



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Dimorfismo sexual craneofacial en población contemporánea colombiana. Análisis morfométrico geométrico 3D

Martha Patricia Rojas Sánchez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Odontología, Maestría en Odontología
Bogotá, D.C., Colombia
Enero- 2015

Dimorfismo sexual craneofacial en población contemporánea colombiana. Análisis morfométrico geométrico 3D

Martha Patricia Rojas Sánchez

Tesis de Maestría presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Odontología

Directora:

Clementina Infante Contreras DD
Profesora Titular Universidad Nacional de Colombia

Codirector:

Joao Víctor Muñoz Durán Biólogo PhD
Profesor Asociado Departamento de Biología
Universidad Nacional de Colombia

Asesor Estadístico

Luis Alberto López Pérez MSc, PhD
Profesor Titular Universidad Nacional de Colombia

Línea de Investigación:

Biometría Craneofacial

Grupo de Investigación Crecimiento y Desarrollo Craneofacial

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Odontología, Maestría en Odontología
Bogotá D.C., Colombia
Enero- 2015

Dedicatoria

*A mis padres que me dan soporte,
A mis hijos que me dan fuerza,
A mi esposo que me da ánimo,
A mi hermano que me da ejemplo,
A Israel que me da sabiduría.*

Agradecimientos

Al terminar esta etapa de mi vida, me vienen a la cabeza infinidad de personas que me prestaron su apoyo incondicional para lograr la meta tan deseada, a algunos podré nombrar, a otros no, pero a todos mis más sinceros agradecimientos.

A la profesora Clementina Infante, al profesor Luis Alberto López y en general a todos los docentes y compañeros de la Maestría en Odontología y a la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de Colombia.

Al profesor Cesar Sanabria y al Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses por permitirme aprender de la muestra.

A las profesoras Paula Gonzales, Valeria Bernal y a la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de la Plata por su invaluable colaboración y su gran generosidad.

A Esneyder, por la ayuda con los análisis estadísticos.

De corazón, un especial agradecimiento al profesor Enrique Mejía, como también al profesor Jaime Silva y a mis colegas de Unicieo.

A mi familia y amigos.

Resumen

La identificación de la variación por dimorfismo sexual en tejido óseo humano y su poder de discriminación son necesarios tanto en el ámbito forense como en ciencias médicas. Tradicionalmente, la estimación del sexo sobre restos se lleva a cabo por valoración de rasgos tanto visual como métricamente, comparándolos con estándares. El objetivo de este estudio fