría y se definió que el límite de corte sería el rango de 100% (Gráficas 4.3 y 4.4), con lo cual eliminamos los casos extremos de la variación. Además, como el programa permite acceso a la imagen de las coordenadas de landmarks de cada uno de los individuos (Figura 4.1), pudimos identificar cuales eran las causas de la variación; conociendo así cuales fueron los landmarks en los que se había cometido error o que simplemente, al configurar el digitalizador, la interfase no registraba bien las referencias y los sistemas de coordenadas eran erróneos y por ende su comparación era insustentable. Esto nos lleva a reflexionar entorno a los errores propios de la toma de datos ya que, de 777 cráneos que se midieron (que en realidad fueron más pero algunos de los cráneos por su número de pérdida de datos se eliminaron) solo 645 fueron utilizados. Esto tuvo un costo estadístico, por la representatividad, para las poblaciones que presentaban números muestrales bajas. Por ejemplo, en el caso de los paleoamericanos, de los cuales se eliminaron dos casos y representan casos únicos que por su estado de conservación la toma de datos fue difícil, por lo cual, algunos de los landmarks eran muy variables debido a que la estructura estaba restaurada y no estaba ya en su posición anatómica inicial.

En otro sentido, si analizamos a la antropología física mexicana, podremos ver que es una constante el omitir datos sobre su estimación de error (e.g. Garza 1985, Jiménez 1994, Garza y del Olmo 1995), ya que se asume, que como las mediciones las realiza un solo observador el error se reparte por igual y por lo tanto no hay un problema. Se debe aclarar que la morfometría geométrica tiene menor error que la morfometría tradicional (Arnqvist y Martensson 1998;75). Sin embargo, es de vital importancia acotar un valor de error y saber si existen diferencias estadísticas, ya que si las hay la interpretación de los resultados no son las mismas. ¿cómo puede asegurarse que las caracterizaciones clásicas no son producto de un error de observación?

En nuestro estudio se ocupan colecciones medidas por Rolando González-José y Neus Martínez-Abadías con un valor medio de error intraobservador de 1.22 mm y 1.23 mm, respectivamente. El error intraobservador MQS fue de 1.5 mm ( $F=0.231$ ,  $p=0.05$ ) no significativa estadísticamente. Así que podemos asegurar que la fluctuación solo podría estar en 0.3 mm entre observadores, como media debemos recordarlo. Y para el autor los puntos más variables no están incluidos en el análisis salvo el eurion donde la variación es importante, y que ya ha sido descrita en la bibliografía (Quinto-Sánchez 2007, Ross y Williams 2008). Si en un momento determinado se piensa que en realidad no son datos confiables debe pensarse en la estandarización que realiza el análisis generalizado de Procrustes (ver rubro 5.6). Además, se han publicado otros trabajos mediante este mismo procedimiento (González-José *et al.* 2007). En este contexto, no existen diferencias o efectos del error entre el conjunto de mediciones realizadas. Así, mediante el uso de una técnica de análisis de repetición (Arnqvist y Martensson 1998, Ross y Williams 2008, Sauerborn *et al.* 1991, Cramon-Taubadel *et al.* 2007) podemos robustecer los resultados de la aplicación de la metodología.

## **5.6 Las ventajas del análisis generalizado de procrustes.**

Las técnicas de la morfometría geométrica han permitido que las formas biológicas se analicen sin los efectos de translación, rotación, escala y reflexión (Figura 1.11); permitiendo que la información intrínseca a la forma (*shape*) no sea afectada por ningún factor en la toma de datos.

Algunos de los errores que se pueden tener, fueron reducidos al máximo según el modelo de Arnqvist y Martensson (1998; 76) y además se aplicó la transformación espacial del ajuste total de Procrustes (*full Procrustes distances*) (Figura 1.12). Lo que confiere al análisis, una robustez deseada y propuesta como se desglosó en la metodología que perseguía la reducción a valores cercanos a cero del error exógeno que pudiera cambiar los resultados de manera

significativa.

El desarrollo de la matemática compleja del *manifold* del espacio de *Kendall* permite que nuestros datos sean llevados a una nueva dimensionalidad para obtener una nueva configuración espacial; que nos permite su análisis estadístico con pocas limitantes matemáticas. Esto hace algunas décadas era sólo una especulación. Sin embargo, hoy, podemos ver como la utilización de estas técnicas de ajuste va en aumento y se consolidarán con los nuevos análisis de la forma y el desarrollo de la bioestadística bayesiana, por citar un ejemplo.

### **5.7 Sobre el cambio microevolutivo en la forma craneal fenotípica de poblaciones mexicanas (Resultados I).**

El presente análisis buscó, de manera general, dar respuesta a una pregunta esencial ¿Cómo ha cambiado el cráneo durante 12000 años de microevolución en poblaciones de México? La respuesta a esa pregunta no puede obtenerse únicamente con la inclusión de los datos morfológicos, se requiere de la integración de datos biológicos, arqueológicos, lingüísticos, etc. Siendo así, ¿que datos aportan los resultados de esta tesis?

Los primeros resultados analizan la estructura, flujo génico y relaciones fenotípicas del cráneo en México mediante una propuesta de comparación entre poblaciones. Aunque de una manera muy generalista, ya que este análisis requiere de 18 análisis individuales para caracterizar, mediante morfometría geométrica, a cada población (estructura intrapoblacional); sin embargo, este no es el objetivo particular de esta tesis pero pueden revisarse trabajos previos donde se dan algunos caracteres comparativos (Quinto-Sánchez 2007, González-José *et al.* 2007 y Martínez-Abadías *et al.* 2006).

El primer punto a analizar detalladamente es que, como podemos ver a lo largo de los distintos métodos estadísticos empleados (e. g. PCA, CVA, MDS, distancias de Mahalanobis, *Cluster analysis*), nuestros resultados se mantienen sin cambios significativos. Es decir, que los datos de agrupaciones y estructura poblacional se mantienen independientemente del método utilizado para analizarlo. Ello asegura que la morfología no es sensible, por lo menos estos datos, al cambio de modelo matemático.

Al tratar de definir patrones morfológicos e historia biológica tenemos que movernos dentro de los análisis realizados para poder tener la mayoría de los elementos para sustentar alguna explicación biológica al cambio en la forma del cráneo. La mayoría de los análisis empleados confirman varios patrones de variación morfológica en México, que son descritos ulteriormente y que se contrastan con los datos históricos que pueden generar algunas nuevas hipótesis sobre estas

poblaciones.

La complejidad de las poblaciones mexicanas se reporta en los datos de la Tabla 4.5, que muestra los valores de la varianza explicada por los 14 ejes de variación generadas por el modelo estadístico canónico. La distribución o dispersión de los puntos y sus elipses de varianza explicada (al 95%) permiten observar que las poblaciones mexicanas tienen estructuras fenotípicas y genéticas particulares. La gráfica 4.5 muestra la relación entre la 1ra y 2da variable canónica la dispersión que se presenta, aunado al porcentaje que explican estos dos ejes (33.33%) y al restos de ejes de variación, es prueba inequívoca de la complejidad poblacional que ha reinado en México (e. g. Malvido 2006).

Analizando las gráficas del Análisis Canónico (CVA) (Gráficas 4.5-7), denotamos uno de los aspectos importantes es que las colecciones muestran tres patrones generales de agrupación (Gráfica 4.5: CV1-CV2). San Nicolas Tolentino (SNT), Tlatelolco (TLA) y el resto de las poblaciones. Dicha distribución se comporta como metapoblación<sup>3</sup> es decir varias poblaciones interactuando a diferentes escalas (al menos temporal y espacialmente); concretamente tenemos una distribución con dinámica metapoblacional<sup>4</sup> (Rockwood 2006; 111).

Esta distribución se ve minimizada por las poblaciones periféricas (TLA y SNT) que si son obviadas en primera instancia y para reducir la maximización del modelo CVA, es posible ver la agrupación del resto de las poblaciones. La configuración que resulta es de una complejidad absoluta, pero que es explicable mediante la teoría ecológica de la metapoblación. Aunque de entrada se aclara que esta tesis no puede resolver la complejidad de la misma si no más bien inferir sobre los patrones fenotípicos y generar nuevos proyectos de investigación particulares. Por ejemplo, el flujo génico puede tener diversas escalas de acción, sobre todo actuar sólo de manera muy local o en las periferias de los núcleos poblacionales (Hanski 199;99-100) y en poblaciones humanas con caracteres etológicos complejos este fenómeno es una constante haciendo mucho mayor la complejidad de análisis. Dos modelos se proponen para poder explicar esta complejidad del flujo génico en los datos: el primero plantea que si la emigración excede mucho a la inmigración, como es probable que suceda en poblaciones aisladas, la migración selecciona la tasa de migración menor vía la pérdida selectiva de los individuos migratorios; y la segunda dice que, si la inmigración excede la emigración, la cual puede ocurrir en poblaciones pequeñas localizadas cerca de las grandes, se espera que la población muestre una tasa de migración particularmente alta (que tiene diferentes niveles acción) (Hanski 1999;100).

Con estos dos planteamientos podemos inferir posibles escenarios de la migración de poblaciones antigua. Las

3 Se retoman los conceptos de Hanski (1999), Levins (1969, 1974) y Keymer *et al.* (2000).

4 dinámica poblacional que involucra patrones espaciales (Hanski 1999)

poblaciones incluidas en el análisis pueden estar dentro de estos modelos, por ejemplo en el caso del efecto Teotihuacan sobre las poblaciones periféricas (modelo dos), este centro rector de economía y política generó que una concentración poblacional producto de la migración de pueblos periféricos a la gran urbe. Asimismo, por ejemplo los Pericues al tener alta vicarianza, podemos ver que los individuos que migran tienen pocas posibilidades de sobrevivir y reproducirse (modelo uno). Entonces, estos modelos pueden aplicarse a las poblaciones, cada uno dependiendo del contexto de cada población e inclusive se pueden utilizar de manera conjunta, ya que estos modelos pueden actuar a diferentes niveles. Por ejemplo en el caso de poblaciones como las Coloniales o Modernas donde el flujo génico es la regla debido al creciente desarrollo tecnológico que cada día permitió que las barreras geográficas se hicieran las menos.

Siguiendo con la discusión de los patrones podemos decir que también existe un agrupamiento de poblaciones del norte y centro de México para colecciones antiguas ya que las modernas se asocian a la población del centro de México; es diferenciable la profunda relación de CAN y PAI que pensando en los antecedentes podríamos decir que se tratan de una misma población. Aunque un estudio particular sobre la estructura de las poblaciones del norte resolvería estos patrones.

Los cráneos del centro de México se encuentran todas superpuestos (Gráfica 4.5-7), lo que puede representar continuidad biológica de una población ancestral y también un flujo génico importante para los periodos Clásico y Posclásico; es decir, que el nacimiento y caída de culturas no representó la discontinuidad en la biología de esas poblaciones, sino más bien el movimiento de poblaciones fundando nuevas poblaciones pero no difiriendo profundamente en su morfología; salvo algunos. Tlatelolco (TLA) se explica su discontinuidad mediante la hipótesis de sustitución poblacional de González-José *et al.* (2007). Por otro lado la discontinuidad de San Nicolás Tolentino (SNT) es explicada por la diferenciación cronológica respecto del resto de las colecciones y, a su vez, como una morfología que no se asocia a ninguno de los fenotipos que se incluyen en este análisis; la colección es la más contemporánea y asociada a hábitos culturales de la finales del siglo XX. En este punto sería interesante agregar más colecciones modernas para poder saber si es discontinuidad marcada o a que nivel está actuando, es decir un estudio donde se particularice sobre las estructuras propias del fenotipo del cráneo moderno.

En adición a los puntos anteriores, podemos pensar que algunas de las fuerzas evolutivas actuaron de manera diferencial para poder configurar un patrón morfológico discontinuo como el que vemos en el caso del análisis de variación canónica (CVA, Gráfica 4.5-7). La diferenciación por vicarianza (aislamiento geográfico) es visible en nuestra gráfica ya que las poblaciones del norte de México se agrupan a poblaciones más contemporáneas del centro de México (SOL) y del

norte (TAR y SON).

Mediante el análisis de las distancias de Mahalanobis podemos resolver la discusión anterior, ya que el gran problema de las gráficas del CVA, como ya lo bosquejé, es que llevamos a un plano euclidiano un resultado de lectura multidimensional. La matriz de distancias, que es correlativa de las distancias mínimas genéticas derivadas de la variación fenotípica (Williams-Blangero and Blangero 1989;5), nos permitió examinar la recreación filofenotípica mediante un fenograma. Entonces, el primer punto evidente es como la morfología general del cráneo crea grupos de similitud fenotípica. Si se analiza el fenograma creado a partir de las distancias de Mahalanobis (Gráfica 4.8) podemos ver que existen dos grupos nucleares fenotípicos: Paila (PAI) y Soledad (SOL) como grupos hermanos fenotípicos con un grupo externo que es Candelaria (CAN) que podríamos correlacionarlo con el complejo fenotípica norte descrito en otro estudio previo (Quinto-Sánchez 2007). Como grupo hermano a este subgrupo se encuentran: Sonora (SON) y Tarahumaras (TAR) teniendo a Azcapotzalco (AZC) como grupo externo. Estos dos grupos los definiremos como el **complejo filiación norte**, ya que presenta una dominancia geográfica del norte sin embargo contiene poblaciones del centro de México y con las cuales se han propuesto relaciones filogenéticas mediante procesos de migración (González-José *et al.* 2007).

Un aspecto importante a la clasificación anterior es que Teotihuacan (TEO) y Tula (TUL) se asocian a este complejo filiación norte como su grupo externo directo y con dos poblaciones satélite externas Tlatilco (TCO) y, más exterior, los Pericues (BJC). La relación TEO-TUL nos refiere a las hipótesis de ocupación, después de la caída de Teotihuacan, de Tula (Townsend 1992), que si sucedió como lo plantea la arqueología podría estar reflejado en el fenotipo ya que proceden de una misma historia biológica.

Siguiendo con el análisis se pueden ver fenotipos más distantes, primero a San Nicolás Tolentino (SNT) y, después (más externo) a Santa María Texcalac (SMT). Esto sin duda marca la pauta de la discusión; ¿cómo se pueden explicar estos fenotipos tan distantes? Un planteamiento muy simple es que estas poblaciones no tienen, dentro de las muestras incluidas, una morfología afín como para relacionarse; otra idea, es que estas poblaciones tengan relación directa con una historia biológica diferente, es decir un relación genética, cultural y ambiental no incluida o considerada en esta tesis.

El análisis de escalamiento multidimensional que nos permite inferir, por medio de las triangulaciones de Voronoi, cómo podría estructurarse las relaciones poblacionales y el comportamiento de la dispersión de la población. Es observable, una compleja situación en cuanto a la morfología craneana. Podemos distinguir una continuidad marcada de los datos, salvo de las poblaciones periféricas (SNT, SMT, PCE, TLA). Lo que pudiera sugerirnos varios patrones de microevolución dentro

de una misma región geográfica que adicionan más pruebas al comportamiento metapoblacional de las muestras. Por ejemplo, en el caso de los Pericues (BJC) que es más próximo a las colecciones complejo centro y complejo norte. Y las poblaciones satélite que pudieran relacionarse con otras poblaciones no incluidas como la zona maya, occidente de México, zona del Golfo o la región Sur de México o que sean el resultado de algún agente microevolutivo. Ahora bien, si nos concentramos en la región del centro de México, vemos diferencias y sus propias relaciones, que nos hablan de tiempo, es decir, no todas las colecciones son del mismo estrato temporal (diacronía) por lo que observamos el efecto del tiempo sobre las variables o podemos observar que la morfología del cráneo se modificó en algunos módulos en un grado en el cual se marca una diferencia pero que de manera global no representa un cambio radical, como en el caso de TLA y SNT.

La figura 5.2 muestra árboles propuestos para explicar las agrupaciones por diversas técnicas de la morfometría geométrica, con diferentes protocolos y encaminados a cumplir diversos objetivos. Resalta que el último análisis, introduce la mayor cantidad de cráneos utilizadas hasta ahora. Asimismo, la evaluación de estos árboles no se puede interpretar como se hace con los árboles de relaciones genéticas, ya que como la inferencia desde el fenotipo no necesariamente debe explicar una diferencia génica ya que nuestra evaluación se realiza desde la perspectiva de la integración morfológica (Olson y Miller 1999).

Se debe recordar que un fenograma es una expresión jerárquica arborescente que representa las relaciones de similitud global entre las OTU<sup>5</sup> (Sneath y Sokal 1973). Además de que la técnica de construcción de un árbol de distancia (Figura 5.2 a y b) es similar al que se utiliza para construir fenogramas (Lanteri *et al* 2006), ya que es seleccionada las OTU cuya distancia génica es la mínima, para luego incorporar las restantes, bajo el criterio de distancias mínimas (Fitch 1977). La diferencia básica entre fenogramas y árboles de distancias radica en que los árboles son producto de una serie de arreglos o cambios de las relaciones entre los taxones con respecto a la topología inicial (Mayr y Ashlock 1991). Así, el mejor arreglo será el que produce un mejor ajuste entre la matriz de distancias resultante del árbol y la original (Fitch 1977). En este proceso se asignan determinadas distancias (o largos) a las ramas punto que es cuestionado en la configuración de esta técnica (Farris 1981). De esta manera, es evidente la inconmensurabilidad de los árboles. Sin embargo, resulta interesante analizar los resultados de los diversos métodos. Lo óptimo sería crear una serie de ensayos para trabajar con los datos morfogeométricos y generar nuevas topologías con base en criterios sistemáticos como la parsimonia o la máxima verosimilitud y probar cual de éstas representa mejor la historia biológica antigua. Sin embargo, este tipo de análisis debe partir de un enfoque de la sistemática biológica, no incluida en este estudio como fin, sino como eje teórico.

5 *Operational Taxonomic Units*: unidades de estudio de un análisis de agrupamientos (Sneath y Sokal 1973)

Un punto primordial es que los árboles pueden asegurarnos que TLA, BJC, TUL, TMP, SNT y PCE representan las poblaciones más distantes fenotípicamente hablando. Las distancias, ya sean globales o mínimas de estas poblaciones son mayores sin importar el método. Que es un buen punto a la discusión de la confiabilidad de los caracteres morfológicos en la inferencia de procesos filogenéticos. Los cuales, con recientes propuestas (González-José *et al.* 2008) han permitido que la morfología vuelva al debate sobre su inclusión en los análisis filogenéticos. Muchas preguntas están en el aire y nuevas propuestas de análisis surgen, el seguimiento de las propuestas de González-José y colaboradores (2008) en el análisis cladístico sobre caracteres modulares en el cráneo es un elemento clave en el desarrollo de nuevas formas de evaluar los caracteres cuantitativos continuos, a pesar del debate que éste genere, se pudo observar cómo la utilización de estos caracteres representa que un carácter en un espacio multivariado y con un estado modular puede ser expresado como un OTU con relación sistemática, es decir como un carácter ancestral o derivado.

Otro factor a integrar en la discusión son los valores de  $F_{st}$  obtenidos asumiendo heredabilidad igual a 1 y sabiendo que la matriz de covarianza genética aditiva es proporcional a la matriz de covarianza fenotípica (Williams-Blangero y Blangero 1989). Los  $F_{st}$  son un índice de diversidad en el cual, si los valores del éste son iguales a 0, toda la diversidad esta dentro de las poblaciones, no habiendo diferencias entre poblaciones (Tabla 4.8). Si el  $F_{st}$  es 1, todos los individuos dentro de las poblaciones son idénticos, y la variabilidad total de la muestra se distribuye pura y exclusivamente entre poblaciones (Comunicación personal González-José R 2009). Con estos argumento podemos ver que todas las muestras tienen un  $F_{st}$  de 0.16 y de 0.11 cuando se analizan por fases culturales; estos valores permiten saber que los datos parecen tener una gran variabilidad interna pero aunque con diferencias sutiles entre poblaciones, como es el caso de Tlatelolco (TLA) y San Nicolás Tolentino (SNT), para el CVA por poblaciones (Gráficas 4.5-7) y PCE para el caso del CVA por fases culturales (Gráficas 4.13-5). Esto es interesante ya que refleja más de la complejidad de los datos analizados; a la vez, que marca la evidencia de que el fenotipo del cráneo en México, inferido desde estas colecciones, tiene tres variantes macrofenotípicas.

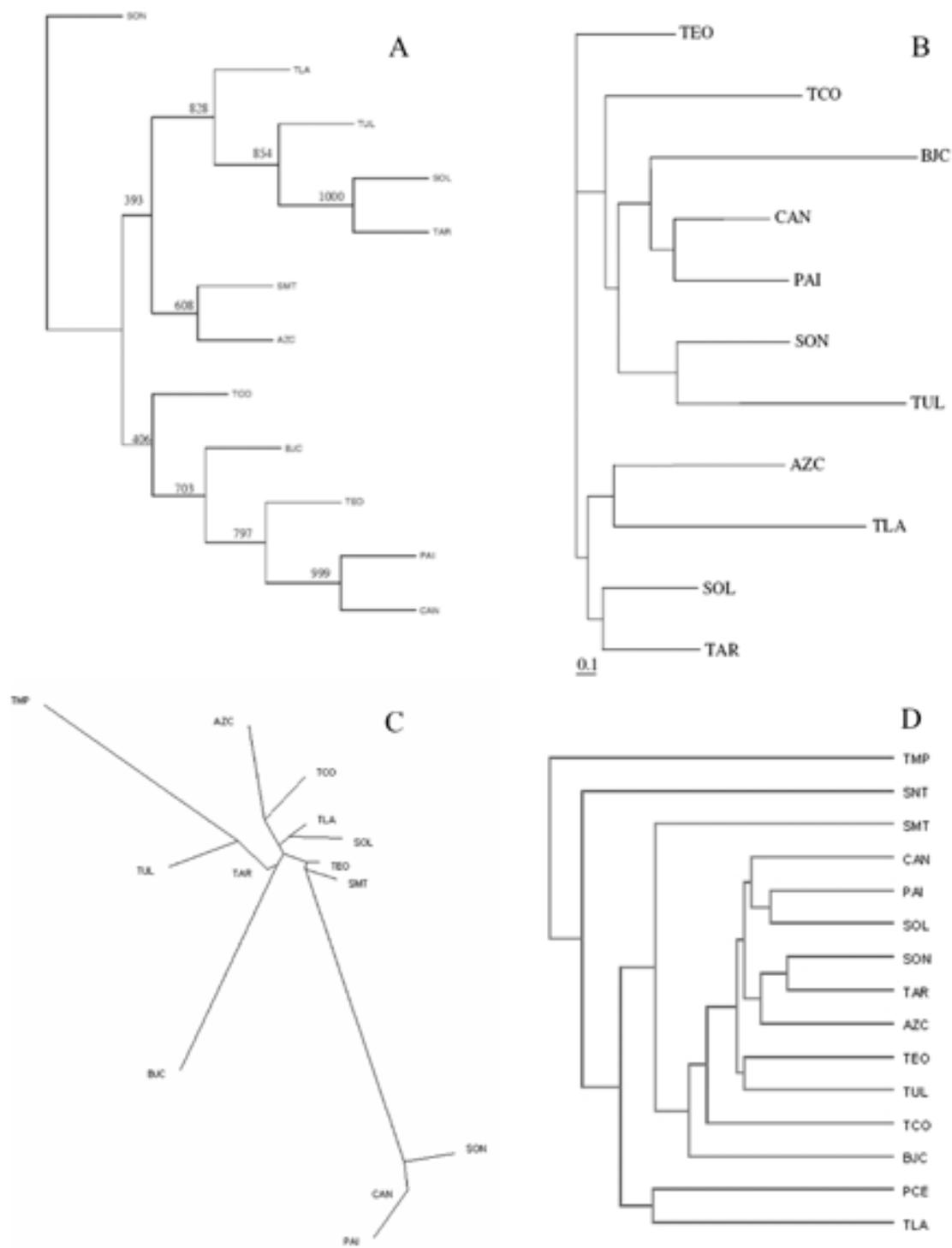


Figura 5.2 Fenogramas propuestos para la filogenia de las poblaciones estudiadas con diversos métodos de la morfometría geométrica y desde la aplicación de distancias de Mahalanobis. a) Fenograma ste Hernandez b) Arbol *neighbour joining* González-José *et al* 2007. c) Árbol UPGMA Quinto-Sánchez 2007 y c) Fenograma UPGMA creado en la presente tesis.

Finalmente y complementando los datos anteriores, el análisis de varianza fenotípica muestra que los precerámicos (PCE) es el grupo que presenta mayor flujo génico, seguido los individuos provenientes del Templo de Quetzalcóatl (TMP) y San Nicolas Tolentino (SNT). Ahora bien en el caso de PCE puede contribuir a afianzar la idea de la vagilidad de los grupos de bandas en épocas precerámicas, aunque también podría ser que a que este grupo lo representaran individuos de contextos temporales y tal vez ecológicos muy diferentes (ver discusión sobre tasa de evolución del cráneo). La gráfica 4.11 resume muy bien la idea de los resultados esperados por una predicción *a priori* vía genética de poblaciones y la tendencia en las observaciones realizadas. Se debe recordar, una población con flujo génico externo dará lugar a una población mucha variación fenotípica observada entre grupos que esperada. Inversamente, población con menos flujo génico de una fuente externa dará lugar a una población con menos variación fenotípica entre grupos que esperada (Relethford & Blangero 1990).

### **5.7.1 Modelo estructural poblacional desde la ecología humana: la metapoblación.**

La aseveración de Hrdlicka (1914) de que los indios americanos son un sustrato homogéneo del llamado homotipo americana y la defensa de las escuelas tipologistas, no es plausible. La visión clásica de la inmovilidad de las poblaciones antiguas no puede sustentarse y está superada. Podemos ver como el análisis nos brinda patrones claros de distribuciones muy dispersas. Los datos arqueológicos para el centro de México también sustentan esta hipótesis. Las relaciones económicas imperantes en las diversas fases debieron producir flujo génico entre las poblaciones en contacto; aún para las microbandas de cazadores recolectores siendo el flujo génico un factor importante para reducir la endogamia.

Por otro lado, la dominación militarista ejercida desde sitios de poder hegemónico como Teotihuacan, debió representar otro factor de cruzamiento genético y/o deriva génica. Asimismo, en el caso de las poblaciones coloniales o modernas, donde la heterogenidad postconquista fue un hecho ineludible (Martínez-Abadías *et al.* 2006) dados los factores de despoblamiento (Malvido 2006) y las necesidades económicas de la corona española: el entrecruzamiento entre poblaciones mexicanas y españolas fue una realidad inexorable. Las poblaciones coloniales muestran una topología muy disruptiva, es decir no tienen similitudes filofenotípicas próximas. Aunque están dentro de los rangos de dispersión de las poblaciones estudiadas.

Un concepto clave que aplicamos para resolver este problema es el uso del citado concepto de metapoblación que,

para la biología ecológica, consiste en un grupo de poblaciones espacialmente separadas pertenecientes a la misma especie que interactúan recíprocamente en un cierto nivel (Levins 1969, 1974, Keymer *et al.* 2000 y Hanski 1999). En este análisis retomamos este concepto para proponer que las diferencias observadas en el complejo filiación centro conforman una superpoblación, interactuando a varios niveles (cronología, ecología, economía, cultura, política) entre poblaciones. Así, podemos explicar el patrón de fenotipos observado en el CVA, MDS, *cluster*, Fst, y el análisis Relethford y Blangero que es esperado dada la complejidad de la historia biológica de poblaciones antiguas, aún en poblaciones prehistóricas de las cuales se piensa no había una gran dispersión.

En una metapoblación, la distribución depende de la escala de observación de este fenómeno, así los diversos análisis empleados son integrativos y aditivos en cuanto al análisis de los mismos. Tradicionalmente, se ha definido a una población biológica como un grupo de individuos de la misma especie, que comparten el mismo espacio y tiempo (Rabinovich, 1980; Krebs, 1985), que se reproducen entre sí, son genéticamente similares (MacMahon *et al.* 1978) y en la que todos los individuos tienen la misma posibilidad de interactuar unos con otros (modelo poblacional cerrado). Como es de pensar, las poblaciones humanas no se ajustan a una genética similar (concepción fijista de la naturaleza) y mucho menos a un modelo poblacional cerrado. De esta manera, el concepto definido de población biológica se emplea como hipótesis nula. Mismo planteamiento para nuestro fundamento del equilibrio Hardy-Weinberg para la genética de poblaciones, es un modelo hipotético para medir las desviaciones de los valores ideales y así cuantificar el cambio relativo a cada población en estudio.

En virtud de que el ambiente es por su propia naturaleza y en la mayoría de los casos, heterogéneo (Begon *et al.* 1996), las poblaciones de una especie se distribuyen en parches y con ello también quedan aisladas en un cierto grado. Este aislamiento puede ser total o parcial y esto distingue a las metapoblaciones de las que no lo son. El aislamiento total puede ser resultado de dos procesos, a saber, en la evolución de la distribución de las especies. Uno puede ser el establecimiento de una población a partir de un grupo fundador de individuos que se ha dispersado a zonas nuevas y habitables (López-Pérez y Becerril-Morales 2009).

En resumen, podemos integrar que se presentan tres fenotipos en la historia biológica del cráneo en México (inferido y válido sólo para estas poblaciones), existe una distribución metapoblacional de las colecciones estudiadas en el análisis y que la diversidad reportada en los resultados se entiende por la complejidad de factores interrelacionados en el análisis que, aunque es multivariante, queda delimitado a pocas variables.

## 5.8 Sobre la microevolución del cráneo en relación a las fases culturales (Resultados II).

El primer carácter a discutir es que las divisiones cronológicas no siempre se correlacionan con cambios en las frecuencias alélicas de una población y que esta fluctuación llevase a un cambio en el fenotipo, pudiéndose rastrear vía la morfología del cráneo (Martínez-Abadías *et al.* 2006). Aún así, pudieran existir diferencias entre cada fase debido a que los límites de las fases culturales están representados por cambios poblacionales importantes; las cuales por flujo génico, deriva génica, efecto fundador, etc; pudieran haber configurado los patrones fenotípicos que vemos hoy reflejados en las morfologías analizadas.

El análisis de la variación canónica por medio de la subdivisión por fases culturales permite elucidar el comportamiento de las poblaciones por fase cultural y saber si las divisiones denotadas desde la arqueología tienen validez en el fenotipo de las colecciones estudiadas. Así, las gráficas del CVA muestran que la colección más antigua precerámica (PAL) se disocia del resto de colecciones cuando es vista en interacción de las tres primeras raíces canónicas (75.85% de la varianza explicada; Tabla 4.11) (Gráfica 4.13-5). Por otro lado, el horizonte cultural Preclásico se distribuye superpuestos sobre poblaciones pertenecientes al Clásico (CLA) y Posclásico (POS); no así la fase Colonial (COL) que se encuentra más alejada del resto de las fases y sobre la primera raíz canónica (Gráfica 4.13). Además, los seis cráneos procedentes de la fase cultural Preclásico (PRE) presentan una distribución amplia y afín con las fases Clásica (CLA) y Posclásica (POS); seguida por la Moderna (MOD). Ninguno de los individuos del Preclásico se superpone dentro de la distribución de Colonial (COL). Sin embargo, la diferenciación de la fase Precerámica representa la única discrepancia marcada, que ya se había notado en el análisis sobre la estructura poblacional.

Este patrón nos permite saber que existen cuatro fenotípicos definidos: 1) el fenotipo ancestral o paleoamericanos, 2) el fenotipo colonial, 3) el fenotipo prehispánico: PRE, CLA, POS y 4) fenotipo moderno. Éstos se definen desde el análisis de la primera raíz canónica, ya que para la segunda raíz el patrón tres se subdividiría en POS Y CLA separado de MOD. Estas descripciones indican que el fenotipo de las colecciones de la fase MOD tienen una afinidad, para la primera raíz, con poblaciones del Clásico y Posclásico; que no indica una relación genética directa si no más bien una relación por convergencia fenotípica aunque no es totalmente una superposición.

Los datos son concordantes con la variabilidad esperada de acuerdo con algunos procesos históricos inferidos desde datos arqueológicos para cada fase. Por ejemplo, a nivel de movimiento poblacional podemos ver como las

poblaciones más antiguas, de menor número de individuos y con mayor tasa de dispersión son las hipervariables, después las colecciones donde la estructura poblacional fue un núcleo asentado a un espacio geográfico concreto muestran una variabilidad importante pero nunca tan trascendente como el resto. Asimismo, el efecto de una conquista tiene repercusiones a mediano plazo en la configuración de la sociedad mexicana colonial, ya que aumentó el movimiento de personas, hubo un efecto fundador en las poblaciones (pandemias recurrentes) y se integraron nuevas formas de cultura impuestas desde el cristianismo de la época. Finalmente, la época moderna configura, para la población mexicana moderna, donde la tasa de movilidad de personas es la más potencial, la morfología es diferente en cuanto a ciertos rasgos (Figura 4.5).

En ese mismo contexto, un punto toral, es que las poblaciones de la fase Colonial (COL) y Moderna (MOD) tienen una diferenciación mayor que el resto, también observable en el MDS. Este patrón puede ser explicado en función al proceso de mestizaje que sufrieron los pobladores de México durante la instauración de la colonia española. Es visible que el fenotipo colonial queda superpuesto a POS, como las distancias de Mahalanobis lo atestiguan. En la fase moderna se tiene una morfología distante tanto para lo prehispánico como para lo colonial; pero a su vez muy discriminado de las morfologías más antiguas como PAL, PRE y CLA. Ello nos indica que el fenotipo, por medio de simple deriva génica se <<estabilizó>> en una forma diferente del ancestro colonial. La historia biológica de la época Colonial marca una clara e importante disrupción en la genética de los individuos que habitaron esta fase. Un fenotipo no integrado al patrón que observamos para fases anteriores y posteriores. Las fluctuaciones en la genética poblacional en la conquista debieron hacer que las frecuencias alélicas cambiaran drásticamente y que con el avance de la colonia los entrecruzamientos cada día fueran menos selectivos y por ende, por acción de la deriva génica, la variabilidad de las poblaciones mexicanas aumentara exponencialmente y de una forma disipativa, es decir, en diferentes direcciones, sentidos y a diversas escalas como una metapoblación cada vez más compleja. Este tema es más atendido en el apartado de las discusiones sobre la revaluación del mestizaje.

Siguiendo con el análisis de los patrones retomamos a González-José *et al.* (2005:9) quien dice:

*“In general terms, the craniofacial morphology of Paleoamericans is characterized by longer, higher cranial vaults and lower, more narrow faces than modern populations. Moreover, Paleoamericans tend to show more affinities with Africans, Australians, and Polynesians”.*

Esta aseveración significa que los paleoamericanos son más distantes biológicamente que el resto de las colecciones incluidas. Salvo BJC (Pericues) podemos decir que el fenotipo del cráneo presenta sólo variaciones modulares regionales.

En este contexto podemos ver reflejado, para el caso de la fase más temprana, que la morfología de los Precerámicos pertenece a un ancestro común que compartía un recinto geográfico tal vez exterior a América. Un segundo, fenotipo que sería el descrito tradicionalmente como braquicéfalo (aunque este análisis comprueba que es más compleja la variación que solo la relación ancho-alto, es decir es modular) asociado a poblaciones prehispánicas y moderna; y el tercero para la fase Colonial. De esta hipótesis la razón por la cual es evidente que los paleoamericanos se discriminen del resto de los patrones fenotípicos (Figura 5.3).

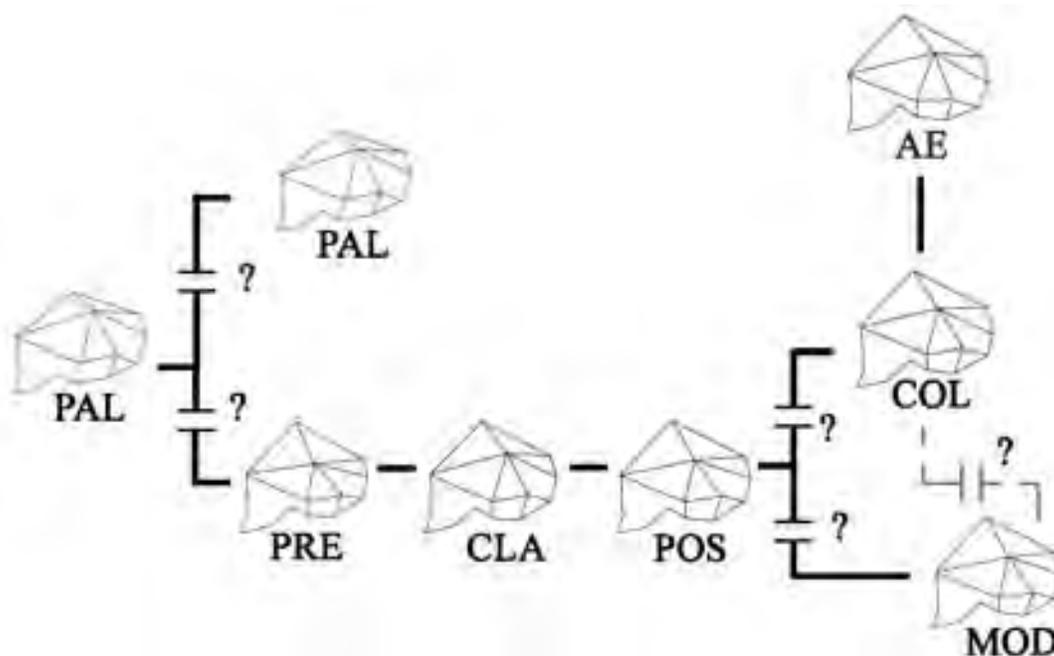


Figura 5.3. Principales fenotipos observados en el análisis. 1) PAL fenotipo "ancestral", 2) PRE-CLA-POS-MOD fenotipo derivado, 3) COL y 4) MOD. COL con su respectiva componente del AE (ancestro español) que a su vez debería haber implicado variabilidad en las poblaciones modernas. Los polígonos representan las formas medias por fase cultural.

Complementando los datos anteriores tenemos que las distancias de Mahalanobis por *cluster analysis* muestran que las distancias más grandes corresponden a la fase Precerámica (PAL) y que en el fenograma (Figura 4.16) se puede ver que PAL es un grupo externo. El análisis de agrupamiento UPGMA construyó un grupo central inicial entre POS y COL, teniendo como grupo externo a MOD, seguido por sus externos CLA, PRE y PAL. Este patrón es casi lo esperado según la cronología, pero la prueba de que los datos culturales no necesariamente deben seguir la biología lo comprueba la discontinuidad de la fase MOD. Aún así, la topología es plausible ya que la complejidad en la historia biológica periconquista es un tema de análisis particular. El gráfico del MDS (4.18) permite saber que esta estructura diferenciada del

fenograma se mantiene en un espacio tridimensional. Lo discutible aquí es que las poblaciones donde se esperaría mucha disrupción sería Posclásico y Colonial. Sin embargo, según el algoritmo son similares, pudiendo sugerir que dentro de las poblaciones analizadas en coloniales existe un componente de poblaciones prehispánicas importante, como es el caso de SMT y SOL, de las que se ha especulado cumplen esta idea.

La Tabla 4.13 puede ayudar a sustentar las diferencias encontradas en el análisis. Primero, el valor de significación  $p$  que es el elegible es el que se realizó para 1000 permutaciones, ya que una permutación es cómo se comportó esa significación a lo largo de 1000 posibles arreglos. Entonces, solo la comparación de PRE vs MOD tiene una significación  $p$  de 0.177, es decir que a este rango de significación no serían diferentes. Este hecho nos hace reflexionar los efectos del número muestral. Pensemos en que se compararan las muestras en un análisis simple sin el resto de las colecciones, el Preclásico está sustentado en sólo 6 cráneos sin deformación y la colección Moderna en 86 cráneos. Esta es una hipótesis para explicar este nivel de no significancia y la realidad de este resultado es motivo de otra línea de investigación concreta a evaluar las formas precisas de cambio fenotípico. Esta tesis está trazada en describir los *cómo* y no los *porqués*. Asimismo, en el caso de este resultado pensemos en que no se hubieran aplicado las permutaciones estaríamos describiendo que algunas otras combinaciones (e.g PAL-PRE, CLA-PAL, etc) no eran significativas; de este ejemplo la importancia de una permutación en los análisis de este corte.

Finalmente, los datos de las distancias mínimas genéticas para la fase y/o horizonte cultural precerámico son los más positivo por lo que se infiere, nuevamente, flujo génico muy importante. Podemos ver el comportamiento de los parámetros observados y esperados (Gráfica 4.19) para el resto de las poblaciones. El patrón que podemos abstraer de la gráfica es interesante. Veamos como, según el modelo Relethford-Blangero, los PAL tendrían un valor de flujo génico alto. Complementado este dato, y para debatir un poco el resultado, el Fst marca un valor de 0.11 para fases culturales y de 0.16 para todas las poblaciones. Es decir, mediante estos dos datos podemos comprobar como la división a priorística tiene repercusiones importantes, como el Fst es un índice analítico de la variabilidad intra e inter poblaciones o grupos. Cuando reducimos los grupos en análisis el Fst se reduce porque toda la variación está dentro de las poblaciones y no entre<sup>6</sup> ellas. Así podemos proponer que la lectura del Fst debe hacerse pensando en cuan diverso es una población u horizonte cultural respecto de otro. Luego entonces, si vemos la gráfica 4.19 vemos que los valores observados para la fase PAL dejan un residual (Gráfica 4.20) muy positivo y no equiparable con el resto. Posteriormente para PRE y CLA existen valores

6 Se hicieron tres pruebas más con Fst divididos por estrategias económicas (3 divisiones), geografía a (2) y geografía (3); con Fst de 0.02, 0.01 y 0.05, respectivamente. Valores muy bajos que nos hacen concluir que hay un efecto en la clasificación *a priori*.

disimiles pero no disruptivos, si lo comparamos con PAL; sería más bien una distribución de variabilidad circunscrita o delimitada. Donde comenzamos a ver variabilidad nuevamente cambiante es para el periodo POS que llega a su mayor expresión en COL descendiendo a MOD que vuelve a valores como en PRE y CLA. Este modelo nos permite sintetizar un poco el comportamiento de la diversidad intra e inter fase cultural. Los resultados se encuentran en apego a los procesos económicos sociales que se vivieron, al menos podemos definir: 1) amplia diversidad en la fase Paleoamericana, 2) diversidad circunscrita y cambiante para Preclásico y Clásico, 3) creciente diversidad para el Posclásico, mayor que en PRE y CLA, 4) segunda diversificación importante en fase Colonial y 5) diversidad delimitada con valores similares a la fase PRE y CLA, para la fase Moderna.

Un aspecto más es que cada fase presenta una breve descripción de un contraste por valores medios de cada fase. Este aspecto lo dejamos sin discutir mucho porque las clasificaciones realizadas son limitadas y no se pretende decir que con los restos craneológicos estudiados aquí, podemos asegurar que su valor medio representa a la población. Además de que creemos que para caracterizar una población no se puede realizar mediante el análisis utilizado para comparar a las poblaciones. La nueva escuela de la antropología biológica requiere que se formule una caracterización no en función a una comparación por medias poblacionales. Una caracterización proviene de un análisis particular más complejo que una simple comparación por medias, que no invalida el resultado de la tesis, ya que para este fin el modelo estadístico utilizado es viable. Ya que sólo regionaliza los cambios en el cráneo en función a un valor medio para así saber que tan lejanos morfológicamente se encuentran dos poblaciones y si su clasificación *a priori* es correcta cuando se realizan 1000 permutaciones de ese resultado. La escuela antropológica moderna sustenta las caracterizaciones poblacionales en un análisis por medio de la utilización de una matriz de varianza-covarianza fenotípica. Por medio de la cual, se realiza un Análisis de Componentes Principales (PCA) que arroja los principales eigenvalores de variación fenotípica a partir de los cuales se puede tener un acceso a la caracterización poblacional definiendo los rangos de variación de los valores más negativos a los positivos de los  $n$  eigenvalores que el programa genere. Como este es trabajo de otra tesis, podemos decir que los datos de las comparaciones por medias del esplagnocráneo y neurocráneo son facilitadores de visualización del análisis del cambio fenotípico. Así, basta que si el lector tiene dudas de los cambios generados en cada aspecto particular de la presente discusión, vaya a las comparaciones realizadas para este análisis y tenga acceso a los cambios principales en la forma. A continuación se resumen los cambios entre comparaciones del cráneo (Figuras 4.6-13) para la secuencia cronológica de las fases divididas para esplagnocráneo y neurocráneo.

	Esplagnocráneo	Neurocráneo
PAL-PRE	Se presenta uno de los mas marcados cambios en la forma ( <i>shape</i> ). El cambio se da de manera generalizada en todas los subcomponentes del esplagnocráneo. Los cambios más importantes están en maxilar, la nariz, las órbitas y la región perifrntal. Para PAL el maxilar es ancho y corto; a diferencia de PRE donde es de similar anchura (aunque diferente angulación) pero mucho mas alto. De manera general la cara en PAL es menos alta que en PRE. Las órbitas en PRE están mas abiertas. Por último la nariz tiene mayor tamaño en PRE que en PAL. La mayor variación se encuentra en los tercios medio e inferior y en la vista infero-superior se observa que la variación se concentra en la parte anterior del esplagnocráneo (Figura 4.9).	El cráneo en PAL es menos globular (definido anteriormente como dolicoide), a diferencia del PRE que es un cráneo globular (braquicráneo). Cabe destacar que la variabilidad de la anchura del cráneo no fluctua mucho más que en la relación del eje <i>eu d</i> y <i>eu i</i> (ver discusión sobre morfometría clásica vs morfometría geométrica). Las regiones más conservadoras en el cambio son la región periastrérica, occipital posterior y perinasion (Figura 4.13). El resto de los puntos craneométricos tiene importantes fluctuaciones en su disposición 3D. Podemos decir que los cambios entre estas fases manifiestan las diferentes historias biológicas de las cuales proceden los individuos. Los Paleoamericanos como producto de individuos que refieren los estratos poblacionales de los primeros pobladores de la cuenca de México. Asimismo, la propia diversidad o variabilidad de los individuos pertenecientes a esta fase (precerámicos) plantean una complejidad única. Finalmente, debemos recordar que esta comparación se realiza mediante 16 cráneos.
PRE-CLA	La variación importante en la configuración de la forma de la cara. la región nasal es mas alta en PRE, las órbitas presentan cambios en ubicación moviendose postero-anteriormente en PRE respecto a CLA. El maxilar es mas reducido lateral y posteriormente en PRE. Por último, la región zigomática cambia haciendose mas ancha en CLA (Figura 4.7).	Existen cambios más conservadores que el anterior (Figura 4.11). El neurocráneo presenta un cambio generalizado en la forma ( <i>shape</i> ). Se presentan cambios localizados en la globularidad, base del cráneo, occipital y la altura y anchura del cráneo. PRE tiene un cráneo más grande respecto a PRE. Vemos una fluctuación más producto del ambiente (regionalizaciones) que diferencias genéticas. Es decir, en este caso la morfología permite saber que las fluctuaciones del Preclásico al Clásico fueron conservadoras y tal vez se limitó a fluctuaciones por clinas geográficas por adaptación a ambientes muy particulares.
CLA-POS	La variación de la forma del cráneo es conservadora. Hay una variación lateral en zigomáticos en POS y un maxilar mas pequeño en POS, pero de manera general el esplagnocráneo no fluctúa como en los casos descritos anteriormente (Figura 4.6).	La forma media del cráneo en estos horizontes es muy conservadora. La variación en la forma ( <i>shape</i> ) es puntual. POS muestra un cráneo un poco mas largo, aunque es ligero este cambio. De manera general la globularidad del neurocráneo cambia. Para CLA tiene su máximo ( <i>eu r - eu l</i> ) más posterior y superior que en POS (Figura 4.10). En este caso podemos ver que los contextos sociales, económicos y ambientales influyen de manera particular en la morfología del cráneo. es apreciable que la relación PRE-CLA-POS es evidente, aunque con fluctuaciones localizadas podemos ver que la idea de efecto fundador de grupos antiguos a contemporáneos es viable, no existen un discontinuidad entre estas fases por lo que la hipótesis de continuidad biológica es plausible.
POS-COL	La cara presenta fluctuaciones en la forma ( <i>shape</i> ) conservadoras. Los cambios más importantes se presentan en la región zigomática en donde COL es menos ancho que POS. De manera general, podemos afirmar que COL y POS presentan, solo, cambios puntuales (Figura 4.7).	El cambio en el neurocráneo y la globularidad en este par es muy conservadora. Podemos observar que los polígonos cambian en en los parietales, hacia la región del de la base media del cráneo, neurocráneo superior y región iniana (4.11). Este es un punto de debate arduo, que deja pensar sobre la significación de los resultados y las metodologías valoradas. Si observamos todos los índices del cambio en la forma llevan a la idea de que el fenotipo cambió drásticamente de la época Posclásica a la Colonia. Sin embargo, los datos de las comparaciones por medias no resultan muy alentadoras. Esto nos refiere a la discusión previa a esta tabla donde valorábamos la discusión de este valor. Entonces, creemos que es de primaria importancia caracterizar a cada fase vía la metodología de las varianzas-covarianzas y los PCA para poder integrar toda la variación expresada para cada población. Así, los datos no están comparados por el valor medio de la población, que si presenta asimetría en su distribución los resultados son sensibles a los valores de los extremos de la misma distribución.
COL-MOD	El esplagnocráneo presenta una variación muy puntual. Se concentra en el tercio inferior de la cara teniendo cambios puntuales leves en maxilar en anchura y altura, siendo mas mayores en (COL). De manera general las formas medias tiene cambios muy pequeños (Figura 4.7).	Los principales cambios son en la parte posterior del neurocráneo (occipicio) y la globularidad del mismo. COL presenta un cráneo mas estrecho respecto de MOD. El restos de las estructuras fluctúan pero de manera muy incipiente por lo cual no es posible definirlos (Figura 4.11). Este resultado hace reflexionar sobre si la industrialización para las poblaciones humanas mexicanas significó un cambio radical en los patrones de dieta, entrecruzamiento, migración. Sin duda hubo un movimiento importante en del campo a las ciudades pero no se si tan drástico como el referido para la revolución industrial europea; y que este haya permitido una variabilidad importante para cambiar hacia un sentido diferente la morfología craneana.

Tabla 5.1 Resumen de los cambios morfológicos por fase cultural.

De esta manera, mediante las herramientas utilizadas podemos saber que la microevolución de las fases culturales es de una complejidad importante y que merece una atención particular para un estudio posterior, las inferencias que realizamos desde estos análisis son solo un inicio en la comprensión de la correlación de los procesos culturales y biológicos-poblacionales.

### **5.9 El fenotipo y las estrategias económicas (Resultados III).**

Los resultados presentan evidencia acerca de las adecuaciones que sufrió la forma del cráneo a algunas estrategias económicas. Cabe recordar que las divisiones *a priori* fueron: Caza-Recolección (CZR), Agricultura (AGR) y Industrialización (IND) y que se conformó por 404 cráneos (Tabla 4.16). Asimismo, que en este análisis la visión de que los datos asumen un modelo poligenético aditivo en el cual la expectativa de que desviaciones ambientales es cero, no es plausible, ya que sabemos que hay un efecto considerable por el ambiente; y es el que se trató de evaluar.

Según González-José *et al.* (2005; 1):

*“el objetivo de los análisis del cambio morfológico por estrategia económica tratan de detectar cual de las regiones craneanas son más sensibles a los cambios morfológicos por factores no genéticos”.*

En primera instancia el análisis de variación canónica generó dos ejes de variación por los cuales explica el 100% de la varianza, solo 75% en el primer eigenvector. La gráfica (Gráfica 4.21) de la 1ra y 2da raíces canónicas es esclarecedora. Primero, podemos decir que la variación desde CZR a IND es un gradiente continuo con cambios particulares. Por medio de esta colecciones vemos que no existe una discontinuidad marcada como en el caso de la comparación por poblaciones, en donde TLA y SNT aparecen con una discontinuidad muy marcada. La primera raíz canónica nos permite observar que las formas están bien diferenciadas por medias aunque con sobreposicionamiento de los extremos de sus distribuciones. La segunda raíz nos permite saber que los agricultores serían la forma craneal más diferente; ya que, las distribuciones de cazadores-recolectores y Industriales son más similares fenotípicamente entre ellas, aunque ninguna de las morfología es discontinua.

Luego entonces, las gráficas de CVA (Gráfica 4.21-3) se deben contrastar con las formas fenotípicas asociadas a cada raíz canónica (Figura 4.14) y con los cambios puntuales producto de la comparación por medias de cada división por estrategia económica (Figuras 4.15-7) que son todos significativos para 1000 permutaciones (aunque por la cercanía de las medias veremos que los cambios parecen nulos; ver Figura 4.14 y 4.15).

Es importante el cambio que se produce en el esplagnocráneo, sobre todo en la zona orbitaria, para la primera raíz canónica; es decir, la Figura 4.13 describe el cambio de poblaciones cazadoras recolectoras antiguas y coloniales, su conformación como sociedades agricultoras estatales, su paso por la Colonia y su consolidación en los procesos capitalistas-industriales del siglo XIX. Cabe resaltar, aspecto muy trascendente, que estos cambios están en función de las poblaciones incluidas, por ejemplo la relación de cazadores-recolectores antiguos y contemporáneos. Sería interesante, en un estudio posterior saber cómo se comportan estos datos; en otras palabras, contrastar la hipótesis de sí a través de los años la morfología de los cazadores recolectores varió mucho. Por ello este trabajo es el comienzo de una línea de investigación basta sobre diversas ramas de la historia biológica antigua.

Continuando, podemos ver cómo hacia la segunda raíz canónica hay una diferenciación importante en la cuestión de la adaptación. La región hipervariable del maxilar. Los cambios de los agricultores son evidentes. La modificación del esplagnocráneo es muy importante; no así, del neurocráneo que, salvo la base en relación a los cambios en el sistema masticatorio, es poco variable. Es decir, existen cambios en el sistema masticatorio, siendo de iguales proporciones en CZR e IND pero más grandes, en todos sus ejes, en AGR. Esto se correlaciona en la zona peri-zigomática la cual también se modifica. Es posible decir que los cambios son adaptativos y la mayoría son por compensación morfofisiológica del sistema masticatorio. Podemos ver que, el sistema respiratorio solo tiene una pequeña modificación en AGR en donde es más grande, aunque falta delimitar (agregar más *landmarks*) más en este módulo craneano. Los cambios en la base sagital del cráneo no tienen correlación con los tipos de patrones en el cráneo (dolico, meso o braqui), pero la región lateral del cráneo es significativamente ( $p=0.000$ ) y más correlacionado ( $r=0.6$ ) con la variación en la cara que la zona de la línea sagital (Bastir y Rosas 2006). Nuestro análisis muestra un poco de esta relación de compensación morfológica y de la relación de cierta independencia entre la microevolución de cada componente en el cráneo. Es visible que los diversos análisis se han reportado cambios denominados compensatorios; en donde la morfología adecua una estructura, por simple selección natural, hacia un patrón que hace que el componente funcional aledaño se modifique en consecuencia. Así, la integración morfológica juega un papel determinante a la hora de llevar a cabo una conclusión.

Sobre esa misma segunda raíz canónica, es visible los cambios en el Neurocráneo sobre todo en su globularidad, el ángulo de la base del cráneo, la disposición de la zona occipital, la parietal posterior, principalmente. Asimismo, reportan una diferenciación en el sistema óptico, que nuestro estudio también reporta pero con el dato de tener dirección infero-superior (para cazadores recolectores) con su efecto compensador en la zona los maxilares lateral y zona peri-zigomática.

Finalmente, el cambio en el sistema masticatorio se ha reportado en estudios anteriores donde los maxilares tienden a ser mas prominentes (prognatismo con sus compensaciones anatomico-funcionales) en los agricultores y se expanden bilateralmente en cazadores recolectores, aunque de manera incipiente (González-José *et al.* 2005).

La topología del fenograma, obtenida desde el análisis *cluster* UPGMA es correlativa con lo esperado desde la inferencia a priori. Los industriales (IND) asociados a grupos agricultores (AGR) y como grupo externo los cazadores-recolectores (CZR). En adición, el análisis multidimensional permite saber que la estructura de este fenogramas es equivalente, como se infería desde el CVA. Es decir las morfologías tienen una distribución homostática.

La tabla 5.2 intenta resumir las principales variaciones en la morfología del cráneo por estrategia económica. Aunque, la variación reportada esta en función del protocolo utilizado, ya que depende de los landmarks que se utilicen porque estos se asocian a un determinado módulo o componente funcional del cráneo. Así, podemos pensar que la delimitación particular de cada uno de los componentes funcionales traería una disgregación de los elementos integradores de la variación ambiental.

	Esplagocráneo	Neurocráneo
Caza Recolectión	Amplia sistema óptico se modifica: órbitas anchas Sistema respiratorio con modificaciones. Es mas grande en todas sus dimensiones.	Pequeño (menos globular) Base baja Región occipital mas anteriores Cambio en ángulo del <i>foramen magnum</i>
Agricultura	Prognatismo Corta y ancha que en caza recolección pero similar que en Industrialización.	Globularidad media Diferenciación en la región peri-parietal y occipital.
Industrialización	Amplia sistema óptico con modificación principalmente en órbitas Sistema respiratorio modificado en tamaño.	Globularidad pronunciada o mayor con un cambio principal en la zona en la zona parietal posterior.

Tabla 5.2 Principales cambios en la forma del cráneo asociado al tipo de estrategia económica.

Lo anterior sugiere la idea de que las respuestas al ambiente tienen una mecánica de plasticidad fenotípica, aunque no igual, ya que factores como la genética de poblaciones, heredabilidad, flujo génico, etc, están siendo obviadas; y sabemos bien describir la proporcionalidad del modelo genético aditivo y de la covarianza del fenotipo, siendo un modelo multifactorial, no es sencillo y requiere de varios niveles de análisis.

La diferenciación morfológica entre los grupos de caza-recolección y agricultura de sudamérica (González-José *et al.* 2005;6) ha sido muy estudiada. No así en grupos mexicanos con características económicas similares.

Añadiendo más complejidad a la discusión Patín *et al.* (2009;1) dice que:

“the transition from hunting and gathering to farming involved a major cultural innovation that has spread rapidly over most of the globe in the last ten millennia”.

Si lo anterior lo trasladamos al plano biológico las implicaciones de dichos cambios son evidentes y rastreables en el fenotipo, principal objetivo de este análisis y con lo cual se comprueba su viabilidad.

### **5.9.1 Genes, ambiente o su síntesis dialéctica.**

La discusión anterior, sobre los resultados de las estrategias económicas, implica un planteamiento sobre cómo se integran los datos ambientales a los genéticos y viceversa. Nuestra metodología esta pensada en identificar de una manera muy general las desviaciones fenotípicas de los caracteres morfológicos del cráneo. Un reciente trabajo (Paschetta *et al.* 2010) introduce un análisis del cráneo mediante módulos craneanos: cara, neurocráneo, alveolar, masticatorio y mandibular. Con la cual se delimita la morfología craneana de una manera muy acertada. Pensemos en que la delimitación a priorística, para el caso de nuestro estudio no pensó en analizar el cambio por módulos craneanos, si no más bien establecer un comparativo total, que en el trabajo de Paschetta también se incluye. Ello, nos lleva al debate sobre *nature* y *nurture* ¿es observable esta división en el estudio? ¿cómo delimitamos las componentes? ¿es posible saber que rasgos pertenecen a la componente génica y cuáles a la ambiental?

El debate sobre la relación genética ambiente ha sido discutida por muchos autores como Locke, Hobbes, Gould, Lewontin, Wilson, Jensen, Herrnstein y Murray (Pigliucci 2001). La discusión siempre ha sido encaminada a la sustentación de hipótesis determinísticas hacia ambos lados de la dicotomía. Pero ¿es en realidad una dicotomía o la integración dialéctica de las mismas?

La comprensión de la integración del análisis de las estrategias económicas a las relaciones del fenotipo la entendemos desde una explicación dialéctica; ya que, éstas no separan las propiedades de las partes aisladas de las asociaciones que tienen cuando forman conjuntos, sino que consideran que las propiedades de las partes surgen de estas asociaciones. . Es decir, de acuerdo con la visión dialéctica las propiedades de las partes y de los conjuntos se coterminan mutuamente. Las propiedades de los seres humanos individuales no se dan aisladamente, si no surgen como consecuencia de la vida social. La teoría dialéctica contrasta con los métodos de explicación culturales o dualistas que dividen el mundo en diferentes clases de fenómenos, cultura-biología, mente-cuerpo (Lewontin *et al.* 1984).

De esta manera, podemos ver que aunque el análisis maximiza la expresión de la componente genética, pensando en el modelo infinitesimal de Fisher, la componente ambiental nunca está fuera del análisis. Por ello la importancia del análisis por estrategia económica, ya que podemos ver que regiones son las más variables y por ende sensibles a la variación ambiental.

La Figura 5.4 ayuda a describir el proceso de síntesis planteada en los anteriores conceptos. Por ejemplo, los componentes o módulos con los cuales parte de la variación es mejor explicada y aquellos, como se citaba anteriormente, es producto de la acción del marco o componente ecológica. Luego entonces, sabiendo que el cráneo responde de manera sensible a las respuestas ambientales (González-José *et al.* 2005), podemos pensar que se deben plantear nuevas hipótesis que discriminen cuales de los módulos del cráneo mayoritariamente afectados por el ambiente., algunos ya descritos para la zona nasal.

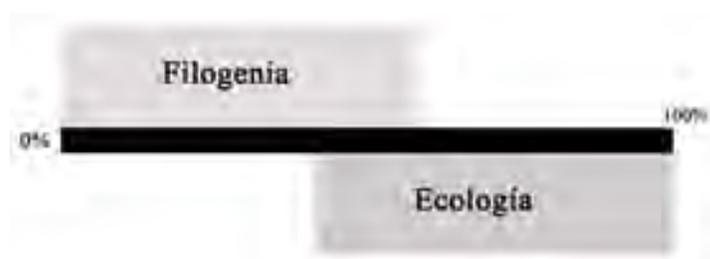


Figura 5.4. Relación dialéctica entre la filogenia y la ecología, en el marco de la variación total de un carácter en estudio. La línea negra indica la variación total de un cierto carácter en su interrelación con los factores ecológicos y sus implicaciones filogenéticas. *sensu* Schlichting y Pigliucci 1998.

En esta discusión también surge a la vista la pregunta realizada por Lewontin y colaboradores (1984) ¿Cómo debe dividirse a un organismo para entender su evolución? La evolución del cráneo está íntimamente relacionada con la evolución de otras partes del cuerpo, por relaciones internas como externas. Entonces, la correcta división del fenotipo permite que la planteada dicotomía genética-ambiente, sea resuelta. Lo anterior constata que la instauración de los protocolos de digitalización tiene que estar necesariamente pensados desde la idea de la matriz craneofuncional y el valor filogenético de los puntos.

Mediante el análisis fueron verificables las regiones variables en la componente genética (Tabla 5.1) y la componente ambiental (Tabla 5.1). De acuerdo a estos caracteres derivados únicos podemos ver que el ambiente juega un

papel dentro de la configuración general de la morfología, eso no lo podemos obviar. Sin embargo, no podemos delimitar el modelo dicotómico con los resultados. Carson (2006) calculó el índice de heredabilidad del cráneo ( $H^2=V_a/V_p$ ; donde  $V_p$  es la varianza del fenotipo y  $V_a$  es la varianza aditiva genética) reconociendo que las regiones midsagital y orbitaria muestran heredabilidades menores a 0.3. La autora concluye que los caracteres craneométricos muestran una baja a moderada heredabilidad. Nuestro estudio tomó como valor de heredabilidad  $h^2=1.00$  ya que asumimos que la correlación fenotípica es equivalente a la correlación genotípica (Cheverud 1988). Algunos otros autores recurren a  $h^2=0.55$  (Carson 2006) aunque Martínez Abadías y colaboradores (2009) estiman valores más conservadores para la heredabilidad.

#### **5.10 Re-evaluación del proceso de Mestizaje en México (Resultados IV).**

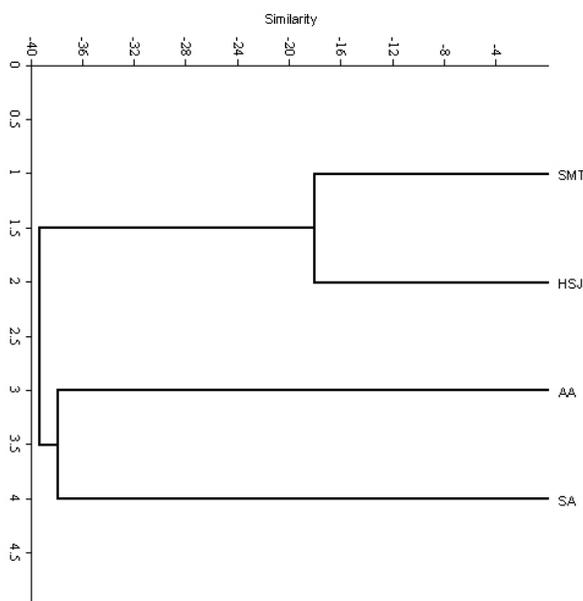
Las poblaciones híbridas que resultan de la migración (flujo génico) de una o más poblaciones tienen un interés particular ya que representan un línea divisoria entre dos poblaciones ancestrales o en interacción resultando en un rápido cambio genético; tales poblaciones son generalmente el resultado de entrecruzamiento o la mezcla de dos poblaciones parentales durante un periodo de tiempo extendido (Hedrick 2005;484). Los datos históricos prevén un escenario así, la conquista española significó la puesta en marcha de un entrecruzamiento que al inicio de la colonia fue prospectó como selectivo. Sin embargo, producto de la despoblación por efecto de las pandemias la cruce de individuos fue mas azarosa.

Los datos aportados por nuestros resultados brindan nuevos planteamientos a los realizado por Martínez-Abadías *et al.* (2006). En primera instancia la división fenotípica de grupos mexicanos y españoles es evidente. Los estratos ancestrales tanto de México como de España se superponen y sólo la población moderna mexicana es más afín a las poblaciones españolas. Esto sobre la primera raíz canónica del CVA que representa el 71.99 % de la varianza explicada. El resto de los análisis realizados complementa al CVA.

Las distancias de Mahalanobis, agrupadas por *cluster analysis* (Gráfica 4.267), muestran un patrón interesante. Podemos ver en el fenograma que existen dos grupos México y España. Sin embargo la población Colonial se agrupa con los españoles, que es de esperarse según la historia biológica de México. En términos matemáticos podemos decir que el centroide de la distribución de los individuos de la Colonia se encuentra más próximo a las poblaciones españolas que a las mexicanas.

El estudio de Martínez-Abadías *et al.* (2006) emplea dos colecciones coloniales Santa Maria Texcalac (SMT) y

Hospital San Juan de Dios (HSJ) que en las distancias de Mahalanobis resultaron no significativas y que en un árbol *cluster* se agrupan (Gráfica 5.3 ). La división planteada en esta tesis tiene nuevos elementos para el análisis. Sin embargo, la colección proveniente de la Facultad de Medicina de la UCM no puede ser considerada como ancestro. Para este estudio la misma colección conforma la serie de referencia de españoles modernos (MODE) y Wamba (siglo XVII) la consideramos como ancestro. Esto permite delimitar el factor cronológico en el estudio; además, del número muestral y el número de *landmarks* utilizados en 3D. Por estos factores vemos que la replica ayuda a ver el comportamiento de los datos generados en el trabajo previo.



Gráfica 5.3. Fenograma UPGMA de la matriz de distancias de Mahalanobis de Martínez-Abadías *et al.* (2006)

Entorno a las características fenotípicas Martínez-Abadías (2006;9) dice:

“According to our data, the main differences among Amerindians from Mexico’s Central Valley and Spaniards can be described by an enlargement of the midposterior neurocranium, increased prognathism, facial flattening, and zygomatic development in the former with respect to the latter. On the one hand, skulls from the early colonial series tend to show morphological traits characterizing Amerindians but not completely overlapping their range of variation, and slightly differing toward the Spanish morphology. On the other hand, the late colonial group shows a more intermediate (and internally diverse) morphology. Note that these results depend on the samples as well as on the periods considered in this work, so that they cannot be applied or generalized to the whole Mexican territory. Actually, the impact of admixture on Amerindian Mexican populations differed among regions. In summary, our results suggest that at least with the samples and periods considered in this paper, colonial samples occupy an intermediate position between both ancestral populations, with the early

---

colonial lying nearer to the Amerindian centroid, and the late colonial closer to the Spanish centroid Given the progressive demographic impact of Spanish individuals on the composition of the Mexican population (Crawford, 1998; Salzano and Bortolini, 2002)”.

Los cambios que se pudieron observar en el análisis fueron: modificaciones en la globularidad neurocraneal, hacia el occipital y la base del cráneo; aunque los temporales y frontal posterior se ven afectados. Asimismo, hay una variación en la anchura del cráneo. El esplagnocráneo se modifica profundamente, el maxilar es prominente y alto; la región zigomática, orbital y perifrontal se modifican radicalmente. Finalmente, se puede ver un cambio importante en la configuración de la parte posterior y basal de neurocráneo en la relación asterion- eurion que denota un proceso de acortamiento de esa zona. Estos datos pueden ser particularizados ya que se generaron las comparaciones (por pares) de algunas combinaciones importantes (Tabla 4.24 y Gráficas 4.18-22) que nos permite individualizar los cambios en el cráneo. Por ejemplo, de la comparación del Ancestro español (AE) vs Colonial (COL) se puede observar un cambio radical en la configuración de cráneo para esta comparación. Las regiones que no cambian son la nariz (tercio medio de la cara) y el frontal tiene modificaciones importantes. La globularidad del cráneo es mayor en AE sobre todo hacia la región posterior, ya que en la basal es mas importante la de AE y la altura es la misma. Asimismo, la anchura del neurocráneo es mayor en el AE. Para la cara tenemos cambios generalizados en órbitas, región nasio-glabelar, maxilar, zigomáticos, aunque las caras son de anchura y largo similares ; no así la altura que es menor en AE. Con estos datos, podemos entender que los individuos coloniales tienen una forma fenotípica particular pero mas cercana a los españoles.

Los datos resultantes de esta revisión no son disruptivos con las conclusiones anteriores. Se complementan porque en esta tesis no incluimos a la colección de HSJ, por ejemplo. Es interesante resaltar que para este estudio resultaron, por comparación discriminante, todas las combinaciones significativamente diferentes ( $p < 0.0001$ ), para 1000 permutaciones. Ello nos refiere nuevamente la cita anterior del trabajo de Martínez-Abadías *et al.* (2006) que discute sobre la dependencia de los resultados a las muestras. Aquí vemos como la inclusión de población colonial (que no estuvo en contacto directo primario con el mestizaje) norteña a la población colonial retoma otro lugar o configuración. A este respecto, se deben implementar nuevos estudios con mediciones de todo el material colonial disponible en México.

Por otro lado la regionalización del cambio en la forma nos permite conocer los caracteres que continuaron estables en el cráneo post-conquista. Por ejemplo, en el caso de la comparación del Ancestro español (AE) vs Colonial (COL) se expone en los resultados:

“Se puede observar un cambio radical en la configuración de cráneo para esta comparación. Las regiones que no cambian son la nariz (tercio medio de la cara) y el frontal tiene modificaciones importantes. La globularidad del cráneo es mayor en AE sobre todo hacia la región posterior, ya que en la basal es mas importante la de AE y la altura es la misma. Asimismo, la anchura del neurocráneo es mayor en el AE. Para la cara tenemos cambios generalizados en órbitas, región nasio-glabelar, maxilar, zigomáticos, aunque las caras son de anchura y largo similares ; no así la altura que es menor en AE (pág 10)”

Estos y otros datos aportados por el análisis hacen pensar en la congruencia de los análisis vía estudio de la forma biológica, por encima de los estudios clásicos métricos directos. El cambio en el Neurocráneo en el estudio de Martínez-Abadías y colaboradores (2006) reconoce la ampliación de la línea media posterior del Neurocráneo que para nuestro estudio, como es 3D podemos extender este concepto a un cambio radical en la globularidad del Neurocráneo que involucra cambios en volumen asociados a los landmarks incluidos en el polígono de neurocráneo.

Finalmente Martínez-Abadías y colaboradores (2006;10) concluyen que:

“The global morphology of the admixed groups falls between the range of variation of the ancestral groups. The results are in accordance with historic, demographic, and genetic evidence. Thus, when global shape is considered, the null hypothesis could be accepted. However, when localized structures (mainly facial) are taken into account, deviations from the expected pattern are detected, and the null hypothesis should be rejected. Therefore, the data show complicated and integrated shape changes which cannot be exclusively explained by a gene flow model”.

De esta conclusión sacamos el elemento más importante de este trabajo, los datos muestran lo complicado e integrado de los cambios en la forma, los cuales no pueden resolverse sólo por el modelo de flujo génico. En este contexto, los datos permiten ver las diferencias del proceso de mestizaje; ya que, al utilizar muestras coloniales del Norte de México, podemos ver que el rango medio de variación que las poblaciones dicen tener no es constante, aunque se mantiene. Basta, revisar los análisis de CVA, *Cluster* y MDS donde lo colonial esta distribuido, por rango medio, entre las poblaciones españolas y mexicanas, aunque con una morfología propia. El análisis de la gráfica del MDS nos ayuda a ver en 3D cómo se comporta las afinidades multidimensionalmente, así COL es más próximo a MODE. El AE está ubicado como una morfología más alejada. Esto se podría explicar porque la colección MODE la integran cráneos de la colección Oloriz y del Museo de Madrid que fueron coledidas de muchas regiones de la península ibérica. No así la población de Wamba (Valladolid) que está circunscrita a un periodo y área muy particular, aunque más antigua. Según los datos de llegada de

españoles sabemos que procedían de Andalucía (29%), Castilla la vieja (19%), extremeños (18%) y el resto de otras regiones de la península y Europa (Malvido 2006).

Ello nos brinda una explicación lógica inicial del porqué el ancestro puede no representar una población ancestral, aunque se agrupe con Colonial. Luego entonces, como la colección Oloriz y Museo Madrid representan mejor la morfología craneana española, es un mejor atractor de la morfología colonial mexicana.

Es pertinente señalar que en estudios posteriores, se integren más colecciones coloniales disponibles del centro de México hará que esta integración de datos se pueda describir más fielmente. Sin embargo, podemos resumir que nuestros datos aportan una nueva visión de la complejidad estructural de las poblaciones mexicanas en la época de contacto y que la predicción de la direccionalidad de un proceso de Mestizaje es un rubro no delimitable. La integración de datos moleculares (e. g Cerda-Flores *et al.* 2002, ) hace pensar en que no se ha evaluado el componente de poblaciones negras y asiáticas en el proceso de mestizaje, desde la morfología, ya que la genética es la que ha brindado la mayor evidencia de la complejidad del proceso. Cerda-Flores *et al.* (2002) muestran que existe una componente africana en el modelo considerado como dihíbrido. Reportan un 1% de contribución africana a la composición genética de las poblaciones mexicanas modernas. Así la complejidad de la diáspora genética del mestizaje en México está aún sin esclarecerse del todo. La inclusión de la totalidad de las muestras disponibles para el periodo colonial y su clara asignación apriorística, además de la inclusión de mayor número de cráneos permitirá que el análisis de los componentes fenotípicos en la Conquista pueda ser mejor representado. Hoy el proceso de mestizaje está sin haberse evaluado en su totalidad.

### **5.11 Microevolución de la forma del cráneo en México (Resultados V).**

Otro punto importante que se encuentra en discusión abierta es la cuantificación de la microevolución. Aunque el modelo MacFadden-Gingerich tradicionalmente se emplea como estimador de la evolución de la evolución de caracteres (Fontdevila y Moya 2003; 422), la presente propuesta es emplearlo como un indicador de cambio por una unidad de tiempo a nivel ecológico o microevolutivo, ya que el tiempo macroevolutivo puede también ser explicado en intervalos evolutivos a diferentes escalas (Fontdevila y Moya 2003; 426).

El modelo propuesto parte del supuesto de reducir el cambio en la forma del cráneo mediante la sumatoria de los eigenvalores resultantes de un análisis de componentes principales (PCA) para cada fase cultural. Con este valor se accede a

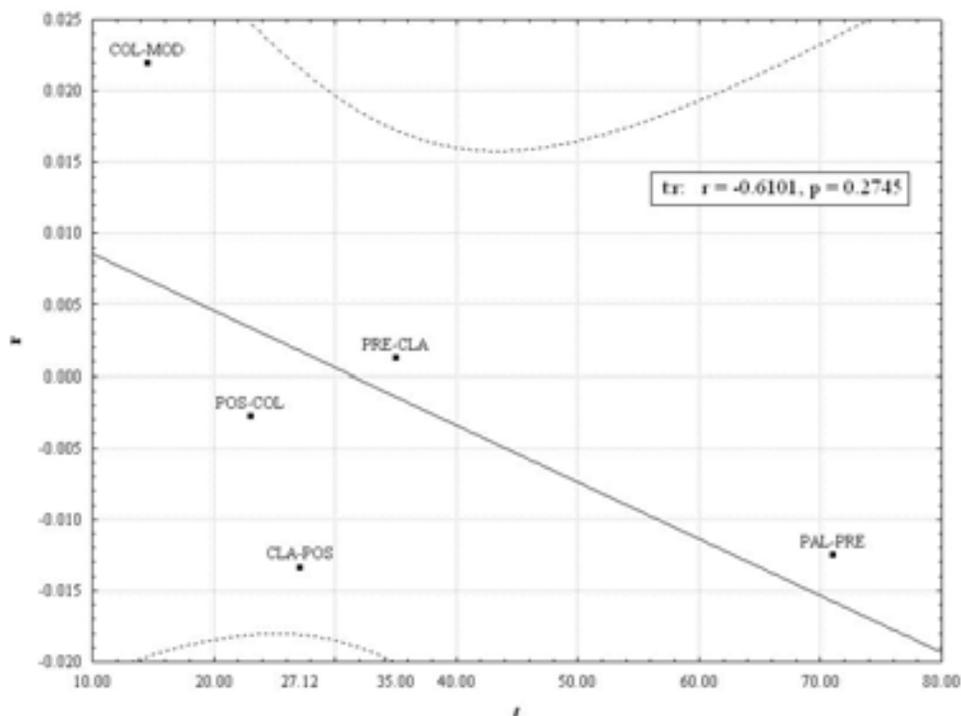
un número que generaliza la variabilidad de la distribución del cambio en la forma del cráneo (módulos) y que algunos autores han empleado como una medida directa de la integración morfológica (Wagner 1989, Hallgrímsson *et al.* 2006). Se debe decir que en donde hay que poner atención es en la interpretación de los resultados, porque es ahí donde se cometen la mayor parte de los errores.

Además, se asume que los datos seguían una relación de ancestro-descendencia, es decir que la fase cultural próxima anterior representa al ancestro de la contemporánea<sup>7</sup> (e. g. PAL-PRE o PRE-CLA), o al menos alguna de las poblaciones que la integran; y que el tiempo determina la unidad de cambio. A este respecto, Gingerich (1983) apunta que existe una correlación negativa entre la tasa de evolución y el intervalo de tiempo estudiado, es decir, el autor encontró que conforme aumenta el intervalo de tiempo estudiado la tasa de evolución era menor. Aunque los datos, en principio, no parecen tener esa correlación si presentan dicho fenómeno matemático (Gráfica 5.4); así, los rangos de mayor rango de tiempo tienen las tasas más conservadoras aún cuando se elimina al contrastar PAL-PRE la correlación sigue el mismo patrón. Según Fontdevila y Moya (2003) esta característica puede deberse a la <<nitidez>> de la estructura en análisis; que está en relación a la metodología empleada. Para ser más explícito, que la morfología cambie de tal forma que a partir de determinado momento ya no pueda ser reconocido, por ejemplo cuando hay efectos microevolutivos determinantes de un cambio en la morfología por algún agente como la selección natural, deriva génica, etc.; y que por no sea rastreable mediante la metodología de esta tesis.

En el caso de los resultados tienen una correlación negativa no significativa para  $p < 0.05$  (Pearson  $r = -0.61$   $p = 0.2745$ ). Aunque el valor no es significativo está influido por el número de los casos analizados ( $N=5$ ). Sin embargo, podemos ver que existen un hecho importante. Al mirar la correlación negativa (Gráfica 5.4) podemos ver que conforme aumenta el intervalo de tiempo estudiado la tasa de evolución era menor. De igual manera, podemos ver cómo hay un efecto de separación entre el contraste de PLA-PRE y el resto de las comparaciones. Esto obedece a que el rango de tiempo de PAL a PRE es de más de 5000 años respecto a las diferencias entre el resto de comparaciones contiguas que no sobrepasan los 800 años.

---

7 Aunque esta relación sólo ha sido probada en las transiciones del Preclásico al Clásico y al Posclásico. Pero que igualmente deben considerarse con reserva, ya que se deben incluir mayores cantidades de poblaciones para poder robustecer las presentes inferencias



Gráfica 5.4. Correlación entre la tasa de evolución y los intervalos de tiempo en el modelo de la estimación del cambio microevolutivo del cráneo. Se observa una correlación negativa (Pearson:  $r = -0.6101$   $p = 0.2745$ ) entre las dos variables que no es significativa a valores de  $p < 0.05$ .

Se puede discutir mucho sobre si la cuantificación microevolutiva es válida por la correlación anterior. La perspectiva de esta tesis es que, si bien el índice o tasa no representa toda la información disponible para analizar, puede darnos una idea de que escenario microevolutivo siguió el cráneo en México y cuantificar la <<velocidad>> a la cual pudieron ocurrir los cambios relacionados con tiempos determinados. Los datos de inicio PLA-PRE debemos obviarlos porque no tenemos una población más antigua que nos permitiera clarificar el estado de los precerámicos.

No olvidemos que la fórmula permite, por su estructura particular y dependencias matemáticas, que los datos provenientes de un modelo multifactorial se redujeran a un solo valor que refleja cuantitativamente un cambio en la forma en función del tiempo. Claro está, que este valor es una inferencia y una construcción hipotética; asimismo, debe ser evaluada desde la prospección conjunta de los datos generados en los análisis previos a esta tesis.

Entonces, si partimos del supuesto de variabilidad reflejados por el análisis previo (PCA) esperaríamos que la tasa de microevolución tuviera un patrón parecido a los pasados. La gráfica 4.30 permite observar el drástico cambio de las colecciones Coloniales y Modernas. Analicemos las gráficas desde una abstracción en números absolutos, es decir, como si fueran cambios numéricos en valores binarios (razonamiento utilizado en la sistemática filogenética para numerar los

cambios de caracteres en un árbol filogenético). Las primeras combinaciones tienen un valor de cambio 1, pero de colonial a moderno sería un cambio en el orden de 2; que es la respuesta de diversidad reflejo de la diáspora genética de la Conquista. Asimismo, podemos ver que en 10000 años el cráneo ha cambiado de una manera drástica sólo después de la colonia. Los pares previos a esta fase tienen una fluctuación constante o con baja <<nitidez>> para esta metodología. En concordancia con estos datos los trabajos de Dorus *et al.* (2004) y Wang *et al.* (2007) reportan una <<aceleración>> de la evolución del cerebro en *Homo sapiens*, lo que puede ser un indicio de la tasa de cambio que tiene el cráneo. Es decir, que en momentos puntuales donde los factores materiales del cambio morfológico se propician, se genera un cambio radical en las estructuras fenotípicas. Aunque si observamos la variabilidad podemos decir que es conservadora con cambios muy regionales.

Como se había mencionado anteriormente, mediante esta técnica no podemos decir mucho sobre los Preclásicos ya que los resultados tienen direccionalidad, y como comenzamos en Preclásicos sólo se puede afirmar que hubo una microevolución constante hasta el Clásico, pero nunca tan importante como el fenómeno posterior del Posclásico a Moderno. Este tipo de inferencia no había sido realizada en trabajos previos por lo que, no hay datos comparables de otras colecciones. Debemos recordar que la tasa de evolución es una medida del cambio en un linaje evolutivo en un cierto plazo (Ridley 2004), y esta perspectiva no ha sido explotada en la antropología física mexicana. El único trabajo que podría asemejarse es el realizado por Arturo Romano Pacheco, quien en su tesis de maestría aplicó un índice de divergencia tipológica (Romano 1956).

Finalmente podemos ver como la línea de ajuste medio (Gráfica 4.30) tiene una disposición negativa como la encontrada en los trabajos de Gingerich (1983).

### 5.12. Síntesis.

Ahora bien, teniendo toda la información recabada en esta tesis es posible asegurar algunos patrones importantes. De manera general y con la muestra que se integró vemos cómo los motores evolutivos como la selección natural y artificial, el flujo génico, la deriva génica, han representado un papel importante dentro de la microevolución del cráneo humano en México. La diversidad encontrada en el análisis recae principalmente en los grupos antiguos y en los coloniales.

Las variaciones del resto son conservadoras y en algunas cosas como los individuos del Preclásico es muy aventurado tener conclusiones veraces. Sin embargo, el comportamiento de éstos no es atípico como habría de esperarse,

casi es el mismo número muestral que Precerámicos. Este hecho nos permite reflexionar entorno a la representatividad de las muestras. El planteamiento anterior sobre los precerámicos y preclásicos nos permite reflexionar sobre la variación de la morfología respecto a la dinámica poblacional de sistemas de organización económica preindustrial. Cazadores-Recolectores y Agricultores, uno con una variación intra poblacional grande y otra con poca variación; respectivamente. Los números muestrales no fluctúan en demasía pero los patrones de variación verificables en los resultados son totalmente distintos. Sin embargo no podemos asegurar que estos patrones sean producto de variabilidad fenotípica producto de una genética de población particular, ya que la morfología es el resultado de una integración morfológica compleja. Así, podemos decir que las características fenotípicas de los periodos discutidos, se deban a la acción del flujo génico de manera diferencial. Por ejemplo, debería haber bandas o microbandas de cazadores-recolectores con tendencias al sedentarismo no riguroso sino estacional. Asimismo, deberá haber grupos con una vagilidad mucho mayor. Este fenómeno de flujo génico diferencial pudo haber contribuido a que existiera una tendencia al patrón de variabilidad observado en Paleoamericanos como Faulhaber (1994) aseguraba al decir que “contamos con poco material para un periodo tan grande, y seguramente el desarrollo cultural y genético no se efectuó en todas las partes a la misma velocidad y de la misma manera, debido al grado de aislamiento geográfico (p 27). Principio de la variación co-dependiente (Richtsmeier et al 2005) o modular de los caracteres craneanos . sin embargo, como lo refiere Faulhaber (1994) “con base en este material se pueden apreciar algunos caracteres generales, a pesar de su variabilidad”.

Asimismo, y pensando en que para los pocos cráneos incluidos del horizonte cultural Preclásico, ya se tenía una estructura social determinada por un modelo económico-político de estado, con un sistema de subsistencia predominante hacia la agricultura y secundario hacia la caza-recolección. De esta manera, el patrón poblacional, como es de esperarse, tendría que denotar una menor variabilidad morfológica que el patrón paleoamericano. Podemos contrastar el proceso con Teotihuacan el cual se encuentra con una variabilidad muy alta que lo denotan los resultados y un análisis del mismo autor (Quinto-Sánchez 2007). Una urbe como la Teotihuacana, que representó un sistema de movilidad poblacional muy grande, un centro de convergencias culturales. Y, al menos, los datos morfológicos indirectamente la variabilidad poblacional del complejo Teotihuacano, no se debe olvidar los conceptos sobre nivel o escala de acción del flujo génico de Hanski (1999;99-100).

Aunque de entrada se aclara que esta tesis no puede resolver la complejidad de la misma si no más bien inferir sobre los patrones fenotípicos y generar nuevos proyectos de investigación particulares. Por ejemplo, el flujo génico puede

tener diversas escalas de acción, sobre todo actuar sólo de manera muy local o en las periferias de los núcleos poblacionales (Hanski 1999:99-100) y en poblaciones humanas con caracteres etológicos complejos este fenómeno es una constante haciendo mucho mayor la complejidad de análisis. Dos modelos se proponen para poder explicar esta complejidad del flujo génico en los datos: el primero plantea que si la emigración excede mucho a la inmigración, como es probable que suceda en poblaciones aisladas, la migración selecciona la tasa de migración menor vía la pérdida selectiva de los individuos migratorios; y al segunda dice que, si la inmigración excede la emigración, la cual puede ocurrir en poblaciones pequeñas localizadas cerca de las grandes, se espera que la población muestre una tasa de migración particularmente alta (que tiene diferentes niveles acción) (Hanski 1999:100).

La conquista de México es el principal punto de inflexión en el cambio fenotípico craneano producto de múltiples factores biológicos y culturales. El fenómeno anterior representa una marcada discontinuidad invariable a las técnicas utilizadas en esta tesis. Lo que nos permite asegurar, pensando en principio de Ockham que dado la frecuencia encontrada en el fenómeno es plausible que la genética tuvo una repercusión, por efecto del flujo génico, en la configuración del fenotipo craneano.

De manera general, podemos decir que la variación del cráneo en México, teniendo en mente los procesos culturales acontecidos, ha sido conservadora. Pensemos en que las migraciones, caídas de imperios, formaciones de estado, etc. no necesariamente se correlacionan con grandes cambios morfológicos. De hecho la presente evidencia permite pensar en que un modelo plausible para explicar la dinámica poblacional en México es el modelo evolutivo de Wright (1932), es decir, varias poblaciones dividiéndose y generando nuevas (Figura 5.5) con efectos de cuello de botella, con flujo génico entre ellas, aunque selectivo aislamientos por distancia, como en el caso del Norte. Debemos recordar la definición genética de población que implica una entidad genética abierta, es decir que se encuentra con una capacidad potencial de intercambiar genes con otras poblaciones (Cabrero y Camacho 2003).

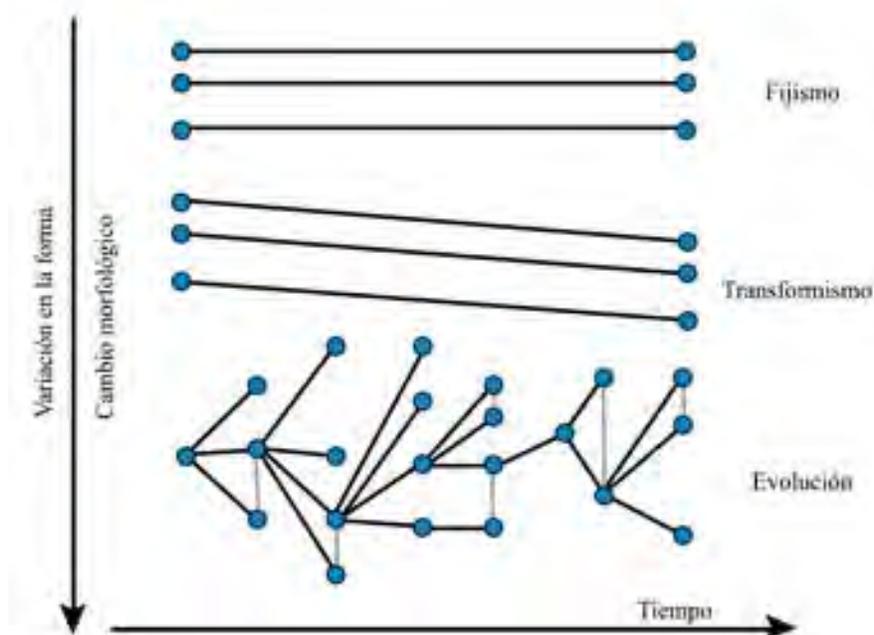


Figura 5.5. Modelos en la interpretación de la historia biológica antigua. El modelo evolutivo es que nos interesa. Podemos ver que hay una línea evolutiva continua con algunos eventos evolutivos importantes. Las líneas tenues (gris) denotan el flujo génico entre poblaciones. El modelo está reducido para efectos explicativos y representa sólo una hipótesis de la complejidad evolutiva reflejada en esta tesis.

La variación de cráneo en México presenta características muy importantes por ejemplo, el cambio en la globularidad del neurocráneo que se comporta como una diferencia modular del mismo; es decir, que representa un cambio no solo pensando en los conceptos clásicos de dolico, meso y braquicráneo, si no que los vectores del cambio morfológico van en muchas direcciones y con respuestas funcionales diversas. Por ejemplo, la relación en occipucio, obviado desde los diámetros y/o índices de la morfometría clásica, tiene un cambio en muchos sentidos. Es evidente el desplazamiento de ambos *asterion*, en relación directa con *lambda*, *inion* y *opistioncraneo*. Como podemos ver es claro que la morfometría clásica sólo reducía el cambio morfológico en un sentido biológico, como lo defiende Pucciarelli, Moss y Young; precursores de la morfometría craneofuncional. El modelo es de modularidad, no podemos entender un cambio morfológico sin pensar en el desplazamiento de un conjunto de otros puntos debido a su íntima relación morfofuncional. Entonces, podemos decir que este estudio apenas delimita un esbozo global de la complicada interrelación de los módulos craneales y que servirá como base de nuevos estudios multidimensionales.

En esta última sección se integra una descripción, con base en los resultados y discusiones de la tesis, de las conclusiones más importantes de la tesis; pero sobre todo de las nuevas perspectivas de análisis. Las denominamos conclusiones por el protocolo de formato, pero se les considera como comentarios finales o epílogo.

1. Aunque en la craneometría existen problemas de sesgo muestral por el bajo número que integra algunas de las poblaciones en estudio. Las técnicas estadísticas multivariantes, la nuevos softwares y la morfometría geométrica resultan una opción primaria para la resolución de preguntas biológicas dentro del marco de la antropología.
2. La morfometría clásica (MC) está superada por la morfometría geométrica (MG), como una síntesis dialéctica de la misma (Negación de la negación); la MG incluye algunos conceptos de la MC; sin embargo, el enfoque genético poblacional, los conceptos de modularidad craneana, la visión filogenética y sistemática de la craneometría crean este nuevo paradigma para la antropología biológica, aplicada al estudio de caracteres cuantitativos en el cráneo.
3. La inclusión, en los estudios analíticos cuantitativos, de estimaciones de error y transformaciones espaciales para eliminar los efectos de rotación, translación, tamaño y escala; son los requisitos mínimos necesarios para asegurar que los resultados representan la variación de los individuos como tal y no los errores en la medición o fluctuaciones por observadores.
4. Las colecciones incluidas en este estudio muestran tres patrones de agrupación fenotípica para el CVA. Estos grupos fenotípicos están integrados por Tlatelolco (TLA), San Nicolás Tolentino (SNT) y el resto de las poblaciones (complejo poblacional), que se proponen como metapoblacional. Asimismo, dentro de la complejo poblacional, son observables diferencias entre las poblaciones del Norte y del Centro de México, cuando se divide temporalmente; ya que las poblaciones del norte modernas se asocian a las del centro de México.
5. Los cráneos pertenecientes a las colecciones del centro de México se encuentran todas superpuestas lo que hace pensar en un proceso de continuidad biológica no lineal o disipativa.
6. Sabiendo que la matriz de distancias, que es correlativa de las distancias mínimas genéticas derivadas de la variación fenotípica (Williams-Blangero and Blangero 1989;5), el árbol filofenotípico debe representar algunas de las relaciones genéticas existentes entre algunas de las poblaciones en estudio, sobre todo las de  $n > 30$ , como PAI y CAN.
7. Mediante el análisis del fenograma UPGMA se generó la propuesta de complejos fenotípicos teniendo al

complejo filiación norte y complejo filiación centro. Por otro lado a los Pericues se les denomina el Complejo Paleoamericano junto con los Precerámicos. Los anteriores complejos ya habían sido descritos (Quinto-Sánchez 2007)

8. Existe una clara relación entre Teotihuacan (TEO) y Tula (TULA) lo que nos haría adherir este resultado a la hipótesis de ocupación de Tula, después de la caída de Teotihuacan (Townsend 1992).
9. El análisis de escalamiento multidimensional con triangulaciones de Voronoi permitió saber que las poblaciones periféricas o de variabilidad fenotípica fuera del patrón esta representado por Precerámicos (PCE), Tlatelolco (TLA), San Nicolás Tolentino (SNT) y Santa Maria Texcalac (SMT). Esta última, en un estudio anterior (Quinto-Sánchez 2007) era asociada a Teotihuacan, sin embargo la utilización de mayor número de cráneos facilitó su discriminación.
10. La revisión de las topologías generadas a partir de modelos de MG permite concluir que TLA, BJC, TUL, TMP, SNT y PCE representan las poblaciones más distantes fenotípicamente hablando, con relación al resto de las poblaciones. Las distancias, ya sean globales o mínimas de estas poblaciones son mayores sin importar la técnica y que permite asegurar, la confiabilidad de los caracteres morfológicos en la inferencia de procesos filogenéticos.
11. El análisis de varianza fenotípica muestra que los precerámicos (PCE) son el grupo que presenta mayor flujo génico, seguido los individuos provenientes del Templo de Quetzalcóatl (TMP) y San Nicolas Tolentino (SNT). Lo que permite concluir que estas poblaciones, al menos son las de mayor variabilidad intrapoblacional. Aunque se debe ser cauteloso en la interpretación de la idea que que necesariamente el flujo génico sea el responsable de esta variabilidad (Ver discusiones).
12. En complemento, los  $F_{st}$  de 0.16 y de 0.11 para las fases culturales permiten saber que los datos parecen tener una gran variabilidad interna, aunque con diferencias sutiles entre poblaciones. Asimismo, puede deberse a un efecto de las muestras pequeñas. Sin embargo este análisis no fue realizado en esta tesis.
13. La distribución de las poblaciones se comportan como un modelo no lineal denominado para este caso como metapoblacional según los conceptos de la ecología; es decir, un grupo de poblaciones espacialmente separadas pertenecientes a la misma especie que interactúan recíprocamente en un cierto nivel (Levins 1969, 1974, Keymer *et al.* 2000 y Hanski 1999).
14. Por medio de este estudio, pareciera posible asegurar que las divisiones denotadas desde la arqueología tienen

validez en el fenotipo de las colecciones estudiadas. Al menos para el caso de los Precerámicos (PCE) que se discriminan del resto de las poblaciones. El CVA por fases culturales generó cuatro patrones fenotípicos definidos: 1) el fenotipo ancestral o paleoamericanos, 2) el fenotipo colonial, 3) el fenotipo prehispánico: PRE, CLA, POS y 4) fenotipo moderno. Lo que permite asegurar que los datos son concordantes con la variabilidad esperada de acuerdo a algunos procesos históricos inferidos desde datos arqueológicos para cada fase. A nivel de movimiento poblacional podemos ver como las poblaciones más antiguas, de menor número de individuos y con mayor tasa de dispersión son las hipervariables, después las colecciones donde la estructura poblacional fue un núcleo asentado a una espacio geográfico concreto muestran una variabilidad importante pero nunca tan trascendente como el resto. Asimismo, el efecto de la Conquista tiene repercusiones a mediano plazo en la configuración de la sociedad mexicana colonial, ya que aumentó el movimiento de personas, hubo un efecto fundador en las poblaciones (pandemias recurrentes, guerras, etc) y se integraron nuevas formas de cultura impuestas desde el cristianismo de la época. Finalmente, la época moderna configura, para la población mexicana moderna, donde la tasa de movilidad de personas es la mas potencial, la morfología es diferente en cuanto a ciertos rasgos.

15. El análisis de escalamiento multidimensional (MDS) permite saber que las fases Colonial (COL) y Moderna (MOD) son las de mayor diferenciación. Este patrón puede ser explicado en función al proceso de mestizaje que sufrieron los pobladores de México durante la instauración de la colonia española.
16. La integración de los resultados sobre las fases culturales hace concluir que existen tres fenotipos: la morfología de Precerámicos que pertenece a un ancestro común que compartía un recinto geográfico tal vez exterior a América. Un segundo, fenotipo que sería asociado a poblaciones prehispánicas y moderna; y el tercero para la fase Colonial.
17. El fenograma UPGMA evidencia una topología plausible pensando en fases culturales.
18. Los resultados del Análisis Relethford-Blangero y Fst se encuentran en apego a los procesos económico sociales que se vivieron, al menos podemos definir: 1) amplia diversidad en la fase Paleoamericana, 2) diversidad circunscrita y cambiante para Preclásico y Clásico, 3) creciente diversidad para el posclásico, mayor que en PRE y CLA, 4) segunda diversificación importante en fase Colonial y 5) diversidad delimitada con valores similares a la fase PRE y CLA, para la fase Moderna.
19. Las principales diferencias morfológicas entre PAL-PRE son para el esplagnocráneo: Se presenta uno de los mas marcados cambios en la forma (*shape*). El cambio se da de manera generalizada en todas los subcomponentes del

esplagnocráneo. Los cambios más importantes están en maxilar, la nariz, las órbitas y la región perifrontal. Para PAL el maxilar es ancho y corto; a diferencia de PRE donde es de similar anchura (aunque diferente angulación) pero mucho más alto. De manera general la cara en PAL es menos alta que en PRE. Las órbitas en PRE están más abiertas. Por último la nariz tiene mayor tamaño en PRE que en PAL. La mayor variación se encuentra en los tercios medio e inferior y en la vista infero-superior se observa que la variación se concentra en la parte anterior del esplagnocráneo. Y para el neurocráneo: el cráneo en PAL es menos globular (definido anteriormente como dolicoide), a diferencia del PRE que es un cráneo globular (braquicráneo). Cabe destacar que la variabilidad de la anchura del cráneo no fluctúa mucho más que en la relación del eje *eu d* y *eu i* (ver discusión sobre morfometría clásica vs morfometría geométrica). Las regiones más conservadoras en el cambio son la región periastérica, occipital posterior y perinasion (Figura 4.12). El resto de los puntos craneométricos tiene importantes fluctuaciones en su disposición 3D. Podemos decir que los cambios entre estas fases manifiestan las diferentes historias biológicas de las cuales proceden los individuos. Los Paleoamericanos como producto de individuos que refieren los estratos poblacionales de los primeros pobladores de la cuenca de México. Asimismo, la propia diversidad o variabilidad de los individuos pertenecientes a esta fase (precerámicos) plantean una complejidad única. Finalmente, debemos recordar que esta comparación se realiza mediante 16 cráneos.

20. Las principales diferencias morfológicas entre PRE-CLA para el esplagnocráneo son: variación importante en la configuración de la forma de la cara. la región nasal es más alta en PRE, las órbitas presentan cambios en ubicación moviéndose postero-anteriormente en PRE respecto a CLA. El maxilar es más reducido lateral y posteriormente en PRE. Por último, la región zigomática cambia haciéndose más ancha en CLA. Y para el neurocráneo: existen cambios más conservadores que el anterior. Y para el neurocráneo presenta un cambio generalizado en la forma (*shape*). Se presentan cambios localizados en la globularidad, base del cráneo, occipital y la altura y anchura del cráneo. CLA tiene un cráneo más grande respecto a PRE. Vemos una fluctuación más producto del ambiente (regionalizaciones) que diferencias genéticas. Es decir, en este caso la morfología permite saber que las fluctuaciones del Preclásico al Clásico fueron conservadoras y tal vez se limitó a fluctuaciones por causas geográficas por adaptación a ambientes muy particulares.
21. Las principales diferencias morfológicas entre CLA-POS para el esplagnocráneo son: la variación de la forma del cráneo es conservadora. Hay una variación lateral en zigomáticos en POS y un maxilar más pequeño en POS, pero

de manera general el esplagnocráneo no fluctúa como en los casos descritos anteriormente. Y par el neurocráneo: la forma media del cráneo en estos horizontes es muy conservadora. La variación en la forma (shape) es puntual. POS muestra un cráneo un poco mas largo, aunque es ligero este cambio. De manera general la globularidad del neurocráneo cambia. Para CLA tiene su máximo (eu r - eu l) más posterior y superior que en POS. En este caso podemos ver que los contextos sociales, económicos y ambientales influyen de manera particular en la morfología del cráneo. es apreciable que la relación PRE-CLA-POS es evidente, aunque con fluctuaciones localizadas podemos ver que la idea de efecto fundador de grupos antiguos a contemporáneos es viable, no existen un discontinuidad entre estas fases por lo que la hipótesis de continuidad biológica es plausible.

22. Las principales diferencias morfológicas entre POS-COL para el esplagnocráneo son: la cara presenta fluctuaciones en la forma (shape) conservadoras. Los cambios más importantes se presentan en la región zigomática en donde COL es menos ancho que POS. De manera general, podemos afirmar que COL y POS presentan, solo, cambios puntuales. Y para el neurocráneo, la globularidad en este par es muy conservadora. Podemos observar que los polígonos cambian en los parietales, hacia la región de la base media del cráneo, neurocráneo superior y región iniana. Este es un punto de debate arduo, que deja pensar sobre la significación de los resultados y las metodologías valoradas. Si observamos todos los índices del cambio en la forma llevan a la idea de que el fenotipo cambió drásticamente de la época Posclásica a la Colonia. Sin embargo, los datos de las comparaciones por medias no resultan muy alentadoras. Esto nos refiere a la discusión previa a esta tabla donde valorábamos la discusión de este valor. Entonces, creemos que es de primaria importancia caracterizar a cada fase vía la metodología de las varianzas-covarianzas y los PCA para poder integrar toda la variación expresada para cada población. Así, los datos no están comparados por el valor medio de la población, que si presenta asimetría en su distribución los resultados son sensibles a los valores de los extremos de la misma distribución.
23. Las principales diferencias morfológicas entre COL-MOD para el esplagnocráneo son: se presenta una variación muy puntual. Se concentra en el tercio inferior de la cara teniendo cambios puntuales leves en maxilar en anchura y altura, siendo mas mayores en (COL). De manera general las formas medias tiene cambios muy pequeños. Y para el neurocráneo: los principales cambios son en la parte posterior del neurocráneo (occipucio) y la globularidad del mismo. COL presenta un cráneo mas estrecho respecto de MOD. El restos de las estructuras fluctúan pero de manera muy incipiente por lo cual no es posible definir las (Figura 4.10). Este resultado hace reflexionar sobre si la

industrialización para las poblaciones humanas mexicanas significó un cambio radical en los patrones de dieta, entrecruzamiento, migración. Sin duda hubo un movimiento importante del campo a las ciudades pero no se si tan drástico como el referido para la revolución industrial europea; y que este haya permitido una variabilidad importante para cambiar hacia un sentido diferente la morfología craneana.

24. La microevolución de las fases culturales es de una complejidad importante y merece una atención particular para un estudio posterior, las inferencias realizadas desde estos análisis son solo un inicio en la comprensión de la correlación de los procesos culturales y biológicos-poblacionales.
25. La variación desde CZR a IND es un gradiente continuo no lineal de cambios particulares.
26. Los individuos clasificados como agricultores son la forma fenotípica craneal más dispar, aunque no discontinua.
27. El cambio en la forma del esplagnocráneo, a través de 10000 años, ha sido muy puntual y enfocado a la zona maxilar. Existen cambios en el sistema masticatorio, siendo de iguales proporciones en CZR e IND pero más grandes, en todos sus ejes, en AGR. Esto se correlaciona en la zona peri-zigomática la cual también se modifica. Es decir, se puede decir que los cambios son adaptativos y la mayoría son por compensación morfofisiológica del sistema masticatorio.
28. Existe una evidente diferenciación fenotípica (morfológica) de españoles y mexicanos. Denotando una diferenciación por propias subestructuras (metapoblaciones).
29. La agrupación del *cluster analysis* es plausible con la topología inferida desde la perspectiva histórica. El MDS permite saber, mediante una abstracción espacial, que la hipótesis de Martínez-Abadías *et al.* (2006) es plausible. La agrupación COL se encuentra entre las morfologías mexicanas y españolas; modernas y ancestrales.
30. La población colonial se asocia a poblaciones españolas, independientemente de la colección craneológica que se este utilizando. Es decir, existe una afinidad fenotípica importante entre las poblaciones ancestrales y modernas españolas con la colonial mexicana. Lo que nos lleva a pensar en que la contribución en el redoblamiento en México por españoles fue muy importante.
31. Los cambios que se pudieron observar en el análisis del mestizaje fueron: modificaciones en la globularidad neurocraneal, hacia el occipital y la base del cráneo; aunque los temporales y frontal posterior se ven afectados. Asimismo, hay una variación en la anchura del cráneo. El esplagnocráneo se modifica profundamente, el maxilar que es prominente y alto; la región zigomática, orbital y perifrontal se modifican radicalmente. Finalmente, se

puede ver un cambio importante en la configuración de la parte posterior y basal de neurocráneo en la relación asterion- eurion que denota un proceso de acortamiento de esa zona.

32. El cráneo en poblaciones mexicanas cambió de una manera drástica sólo después de la Colonia.
33. El presente trabajo no deja duda alguna sobre la complejidad de las sociedades antiguas y la escueta inferencia que la ciencia realiza sobre los pueblos antiguos. La integración de los datos morfológicos, genéticos, históricos, arqueológicos, lingüísticos, etc., vislumbra nuevos paradigmas dentro de la antropología biológica. Como en la física se anhela la teoría del campo unificado de energías.

Finalmente, después de aplicar las técnicas de la morfometría geométrica en la búsqueda de la inferencia genético poblacional de poblaciones pretéritas, tenemos nuevas y mejores evidencias de los cambios sufridos por diversos factores exógenos y endógenos a la biología humana. La teoría evolutiva responde nuevamente a las diversas preguntas que se realizan desde la antropología biológica, explicando procesos de deriva génica, cuellos de botella, flujo génico, etc. que ayudan a la integración de explicaciones adecuativas y/o adaptativas por plasticidad fenotípica al ambiente. La tesis finaliza con un aporte al conocimiento de la microevolución del cráneo en América. Además, sienta el referente para una línea de investigación muy fructífera para próximos años.

- Ackermann RR, Rogers J y Cheverud JM (2006). Identifying the morphological signatures of hybridization in primate and human evolution. *Journal of human evolution*. 51(6):632-45.
- Acsádi G y Nemeskéri J (1970). *History of human life span and mortality*. Budapest: Kaidó.
- Aiello L y Dean C (1990). *An introduction to human evolutionary anatomy*. Academic Press. London. 596 pp.
- Anderson DL, Thompson GW y Popovich F (1976). Age of attainment of mineralization stages of the permanent dentition. *J. Forens. Sci.*, 21: 191-200.
- Andrews T (1979). *English Privateers at Cabo San Lucas*. Dawson's Book Shop, Los Angeles
- Anton SC (1989). Intentional cranial vault deformation and induced changes of the cranial base and face. *Am J Phys Anthropol*. Vol. 79 No. 1: 253-267.
- Aranda A (1997). *La complejidad y la forma*. FCE. México DF.
- Arce JL, Macias JL y Vázquez L (2003). The 10.5KA Plinian eruption of Nevado de Toluca Vulcano México: stratigraphy and hazard implications. *Bulletin of Geological Society of America*. Vol. 115: 230-248.
- Arking R (1998). *Biology of Aging*. 2 ed. EUA. Sinauer Associates Inc.
- Arnqvist G y Mártensson T (1998). Measurement error in geometric morphometrics: empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 44(1-2): 73-96.
- Aufderheide AC y Rodriguez-Martin C (1998). *The Cambridge Encyclopedia of Human Paleopathology*. Cambridge University Press.
- Aveleyra L (1967). *Los cazadores primitivos de Mesoamérica*, Instituto de Investigaciones Históricas-UNAM, México.
- \_\_\_\_\_ (1956). The Second Mammoth and Associated Artifacts at Santa Isabel Iztapan, México. *American Antiquity* 22 (1):12-28.
- Barbera AL, Sampson WJ y Townsend GC (2009). An evaluation of head position and cranio facial reference line variation. *HOMO-Journal of Comparative Human Biology* 60:1-28
- Bass WM (1971). *Human osteology*. Missouri Archeological Society. Columbia. Missouri: Special Publication No. 2
- Bastir M y Rosas A (2004). Geometric morphometrics in paleoanthropology: Mandibular shape variation, allometry and the evolution of modern human skull morphology. En: Elewa AMT (Ed). *Morphometrics applications en Biology and Paleontology*. Springer. Germany. 231-244 pp.
- \_\_\_\_\_ (2006). Correlated variation between the lateral basicranium and the face: a geometric morphometric study in different human groups. *Archives of Oral Biology*. 51:814-24.
- Beadle GW (1961). Genes, Culture and Man. En: *Readings in Anthropology*. 2da ed. Vol 1- Physical Anthropology. Linguistics and Archeology. Thomas Y. Crowell Company New York. Pages 27-34.
- Bernal V, González P, Pérez I y Del Papa M (2004). Evaluación del error intraobservador en bioarqueología. *Intersecciones en Antropología* 5: 129-140. FCS UNCPBA Argentina.
- Begon M, Harper JL y Townsend CR (1996). *Ecology*. 3<sup>rd</sup> ed. Blackwell Science, Oxford, UK. 1068 pp
- Bertalanffy L (1984). *Teoría general de los sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México. FCE.
- Blackith RE y Reyment RA (1971). *Multivariate morphometrics*. Academic Press. London 412 pp

- Bogin B (1988). Patterns of human growth. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bookstein F (1991). Morphometric tools for landmark data. Cambridge University Press, Cambridge. E. U. A. 435 pp.
- \_\_\_\_\_(1982). "Foundation of Morphometrics". Annual Review of Ecology and Systematics. 13, 451-470.
- \_\_\_\_\_(1998). "A hundred years of morphometrics". Acta Zool. Acad. Sci. Hung. 44:7-59.
- Bookstein FL, Gunz P, Mitteroecker P, Prossinger H, Schaefer K, Seidler H (2003). Cranial integration in Homo: singular warps analysis of the midsagittal plane in ontogeny and evolution. J Hum Evol 44:167-187.
- Brownlee KA (1960). Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering, John Wiley & Sons, Inc. New York, p. 236.
- Bruner E (2007). Cranial shape and size variation in human evolution: structural and functional perspectives. Childs Nerv Syst. 23:1357-1365
- Buikstra JE y Ubelaker DH (1994). Standards for data collection from human skeletal remains. *Arkansas Archaeol. Surv. Res. Ser.* 44.
- Bunge M (1980). Epistemología. Siglo XXI editores. México DF. 252 pp
- Cabrera CR (1982). El proyecto arquitectónico de Teotihuacan. En: Teotihuacan 80-82. Primeros resultados. Cabrera, R; Rodríguez I y Morelos N (Coord) INAH. México 155 pp.
- Cabrera CR y Cabrera O (1991). El Proyecto Templo de Quetzalcoatl: Planteamientos Generales y Resultados Preliminares. *Arqueología* 6:19-31.
- Cabrera CR, Cowgill G y Sugiyama S (1990). El Proyecto Templo de Quetzalcóatl y la Práctica a Gran Escala del Sacrificio Humano. En *La Época Clásica: Nuevos Hallazgos, Nuevas Ideas*, editado por A. Cardós de Méndez. pp. 123-146. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- Cabrera R, Rodríguez I, y Morelos N (1982a) Memoria del Proyecto Arqueológico Teotihuacán 80-82, Volumen 1. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, D.F.
- Cabrera R, Rodríguez I, y Morelos N (1982b). Memoria del Proyecto Arqueológico Teotihuacán 80-82, Volumen 2. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, D.F.
- Cabrera CR y Serrano SC (1999). Los entierros de la pirámide del sol y del templo de Quetzalcoatl Teotihuacan. En: *Prácticas Funerarias en la Ciudad de los Dioses: los enterramientos humanos de la Antigua Teotihuacan*. Manzanilla L y Serrano C (eds.) DGAPA-IIA UNAM. México DF.
- Cabrero J y Camacho JPM. (2003). Fundamentos de genética de poblaciones. En: Soler (ed) *Evolución*. Capítulo 6. Proyecto Sur de Ediciones SL. 83-126.
- Camacho P (2003). Interés del estudio de la evolución, Capítulo 3. En: Soler M (edt). *Evolución. La base de la biología*. Proyecto Sur de Ediciones, S.L. España.
- Campillo D (2001). *Introducción a la Paleopatología*. Bellaterra
- Campillo D y Sabiré E (2004). *Antropología física para arqueólogos*. Ariel. España.
- Carson AE (2006a). Maximum Likelihood Estimation of Human Craniometric Heritabilities. *Am J Phys Anthr* 131:169-180, 2006.
- \_\_\_\_\_(2006b). Maximum-likelihood variance components analysis of heritabilities of cranial nonmetric traits. *Hum Biol*

78, 383–402.

Caspari R (2009). 1918: Three perspectives on race and human variation. *Am J Phys Anthropol*. Vol 139 No. 1:5-15.

Cavalli-Sforza L. (2007). *La evolución de la cultura*. Ed. Anagrama. España. 204 pp.

Cerda-Flores RM, Villalobos-Torres MC, Barrera-Saldana HA, Cortes-Prieto LM, Barajas LO, Rivas F, Carracedo A, Zhong Y, Barton SA, Chakraborty R (2002). Genetic admixture in three Mexican mestizo populations based on DS180 and HLADQA1 loci. *Am J Hum Biol* 14:257–263.

Chakraborty R (1990). Quantitative traits in relation to population structure: why and how are they used and what do they imply?. *Hum Biol* 62:147-162.

Cheverud JM (1995). Morphological integration in the saddle-black tamarin (*Saguinus fuscicollis*) cranium *Am Nat* 145:63-89.

\_\_\_\_\_ (1988) A comparison of genetic and phenotypic correlations. *Evolution* 42, 958–968.

Cheverud JM, Kohn LAP, Konigsberg LW y Leigh SR. (1992). Effects of fronto-occipital artificial crania vault modification on the cranial base and face. *Am J Phys Anthropol*. Vol 88 No 1. 323-345.

Cheverud JM y Midkiff JE (1992). Effects of fronto-occipital cranial reshaping on mandibular form. Vol. 87, No. 1: 167-171.

Cid R y Torres L (1999). Los entierros del occidente de la ciudad. En: *Prácticas funerarias en la ciudad de los dioses. Los entierros humanos de la antigua Teotihuacan*. IIA-DGAPA-UNAM. Manzanilla L y Serrano C. (eds.) Mexico DF pp. 219-246.

Civera M (1993). Análisis osteológico de los entierros de Ozttoyahualco 15B:N6W3. en: *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Ozttoyahualco*. Manzanilla (ed.) Capítulo 16. II: Los estudios específicos, IIA-UNAM. Pp 832-859.

\_\_\_\_\_ 1997. La Población prehispánica de Teotihuacan a través de sus entierros. En: Villanueva, Maria y Cárdenas, Eyra (Eds.) *Estudios de Antropología Biológica VI*: 309-321. IIA-UNAM. México DF 362 pp.

Cole TM III (1996). Historical note: Early anthropological contributions to Geometrics Morphometrics. *Am J Phys Anthropol*. Vol. 101: 291-296.

Comas J (1960). Datos para la historia de la deformación craneal en México. *Historia Mexicana* No. 36:509-520. México.

\_\_\_\_\_ 1966. *Manual de Antropología Física*. Universidad Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas, Sección de Antropología, México. 710 pp.

Contreras MR, Luna VI, Morrone JJ (2001). *Conceptos Biogeográficos*. Elementos (revista trimestral) No. 41 Vol 8. Disponible en: [http://zoo.bio.ufpr.br/diptera/bz023/conceitos\\_biogeograficos.htm](http://zoo.bio.ufpr.br/diptera/bz023/conceitos_biogeograficos.htm)

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

Corruccini R (1987). Shape in morphometrics: comparative analyses. *Am J Phys Anthropol* 73:289–303.

Cramon-Taubadel N, Fraizer BC y Lahr M (2007). The problem of assessing landmarks error in geometric morphometrics: theory, methods and modifications. *Am J Phys Anthropol*. Vol.134:24-35.

Crawford MH (1998). *The origins of Native Americans. Evidence from anthropological genetics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Croizat L (1952). *Manual of Phytogeography*. Junk The Hague.

- \_\_\_\_\_1958. Panbiogeography Vol. 1 y 2. Publicado por el autor. Caracas.
- \_\_\_\_\_1964. Space, time, form: the biological synthesis. Publicado por el autor. Caracas.
- Curnoe D (2008). Affinities of the Swartkrans early Homo mandibles. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*, Vol. 59 (2):123-147
- Daniel W (2006). Bioestadística. Limusa Wiley. México DF.
- D'Arcy T (1961) On growth and form. Cambridge University Press.
- De Alva F (2002). Historia de la Nación Mexicana. Ed. Dastin. España.
- Dollehay TD (2003). Tracking the first Americans. News and views. Nature Publishing Group. Vol 425(4) pp 23-24.
- Dorus S, Vallender EJ, Evans PD, Anderson JR, Gilbert SL, Mahowald M, Wyckoff, GJ, Malcom CM y Lanh BT (2004) Accelerated evolution of nervous system genes in the origin of Homo sapiens. *Cell* 119: 1027–1040.
- Dressino V y Lamas GS (2003). Teoría craneana funcional de Cornelis Jakob Van Der Klaauw: Una teoría sobre adaptación morfológica. *Episteme*, Porto Alegre, n. 16, p. 99-110.
- Dryden IL y Mardia KV (1992). Size and Shape analysis for landmark data. *Biometrika*. 79; 57-68
- \_\_\_\_\_ (1998). Statistical shape analysis. John Wiley & Sons, Chichester. UK 346 pp.
- Dupré J (1993). El legado de Darwin. Katz. España.
- Edgar HJH y Hunley KL (2009). Race reconciled?: How biological anthropologists view human variation. *Am J Phys Anthropol*. Vol 139 No. 1;1-4.
- Elewa AMT (2004). Morphometrics. applications en Biology and Paleotology. Springer. Germany. 263 pp.
- Engels F (1875). Introducción a la dialéctica de la naturaleza. Marxists Internet Archive. <http://www.marxists.org/espanol/m-e/1870s/75dianatu.htm>
- \_\_\_\_\_ (1878). La revolución de la ciencia de Eugenio Dühring (Anti-Dühring). Marxists Internet Archive. <http://www.marxists.org/espanol/m-e/1870s/anti-duhring/index.htm>
- Espinosa-Organista D, Llorente BJ, Morrone JJ, Flores-Villela O (2005). Introducción al análisis de patrones en biogeografía histórica. UNAM.
- Falconer D y Mackay C (2001). Introducción a la genética cuantitativa. Editorial Acribia, España.
- Falkenburger F (1938). Recherches anthropologiques sur la déformation artificielle du crâne. *Revista de Antropología de la Universidad de Tucumán* 1:1-70.
- Farris JS (1981). Distance data in phylogenetic analysis. En: Funk VA y Brooks DR (eds.) *Advances in Cladistics. Proceedings of the first meeting of the Willi Hennig Society*, New York Botanical Garden. New York.
- Faulhaber J (1962: edt. 1964). La distribución de la estatura del pie y el índice cefálico en Mesoamérica. *Actas y Memorias del XXXV Congreso Internacional de Americanistas*, México, INAH 99-108
- Ferembach SI y Stloukal M (1979). Recommendations for age and sex diagnoses of skeletons. *Journal of Human Evolution* 9: 517-549.
- Fernandez MG (2001). Análisis morfométrico de una colección de cráneos del museo de antropología de la escuela de Medicina Legal. Tesis de Doctorado. Fac de ciencias biológicas. UCM. Madrid

- Feyerabend P (1984). *Contra el método. Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*. Barcelona: Orbis.
- Fink WL (1990). *Data Acquisition for Morphometric Analysis in Systematic Biology*. Chap I. En: Rohlf J y Bookstein FL. *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop. Special Publication # 2*, The University of Michigan, Museum of Zoology. Ann Arbor. P 9-19.
- Fisher R (1930). *The genetical theory of natural selection*. Oxford: Clarendon.
- Fitch WM (1977). On the problem of finding the most parsimonious tree. *The American Naturalist* 111:223-257.
- Fontdevilla A y Moya A (2003). *Evolución. Síntesis*. España.
- Freeman S y Herron J (2002). *Análisis evolutivo*. Pearson Education. Madrid Esp. 720 pp.
- Frieb M (1971). *Readings in Anthropology*. 5ta edición. Vol I. *Physical Anthropology, Linguistics and Archaeology*. Thomas Y Crowell Co. EUA.
- Frieb M y Baylac M. (2003). Exploring artificial cranial deformation using elliptic fourier of procrustes aligned outlines. *Am J Phys Anthropol*. Vol 122: 11-22.
- Fujita H. (2006). The Cape Region. En: Laylander D y Moore JD (Eds). *The Prehistory of Baja California: Advances in the Archaeology of the Forgotten Peninsula*. University Press of Florida. Gainesville. pp. 82-98
- Futuyama DJ (2005). *Evolution*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- García-Cook A (1976). Notas sobre las orejeras de cerámica en Tlaxcala. En: *Comunicaciones* 13:41-48, FAIC, Puebla, México.
- \_\_\_\_\_ (1981). The Historical Importance of Tlaxcala in the Cultural Development of the Central Highlands. En: *Supplement to the Handbook of Middle American Indians*, Vol. 1, Archaeology, editado por Jeremy A. Sabloff, página 244-276. University of Texas Press, Austin.
- García-Cook A y Beatriz Merino CBL (1988). Notas sobre la cerámica prehispánica en Tlaxcala. En: *Ensayos sobre alfarería prehispánica e histórica: Homenaje a Eduardo Noguera*, editado por Mari Carmen Serra Puche y Carlos Navarrete Cáceres, página 275-342. INAH, México
- García-Moll R, Juárez D, Pijoan C, Salas M y Salas M (1991). San Luis Tlatelolco, México. Catálogo de entierros de la temporada IV. *Serie Antropología Física*. INAH CONACULTA. México.
- Garza GIB (1985). *Estudio craneométrico en una muestra de la población del distrito federal (Tlatelolco)*. Tesis de Licenciatura en Antropología Física. ENAH-INAH-SEP. México DF. 146 pp
- Garza GI y Del Olmo JL (1995). Valoración de las técnicas métrica y no métrica en estudios de afinidad biológica en poblaciones del pasado. En: Ramos RM y López S (eds) *Estudios de Antropología Biológica*. Vol.V. UNAM-INAH. México DF. 123-138 pp.
- Genovés S (1962). *Introducción al diagnóstico de la edad y del sexo en restos óseos prehistóricos*. Publicación del Instituto de Historia, Primera Serie, México 75: 1-133 pp.
- \_\_\_\_\_ (1966). La proporcionalidad de los huesos largos y la reconstrucción de la estatura en restos mesoamericanos. En: *Cuadernos del Instituto de Investigaciones Históricas*, UNAM. Serie antropológica No. 19. México.
- \_\_\_\_\_ (1967). Proportionality of the long bones and their relation to stature among Mesoamericans. *Am J Phys Anthropol* 26:67-78.
- Gerste A (1914). *Rapport sur un voyage d'exploration dans la Tarahumara (Mexique Nord-Ouest)*. En: *Memoire della*

Pontificia Academia Romana dei Nuovi Lincei, Series 1, vol. 32, pp. 137-186

Giesen EB, Ding M, Dalstra M y van Eijden TM (2003). Reduced mechanical load decreases the density, stiffness and strength of cancellous bone of the mandibular condyle. *Clin Biomech.* 18:358-363.

Giles E (1970). Discriminant function sexing of the human skeleton. En: Stewart TD (ed.) *Personal identification in mass disaster.* Washington D.C. National Museum of Natural History, 99-107.

Gingerich PD (1983). Rates of evolution: effects of time and temporal scalling. *Science*, 222:159-161.

Gómez-Ocaña J (1913). Elogio de D. Federico Oloriz y Aguilera. *Memorias de la Real Sociedad Española de Medicina Natural*, Tomo VII, Memoria 5, pp 343-454.

González A y Salas M. (1999). Los entierros del centro político-religioso y de la periferia de Teotihuacan de la temporada 1980-1982. En: *Prácticas funerarias en la ciudad de los dioses. Los entierros humanos de la antigua Teotihuacan.* IIA-DGAPA-UNAM. Manzanilla L y Serrano C. (eds.) México DF pp. 219-246

González A y Fuentes D

\_\_\_\_\_. 1982. Informe de labores realizadas por la sección de Antropología Física en el proyecto Arqueológico Teotihuacan. En: Cabrera CR, Rodríguez GI y Morelos GN *Memoria del PAT80-82.* Colección científica 132. Vol I INAH-SEP. Mex DF. 475 pp.

González-José R (2004). *El poblamiento de la Patagonia.* Tesis Doctoral. UB. Barcelona España.

\_\_\_\_\_. (2006). Aproximación a la historia y la estructura de las poblaciones a partir de la variabilidad en la morfología del cráneo. En: *Historia biológica del Hombre en América.* González-Martín A. (ed). Área académica de Historia y Antropología-UAEH. 199 pp.

González -José R, Escapa I, Neves WA, Cúneo Ry Pucciarelli H (2008). Cladistic analysis of continuous modularized traits provides phylogenetic signals in Homo evolution. *Nature.* Vol. 453: 775-779.

González-José, R, González-Martín A, Hernández M, Pucciarelli HM, Sardi M, Rosales A y van der Molen S (2003). Craniometric evidence for Palaeoamerican survival in Baja California. *Nature* 425:62-65.

González-José R, Martínez-Abadías N, González-Martín A, Bautista J, Valdez J, Quinto M, Hernández M (2007). Detection of a population replacement at the Classic-Postclassic transition in Mexico. *Proc. R. Soc. B* 1-8 pp

González-José R, Martínez-Abadías N, González-Martín A, Neves W, Pucciarelli HM y Hernández M (2006). Análisis morfométrico de cuatro cráneos antiguos del valle de México: Peñón III, Metro Balderas, Chimalhuacan y Cueva del Tecolote. *Cuicuilco.* Vol. 13:105-127. No. 37. ENAH. DF.

González-José R, Neves W, Lahr MM, González S, Pucciarelli H, Hernández MM, Correal G (2005). Late Pleistocene/Holocene craniofacial morphology in Mesoamerican Paleoindians: Implications for the peopling of the New World. *Am J Phys Anthropol.* Vol.128(4): 772 – 780.

González-José R, Ramírez-Rozzi F, Sardi M, Martínez-Abadías N, Hernández M y Pucciarelli HM (2005). Functional-cranial approach to the influence of economic strategy on skull morphology. *Am J Phys Anthropol.* 128(4):757-71.

González-Rul F (1988). *La cerámica de Tlatelolco.* Colección científica 172, Serie Arqueología, Colección científica (Instituto Nacional de Antropología e Historia. México DF. 202 p.

Goodall CR (1991). Procrustes methods in the statistical analysis of shape. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B.* 53:285-339.

Gould SJ (2003). *La falsa medida del hombre.* Crítica. Barcelona. 400 pp.

- Gower JC (1975). Generalized Procrustes analysis. *Psychometrika* 40 (1975), pp. 33–51
- Grehan JR (1988). Panbiogeography: Evolution in space and time. *Riv Biol, Biol Forum.* 81;469-498.
- Guillem S (1999). Ofrendas a Ehécatl-Quetzalcóatl en el Templo Mayor de México-Tlatelolco, México, INAH.
- Gustafson G y Koch G (1974). Age estimation up to 16 years of age based on dental development. *OdontologisK Revy* 25: 297-306
- Hallgrímsson B, Brown JJY, Ford-Hutchinson AF, Sheets HD, Zelditch ML y Jirik FR (2006). The brachymorph mouse and the developmental-genetic basis for canalization and morphological integration. *Evolution & Development* 8:1, 61–73.
- Hammer Ø, Harper DAT y Ryan PD (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- Hanihara T, Yoshida K y Ishida H (2008). Craniometric variation of the Ainu: an assessment of differential gene flow from northeast Asia into northern Japan.
- Hanski I (1999). *Metapopulation Ecology* Oxford University Press. 313 pp.
- Hardy GH. (1908). Mendelian proportions in a mixed population. *Science* 28: 49 – 50.
- Harris M, Ross EB y Fontenla FS (1999). Muerte, sexo y fecundidad: La regulación demográfica en las sociedades preindustriales y en desarrollo Alianza Editorial. 246 pp.
- Harvati K (2004). 3-D geometric morphometric analysis of temporal bone landmarks in Neanderthals and modern humans. En: Elewa AMT. *Morphometrics. applications en Biology and Paleontology.* Springer. Germany. 245-258 pp.
- Hedrick PW (2005). *Genetics of populations.* Jones & Bartlett Publishers. 737 pp
- Hernández M, Martínez-Abadías N, González-Martín A, Bautista Martínez J, Gómez-Valdés J, Quinto M, Esparza M y González-José R (2006). Contraste del mito de Aztlán a partir de la morfometría geométrica (EDMA) de series craneales mexicanas. *Revista Española de Antropología Física* 27: 45-57.
- Hernández M, Martínez-Abadías N, González-Martín A, Bautista Martínez J, Gómez-Valdés J, Quinto M, Esparza M & González-José R (2006). Postclassic pre-Hispanic population replacement in the valley of Mexico. A cranial shape geometric morphometric approach. *Humanbiologia Budapestinensis* 30: 55-62.
- Herrera FR (1964). Craneotrigonometría. Departamento de Antropología, Comisión Nacional de la Academia de Ciencias de la República de Cuba. 137 pp Hokkaido. *Am J Phys Anthropol.* 137:283-293
- Hoffmann JM (1979). Age Estimations from Diaphyseal Lengths: Two Months to Twelve Years. En *Journal of Forensic Sciences*, Vol. 24, Nro. 2, April, pp. 461-469.
- \_\_\_\_\_ (1987). Review of "Forensic Osteology: Advances in the Identification of Human Remains". K.J. Reichs, editor y The Human Skeleton in Forensic Medicine por W.M. Krogman and M.Y. Iscan. *American Anthropologist* 89: 729-731.
- Howells WW (1995). Who's who in skulls: ethnic identification of crania from measurements. *Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University, (Cambridge, Mass).* V 82. 108 pp.
- \_\_\_\_\_ (1989). Skull shapes and the map: craniometric analyses in the dispersion of modern Homo. *Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University, Distributed by Harvard University (Cambridge, Mass).* V. 79. 189 pp.
- \_\_\_\_\_ (1973). Cranial variation in man: a study by multivariate analysis of patterns of difference among recent human populations. *Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University (Cambridge, Mass).* V 67. 259 pp.

Hrdlicka A (1914). Anthropological work in Peru in 1913, with notes on the pathology of the ancient Peruvians. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 61: 57-69.

Hunley KL (2009). The global pattern of gene identity variation reveals a history of long-range migrations, bottlenecks, and local mate exchange: implications for biological race. *American journal of physical anthropology.*;139(1):35-46.

Huxley T (1863). *Evidence as to Man's Place in Nature*. Inglaterra. Disponible en: [http://www.gutenberg.org/catalog/world/readfile?fk\\_files=1064206&pageno=1](http://www.gutenberg.org/catalog/world/readfile?fk_files=1064206&pageno=1)

ICZN (2008). <http://www.iczn.org/iczn/index.jsp>

Imbelloni J (1933). Los pueblos deformadores de los Andes. La deformación intencional de la cabeza como arte y como elemento diagnóstico de las culturas. *Ans. Museo.Nac. Hist. Nat. Bs. As.* 27.

Jaén MT (1963). Comparación de los métodos para estimar la capacidad craneana. *Anales del Museo Nacional de México*, N°. 15, págs. 203-227

\_\_\_\_\_. 1974. Algunas características físicas de la población prehispánica de México. En: *Antropología Física: Época Prehispánica*. SEP-INAH. 113-135 pp

Jardine N (1969). The observational and theoretical components of homology: a study based on the morphology of the derma-roofs of rhipidistan fishes. *Biological Journal of Linnean Society*. 1:327-361(3).

Jiménez LJC (1994). Estudio craneométrico de una población colonial que habitó un barrio de la ciudad de México. Tesis de Licenciatura en Antropología Física. ENAH-INAH-SEP. México DF. 177 pp.

Kendall DG (1984). Shape manifolds. Procrustean metrics and complex projective spaces. *Bulletin of the London Mathematical Society*. 16:81-121.

Keymer JE, Marquet PA, Velasco-Hernández JX y Levin SA (2000). Extinction thresholds and metapopulation persistence in dynamic landscapes. *American Naturalist* 156: 478-494.

Kiliaridis S. (1995). Masticatory muscle influence on cranifacial growth. *Act Odontol Scand* 53:196-202

Klaauw CJ van der (1945). Cerebral skull and facial skull. A contribution to the knowledge of skull-structure. *Archives Néerlandaises de Zoologie*,7:16-37,.

\_\_\_\_\_. (1948). Size and position of the functional components of the skull. A contribution to the knowledge of the architecture of the skull, based on data in the literature. *Archives Néerlandaises de Zoologie*, 9:1-176.

Klingenberg CP (2008). MorphoJ. Faculty of Life Sciences, University of Manchester, UK. [http://www.flywings.org.uk/MorphoJ\\_page.htm](http://www.flywings.org.uk/MorphoJ_page.htm)

Klingenberg CP y Monteiro LR (2005). Distances and directions in multidimensional shape spaces: implications for morphometric applications. *Syst. Biol.* 54: 678-688

Knussman R (1967). Penrose-Abstand und Diskriminanzanalyse. *Homo* 18: 134-140.

Kohn LAP, Leigh SR, Jacobs SC y Cheverud JM (1993). Effects of annular cranial vault modification on the cranial base and face. *Am J Phys Anthropol.* Vol. 90. No. 2: 147-168.

Konigsberg LW (2000). Quantitative variation and genetics. En: Stinson S, Bogin B, Huss-Ashmore R, O'Rourke D (eds). *Human Biology: an evolutionary and biocultural perspective*. New York: Wiley-Liss. Pag. 135-162

Konigsberg LW, Kohn LAP y Cheverud JM (1993). Cranial deformation and nonmetric trait variation. *Am J Phys Anthropol.* Vol. 90 No. 1: 35-48.

- Krebs CJ. (1985). *Ecología*. 2ª. ed. Harla. México. 753 pp
- Krogman WM y Iscan MY (1986). *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. Charles C. Thomas Publishers, Springfield.
- Lagunas Z (2003). Reflexiones acerca de la formación de antropólogos físicos en México. *Graffilia*. Estudio. Educación superior. *Revista de la Facultad de Filosofía y Letras* pag. 56-67.
- Landau M (1984). Human evolution as narrative. *Am Scientist*. 72:262–268
- Lanteri AA, Margaría C y Marta CM (2006). Análisis multivariado: técnicas de agrupamientos. Arboles de distancias. En: Lanteri y Cigliano (ets.) *Sistemática Biológica: fundamentos teóricos y ejercitaciones*. EDULP. Colección Naturales. 3ra edición. Capítulo 6. 93-105 pp. Argentina.
- Laylander D (1997). The linguistic prehistory of Baja California. En: *Contributions to the Linguistic Prehistory of Central and Baja California*, edited by Gary S. Breschini and Trudy Haversat, pp. 1-94. Coyote Press, Salinas, California.
- Lele RS y Richtsmeier JT (2001). *An Invariant Approach to Statistical Análisis of Shapes*. Interdisciplinary Statistics. Chapman & Hall/CRS. E. U. A. 284 pp
- León N (1922). La antropología física y la antropología en México notas históricas. *An Mus Nal. Arqueol. Hist. Eto.* 4(1): 99-136  
 \_\_\_\_\_ (1922). Departamento de antropología física (su descripción). Imprenta Museo Nacional. México. 166 p.
- Levin SA (1974). Dispersion and Population Interactions. *The American Naturalist*. 108:960, p.207.  
 \_\_\_\_\_ 1969. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America* 15: 237–240.
- Lewis R (2005). *Human evolution*. 5ta Edición. Blackwell publishing. Reino Unido. 277 pp.
- Lewontin R, Rose S y Kamin L (1984). No está en los genes : racismo, genética e ideología. *Crítica Española*.
- Lieberman DE (1997). Making behavioral and phylogenetic inferences from hominid fossils: considering the developmental influence of mechanical forces. *Ann Rev Anthropol*. 26:185-210
- Lieberman DE, Ross DR y Ravosa M (2000). The primate cranial base: ontogeny, funcion and integration. *Yrbk Phys Anthropol* 43:117-169.
- Lindberg DC (1992). *The beginning of the western science*. The University of Chicago Press. EEUU.
- Long JC (2009). Human DNA sequences: more variation and less race. *Am J Phys Anthropol*. Vol. 139(1):23-34
- López-Alonso S (1991). Nota introductoria acerca de los trabajos de osteología de la colección de Tlatelolco, DF. En: Jaén T, Torres J y Pompa y Padilla, J (coords), *Antropología Física, Anuario, Instituto Nacional de Antropología e Historia*. México. pp. 151-152.
- López-Pérez RA y Becerril-Morales F (2009). Metapoblaciones. *Ciencia y Mar*. Universidad del Mar. Vol 9:29-35
- Lorenzo J (1968). Clima y Agricultura en Teotihuacan. En: Lorenzo, Jose L. (Ed.) *Materiales para la arqueología de Teotihuacan*. No. 17. INAH-SEP. México, D. F. 90 pp.
- Lynch M y Walsh B (1998). *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. Sinauer Ass. EUA. 980 pp.
- MacMahon JA, Phillips DL, Robinson JV y Schimpf DJ (1978). Levels of biological organization: an organism-centered

approach. *BioScience*, 28:13-17.

Mahalanobis PC (1936). On the generalized distance in statistics. *Proc Natl Acad Sci India* 2: 49-55

Malvido E (2006). La población, siglos XVI al XX. Vol. 7 Historia económica de México. UNAM. 248 pp.

Mantly BFJ (1994). *Multivariate Statistical Methods*. London: Chapman and Hall.

Manzanilla L (1994). La zona del Altiplano Central en el Clásico. *Historia Antigua de México*. Porrúa Ed. Vol. 1 159-173. INAH. Mex.

\_\_\_\_\_ (1997). Sector Oeste de Teotihuacan: estudio de un conjunto residencia y rastreo de túneles y cuevas. En: *La Época Clásica: nuevos hallazgos, nuevas ideas*. Cardos MA (coord.) MNA. INAH Seminario de Arqueología AAMNAAC-CONACULTA pp 81- 88.

Manzanilla L, Millones M y Civera M (1999). Los entierros de Oztoyahualco. En: *Prácticas Funerarias en la Ciudad de los Dioses: los enterramientos humanos de la Antigua Teotihuacan*. Manzanilla L y Serrano C (eds.) DGAPA-IIA-UNAM. México DF.

Marroig G y Cheverud JM. (2001). A comparison of phenotypic variation and covariation patterns and the role of phylogeny, ecology and ontogeny during cranial evolution of the New World monkeys. *Evolution* 55:2576-2600.

Martínez-Abadías N (2005). Evaluación Morfo-Geométrica del Mestizaje en el valle central de México. UB. Barcelona Esp. 29 pp.

Martínez-Abadías N, Esparza M, Sjøvold T, González-José R, Mauro S, Hernández M. (2009). Heritability of human cranial dimensions: comparing the evolvability of different cranial regions. *J. Anat.* 214, pp19–35.

Martínez-Abadías N, González-José R, González-Martín A, Van der Molen S, Talavera A, Hernández P y Hernández M (2006). Phenotypic Evolution of Human Craniofacial Morphology after admixture: A geometric morphometrics Approach. *Am J Phys Anthr* 129:387-398

Marx K (1845). Tesis sobre Feuerbach. Marxists Internet Archive. <http://www.marxists.org/espanol/m-e/1840s/45-feuer.htm>

Massey WC (1949). Tribes and languages of Baja California. *Southwestern Journal of Anthropology* 5:272:307.

\_\_\_\_\_ (1955). Culture History in the Cape Region of Baja California, Mexico. Ph.D. dissertation, University of California, Berkeley.

\_\_\_\_\_ (1961). The survival of the dart-thrower on the peninsula of Baja California. *Southwestern Journal of Anthropology* 17:81-93.

Mathes M (1975). Some new observations relative to the indigenous inhabitants of La Paz, Baja California Sur. *Journal of California Anthropology* 2:180-182.

Mathes M (2006). Ethnohistoric Evidence. En: *The Prehistory of Baja California: Advances in the Archaeology of the Forgotten Peninsula*, editado por Don Laylander and Jerry D. Moore, pp. 42-66. University Press of Florida, Gainesville.

Matos ME (1965). La revolución urbana en la cuenca de México, Tesis Lic. en Arqueología y Maestría en Ciencias Antropológicas. IHAN-ENAH-SEP México pp.110

Mayr E (2006). Por qué es única la biología. Katz. España.

\_\_\_\_\_ (2005). Variation (*Foreword*). En: Hallgrímsson B y Hall BK (eds). *Variation*. Elsevire-Academic Press.

Mayr E y Ashlock PD (1991). *Principles of Systematic Zoology*. Mc-Graw-Hill, Inc. New York.

Mays S (1992). Taphonomic factors in human skeletal assemblage. *Circaea* 9:54-58.

- McClung TE (1987). Patrones de subsistencia urbana en Teotihuacan. En: McClung de Tapia E y Rattray ECh (eds) . - Teotihuacan. Nuevos Datos, nuevas síntesis, nuevos problemas: 57-74, IIA-UNAM, México.
- McClung TE y De Tapia H (1996). Un estudio de paisaje y patrón de asentamiento prehispánico en la región de Teotihuacan, México. Investigaciones Geográficas Boletín Especial 4: 13-33, UNAM, México.
- McFadden BJ (1988). Fossil horses from Eohippus (*Hyracotherium*) to *Equus*, 2: rates of dental evolution revisited. Biological Journal of the Linnean Society, 35:37-48.
- McKern TW y Stewart TD (1957). Skeletal age changes in young american males. Headquarters, Quartermaster research and development command. Technical report EP-45. Natick, Mass.
- McNeill RW y Newton GN (1965). Cranial base morphology in association with intentional cranial deformation. Am J Phys Anthropol. Vol. 23, No. 3: 241-254.
- Meindl RSy Lovejoy CO (1985). Ectocranial suture closure: A revised method for the determination of skeletal age at date base on the lateral-anterior sutures. Am J Phys Anthropol. 68:57-66.
- Méndez RI, Namihira GD, Moreno AL, Sosa MC (2006). El protocolo de investigación. México: Trillas.
- Millon R (1966). Extensión y población de la ciudad de Teotihuacan en sus diferentes periodos. XI Mesa Redonda Teotihuacan, México Sociedad Mexicana de Antropología. En: De Teotihuacan a los aztecas: fuentes e interpretación históricas. León-Portilla, M. (1995) Lecturas universitarias No.11 Antología. UNAM pp. 74- 85
- \_\_\_\_\_1973. Urbanización at Teotihuacan. Vol. 1 The Teotihuacan Map. University of Texas Press, Austin
- \_\_\_\_\_1976. Social relations in acient teotihuacan. En: Wolf ER (edt.) The Valley of Mexico: Studies in Pre-Hispanic Ecology and Society. University of Texas Press, Austin. Pp 205-248.
- \_\_\_\_\_1981. Teotihuacan: City,State and Civilization. En: Sabloff J (edt.) supplement to the Handbook of Middle American Indians. Vol.1 Achaeology. University of Texas Press, Austin. pp. 198-243.
- Monrroy WNH (1989). Uso de Flora y Fauna en una unidad habitacional de Teotihuacan. Tesis de licenciatura en Arqueología. INAH-SEP-ENAH México DF. pp. 63-70
- Mooser F (1968). Geología, Naturaleza y Desarrollo del Valle de Teotihuacan. En: Lorenzo JL (edt.) Materiales para la Arqueología de Teotihuacan No. 17 INAH. México DF. Pp. 31-37
- Mooser F, White SE y Lorenzo JL (1956). La Cuenca de México. Consideraciones Geológicas y Arqueológicas. Dirección de Prehistoria, INAH. Publicación No. 2 México D. F.
- Mora C (1993). Antropología física. Museo Nacional de Antropología, Madrid.
- Morrone J J, Espinosa D y Llorente J (1996). Manual de biogeografía histórica, UNAM, México.
- Morton F (1961). Readings in Anthropology. 2da ed. Vol 1- Physical Anthropology. Linguistics and Archeology. Thomas Y. Crowelll Company New York. En: Sturtevant WC. The fields of Anthropology. pag 6-14. En. Beadle GW. Genes, Culture and Man. Pags 27-34.
- Moreno J (2003). Historia de las teorías evolutivas. Capítulo 2. En: Soler M (edt). Evolución. La base de la biología. Proyecto Sur de Ediciones, S.L. España.
- Moragas N (2003). Dinámica del cambio cultural en Teotihuacan durante el Epiclásico. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. España.
- Mosier CI (1939). Determining a simple structure when loadings for certain tests are know. Psychometrika 4:149-162.

- Moss ML (1958). The pathogenesis of artificial cranial deformation. *Am J Phys Anthropol*. Vol. 16, No. 3: 269-286.  
 \_\_\_\_\_ 1961. Rotation of the otic capsule in bipedal rats. *Am J Phys Anthropol* 19:301-307.
- Moss ML y Young RW (1960). A functional approach to craniology. *Am J Phys Anthropol* 18:281-292
- Munizaga R (1987). Deformación craneana intencional en América. *Revista Chilena de Antropología* 6:113-147.
- Nelson G y Platnick NI (1981). *Systematics and biogeography: Cladistics and vicariance*. Columbia University Press, New York.
- Niederberger C (1987). Paléo-paysages et archéologie pré-urbaine du Bassin de Mexico, Centre d'études mexicaines et centraméricaines (CEMCA), coll. Études Mésoaméricaines, 2 vols, México.
- Noguez X (1995). La zona del altiplano central en el posclásico: La etapa tolteca. En: Manzanilla L y Lopez-Lujan L (Edts). *Historia del México Antiguo*. UNAM-INAH-Porrúa. Vol III. pp189-224.
- Novotny V, Yasar I y Loth SR (1993). Morphologic and osteometric assement of age, sex and race from skull. En: Yasar IM y Helmer RR (edt.) *Forensic analysis of the skull. Craniofacial analysis, reconstruction and idetification*. Wiley-Liss. 258 pp.
- O'Higgins P, Chadfield P y Jones N. (2001). Facial growth and the ontogeny of morphological variation within and between the primates *Cebus apella* and *Cercocebus torquatus*. *J Zool Soc Lond* 254:337-357.
- Oloriz F (1884). Recolección de cráneos para estudios antropológicos. *Gaceta Médica de Granada*.  
 \_\_\_\_\_ (1980). *Manual de técnica anatómica*. Madrid.  
 \_\_\_\_\_ (1984). *Distribución geográfica del índice cefálico en España*. Madrid.
- O'Loughlin VD (2004). Effects of different kinds of cranial deformations on the incidence of wormian bones. *Am J Phys Anthropol*. Vol. 123:146-155.  
 \_\_\_\_\_ (1996). Comparative endocranial vascular changes due to craniosynostosis and artificial cranial deformation. *Am J Phys Anthropol*. Vol. 101. No. 3: 369-385.
- Olson EC y Miller RL (1999). *Morphological Integration*. University of Chicago Press. 376 pp
- Ortner DJ (2003). *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. Academic Press.
- Osorio F (2005). Informe general del análisis documental, etnográfico y recorridos por la antigua vicaria colonial de Santa María Texcalac, Tlaxcala (siglos XVII-XVIII). ENAH.
- Ossenberg NS (1970). The influence of artificial cranial deformation on discontinuous morphological traits. *Am J Phys Anthropol*. Vol 33: 357-372.
- Ousley, SD y Jantz, RL (2005). *FORDISC 2.0: Personal Computer Forensic Discriminant Functions*. University of Tennessee, Knoxville, Tennessee. <http://math.mercyhurst.edu/~sousley/Fordisc/>
- Pacho J (1995). ¿Naturalizar la razón? Alcance y límites del Naturalismo Evolucionista. Siglo XXI. Mexico DF.
- Page R (1996). TREEVIEW: An application to display phylogenetic trees on personal computers. *Computer Applications in the Biosciences* 12: 357-358.
- Parsons JR. (1987). El área central de Teotihuacan. Patrones regionales de colonización en el Valle de México. En: Auge y la caída del clásico en México central. Mountjoy JB y Brockington DL (eds.) IIA-UNAM. Serie Antropología: 89. México DF.
- Paschetta C, de Azevedo S, Castillo L, Martínez-Abadías N, Hernández M, Lieberman DE y González-José R (2010). The

influence of masticatory loading on craniofacial morphology: A test case across technological transitions in the Ohio valley. *Am J Phys Anthropol.* Vol 141: 297-314.

Patin E, Laval G, Barreiro LB, Salas A, Semino O (2009) Inferring the Demographic History of African Farmers and Pygmy Hunter–Gatherers Using a Multilocus Resequencing Data Set. *PLoS Genet* 5(4)

Pauer S (1920). Estudio antropométrico de la población del valle de Teotihuacan. *Ethnos.* No. 1:186-192 México DF  
 \_\_\_\_\_ (1922). Condiciones físico-biológicas. En: La población del Valle de Teotihuacan, Gamio M. Secretaria de Agricultura y Fomento No. 2:147-201. México DF.

Pigliucci M y Kaplan J (2006). Making sense of evolution. The conceptual foundations of evolutionary biology. The University of Chicago Press. 300 pp.

Piña-Chan R (1958). Tlatilco. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México

Prigogine I (1993). ¿Tan solo una ilusión?: Una exploración del caos al orden. Tusquets Editores. 322 pp  
 \_\_\_\_\_ (1988). El nacimiento del tiempo. Tusquets. Metatemas No. 23. Barcelona. 98 pp.

Pompa y Padilla A y Serrano E (2001). Los más antiguos mexicanos. *Arqueología mexicana.* Vol 9. pp. 36-41.

Pool CA (2007). *Olmec Archaeology and Early Mesoamerica.* Cambridge: Cambridge University Press.

Pucciarelli H (2008). Evolución y Diversificación Biológica Humana desde la Perspectiva Craneofuncional., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, ENAH, México DF, 124 pp.

Pucciarelli HM, Muñe MC, Oyhenart EE, Orden AB, Villanueva ME, Rodríguez RE y Pons ER (2000). Growth of skeletal components in young squirrel monkey (*Saimiri sciureus boliviensis*): a longitudinal experiment". *Am J Phys Anthropol* 112:57-68.

Quinto-Sánchez M (2007). Morfometría Geométrica Craneofacial: Inferencias en la historia biológica de los pobladores de Teotihuacan. Tesis de Licenciatura. Biología. Lic. en Biología. ICBI-CIB-UAEH.

Rabinovich JE (1980). Introducción a la ecología de poblaciones animales. (3ª. ed.) CECSA. México. 313 pp

Relethford JH (2008). Geostatistics and Spatial Analysis in Biological Anthropology. *Am J Phys Anthropol.* 136:1–10,  
 \_\_\_\_\_2009. Race and global patterns of phenotypic variation. *Am J Phys Anthropol.* Vol. 139.No. 1: 16-22.

Relethford JH y Blangero J (1990). Detection of differential gene flow from patterns of quantitative variation. *Hum. Biol.* 62:5-25.

Relethford JH y Lees FC (1982). The use of quantitative traits in the study of human population structure. *Yearb. Phys. Anthropol.* 25:113-132.

Reyes TGJ y Núñez TG. (1998). Nomenclatura anatómica internacional. Facultad de Medicina. UNAM/Editorial Médica Panamericana 240 pp.

Reyment RA, Blackith RE y Campbell NA (1984). *Multivariate morphometrics.* 2da Edición Academic Press. London 233 pp.

Rice J (1995). *Mathematical Statistics and Data Analysis* (2da ed). Duxbury Press.

Ridley M (2004) *The Agile Gene: How Nature Turns on Nurture.* New York: HarperCollins.

Richerson PJ y Boyd R (2001). *Culture is Part of Human Biology. Why the superorganic concept serves the human*

sciences badly. En: Maasen S and Winterhager B (eds). Science Studies: Probing the Dynamics of Scientific Knowledge, Disponible en: [www.des.ucdavis.edu/faculty/Richerson/CultureIsBiology.pdf](http://www.des.ucdavis.edu/faculty/Richerson/CultureIsBiology.pdf)

Richtsmeier JT, DeLeon VB, Lele SR (2002). The promise of geometric morphometrics. *Yearbook of physical anthropology*. 45: 63-91.

Richtsmeier JT Subhash RL y Cole III TM (2005). Landmark morphometrics and the analysis of variation. En: Hallgrímsson B y Hall BK (eds.). *Variation. a central concept in biology*. Capítulo 4. Elsevier-Academic Press. EEUU. 49-69 pp.

Rivet P. (1909). Recherches anthropologiques sur la Basse-Californie. *Journal de la Société des Américanistes de Paris* 6:147-253.

Roberts C y Manchester K (2005). *The archaeology of Disease*. 3ra edición. Cornell University Press. EEUU. 338 pp.

Rockwood LL (2006). *Introduction to population ecology*. Wiley-Blackwell. pp. 339.

Rodríguez JV (2001). *Los chibchas. Adaptación y diversidad en los Andes Orientales de Colombia*. Colciencias. UNC. Bogota.

Rohlf J y Bookstein F (1990). Data Acquisition. *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*. Cap II. The University of Michigan Museum of Zoology

Rohlf FJ y Slice DE (1990). Extensions of Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Zoology* 39, 40-59.

Romano A (1956). *Los restos óseos humanos de la cueva de La Candelaria, Coahuila*. Craneología. Tesis de Maestría, Escuela Nacional de Antropología e Historia, SEP-INAH, México.

\_\_\_\_\_ (1963). Exploraciones en Tlatilco. *Boletín del INAH*. México DF.14:11-13

\_\_\_\_\_ (2005). *Los restos humanos de la cueva La Candelaria, Coahuila*. Craneología. Colección científica: Serie Antropología Física No. 447. INAH-CONACULTA. 93 pp

Romano A, Bautista J, Jaén T y Gómez-Valdés J (2005). *Catálogo gráfico de los cráneos de la cueva de La Candelaria*. Colección científica: Serie Antropología Física 120 pp.

Rosales-López A y Fujita H (2000). *La Antigua California Prehispanica: la Vida Costera en El Conchalito*. INAH, México.

Ross AH y Williams S (2008). Testing repeatability and error of coordinate landmarks data acquired from crania. *J Forensic Sci*. Vol. 53 No 4. 782-785.

Salzano FM y Bortolini MC (2002). *The evolution and genetics of Latin American populations*. Cambridge: Cambridge University Press.

Sanders WT (1965). *The cultural Ecology of the Teotihuacan Valley*. A preliminary report of the results of the Teotihuacan Valley Project. Department sociology & Anthropology . The Pennsylvania State university.-SEP. EUA. 209 pp.

Sanders WT, Parsons JR y Santley RS (1979). *The Basin of Mexico: Ecological Processes in The Evolution of a Civilization*. Academic Press, New York.

Santley RS, Kerley JM y Kneebone RR (1986). Obsidian working, long-distance exchange and the politico-economic organization of early states in central Mexico. En: Barry LI (edt.). *Economic Aspects of prehispanic Highland Mexico*. Research in economic Anthropology, suplement 2. JAI Press, Greenwich. pp. 101-132

Santley RS y Rose EK (1979). Diet, Nutrition and Population Dynamics in the Basin of Mexico. *World Archaeology* Vol2 No.2:185-207.

- Sardi M (2002). Diferenciación craneofacial en aborígenes de la Patagonia y su relación con grupos americanos y extra-americanos. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata, La Plata.
- Sauerborn R, Morley DC y Bullough HW (1991). Un método estadístico simple para obtener confiabilidad en las mediciones antropométricas. *Salud Pública de México*. Vol. 33 No 2. 107-111.
- Saunders SR. (2008). Juvenile skeletons and growth-related studies. En: Katzenberg MA y Saunders SR (Eds.) *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. 2da edición. Capítulo 4. Wiley. pag. 117-147
- Schlichting CD y Pigliucci M (1998). *Phenotypic Evolution, A Reaction Norm Perspective*, Sinauer Associates, Inc., Publishers Sunderland, Massachusetts, EUA. 400 pp.
- Schwartz JH (1994). *Skeleton Keys. An introduction to human skeletal morphology, development and analysis*. Oxford University Press. 362 pp.
- Semo E (2006). Los orígenes: de los cazadores y recolectoras a las sociedades tributarias, 22000 a.C-1519, Parte 3. Vol. 1 de Historia económica de México. UNAM. 350 pp.
- Serrano SC (1974 1991). *Antropología Física de los entierros del Templo de Quetzalcóatl. Análisis Osteológico. Reporte del Equipo de Antropología Física del Teotihuacan Mapping Project*. Inédito.
- Serrano C y Lagunas Z (1994). Sistema de enterramiento y notas sobre el material osteológico de La Ventilla, Teotihuacan, México. *Anales del INAH*. México 197, 7ª. Época:105-114
- Slice DE (2005). *Modern Morphometrics in Physical Anthropology*. Springer, 383 pp.
- Small C (1996). *The statistical theory of shape*. Springer. EUA.
- Sneath, PHA (1967). Trend-surface analysis of transformation grids. *J. of Zoology*, 151:65-122.
- Sneath PHA y Sokal RR (1973). *Numerical Taxonomy*. Freeman y Co. San Francisco.
- Spence MW (1989). Excavaciones recientes en Tlailotlacan, barrio oaxaqueño de Teotihuacan. *Arqueología* 5, INAH pp. 82-104
- Sokal R y Michener CD (1958). A statistical method for evaluating systematic relationships. *Univ. Kansas Sci. Bull.* 38: 14
- Sokal R y Rohlf J (2003). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. Third edition. Freeman and Company, New York, New York, USA. 887 pp.
- StatSoft (2005). Version 6. StatSoft, Inc. EEUU.
- Stewart TD (1979). *Essentials of forensic anthropology*. Charles C. Thomas Publications, Springfield, Illinois, USA. 300 pp.
- Storey R (1992). *Life and Death in the Acient City of Teotihuacan. A modern paleodemographic synthesis*. The University Of Alabama Press. Tuscaloosa, Londres.
- Sugiyama S (1989). Burial dedicated to the Old Temple of Quetzalcoatl at Teotihuacan". *American Antiquity* 54 (1): 85-106.
- Talavera A, Lara I, Olvera P, García S y Silva M (2006). *Catálogo San Nicolás Tolentino una colección osteológica contemporánea mexicana*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, D.F., 179 pp.

- Testut L (1954). Tratado de anatomía humana. Tomo I. Salvat editores SA. España.
- Todd TW y Lyon DW Jr (1924). Endocranial suture closure: Its process and age relationship. Part I, Adult Males of White Stock. *Am J Phys Anthropol.* 7:3 325-384.
- \_\_\_\_\_ (1925a). Cranial suture closure: Its process and age relationship. Part II, Ectocraneal closure in adult males of white stock. *Am J Phys Anthropol.* 8:1 23-45.
- \_\_\_\_\_ (1925a). Cranial suture closure: Its process and age relationship. Part III, Ectocraneal closure in adult males of negro stock. *Am J Phys Anthropol.* 8:1 47-71.
- \_\_\_\_\_ (1925c). Cranial suture closure: Its process and age relationship. Part IV, Ectocraneal closure in adult males of negro stock. *Am J Phys Anthropol.* 8:2 149-168.
- Torres L (1995). La población Teotihuacana del Sector Oeste: estudio osteológico de materiales procedentes de unidades habitacionales. Tesis. INAH-ENAH-SEP. México DF.
- Townsend RF (1992). *The Aztecs*. London, UK: Thames and Hudson Ltd.
- Ubelaker DH (2003-06). Enterramientos humanos: excavación, análisis e interpretación. *Munibe*. Suplemento 24. Gehigarria. Aranzadi.
- Udvardy MDF (1969). *Dynamic zoogeography*, Van Nostrand Reinhold Company, Nueva York.
- Valadez R. (1993). Macrofósiles faunísticos. En: Manzanilla L (coord.) *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztotuhualco, II, Los estudios específicos*, México, IIA-UNAM: 729-831.
- Villanueva M, Serrano CC y Vera JL (1999). Cien años de antropología física en México: inventario bibliográfico. UNAM 498 pp
- Wagner GP (1989). A comparative study of morphological integration in *Apis mellifera* (Insecta, Hymenoptera). *Z. Zool. Syst. Evol.forsch.* 28:48-61.
- Wang HY, Chien HC, Osada N, Hashimoto K, Sugano S, Gojobori T, Chou C-K, Tsai S-F, Wu, C-I y James SC-K (2007). Rate of evolution in brain-expressed genes in humans and other primates. *PLoS Biol* 5(2).
- Washburn SL y Detwiler SR. (1943). An experimental bearing on the problem of Physical Anthropology. *Am J Phys Anthropol* 1;171-190
- Weaver T (2009). The meaning of Neandertal skeletal morphology. *PNAS*. Vol. 106 No. 38.
- Weiss P (1961). Osteología Cultural. Prácticas cefálicas, Segunda Parte. *Anales de la Facultad de Medicina (Lima)* 44:133-277.
- \_\_\_\_\_ (1962). Tipología de las deformaciones cefálicas de los antiguos peruanos, según la osteología cultural. *Revista del Museo Nacional (Lima)* 31:15-42.
- Weinberg W (1908). (*Original*) Über den Nachweis der Vererbung beim Menschen. *Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg* 64: 368-382.
- Weisstein E (2009). Central Limit Theorem. From MathWorld--A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/CentralLimitTheorem.html>
- White CD (1996). Sutural effect of fronto-occipital cranial modification. *Am J Phys Anthropol.* Vol. 100, No. 3: 397-410.
- White C, Spence M, Longstaff F, Stuart-Williams H y Law K (2002). Geographic identities of the Sacrificial Victims from the Feathered Serpent Pyramid, Teotihuacan: Implications for the Nature for State Power. *Latin American Antiquity*. Vol 13. No. 2. 217-236 pp.

- 
- White TD y Folkens PA (2000). *Human Osteology*. 2da Ed. Academic Press. USA. 563 pp
- Wilder H (1920). *Laboratory manual of anthropometry*. P. Blakiston's Sons & Co., Philadelphia, Pennsylvania, USA. 193 pp.
- Williams-Blangero S y Blangero J (1989). Anthropometric variation and the genetic structure of the Jirels of Nepal. *Hum Biol* 61:1–12.
- Wood B y Lieberman DE (2001) Craniodental variation in *Paranthropus boisei*: a developmental and functional perspective. *Am J Phys Anthropol* 116:13-25
- Wright S (1932). Evolution in mendelian populations. *Genetics* 16:97-159.
- Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL (2004). *Geometric morphometric for biologists: a primer*. London: Academic Press.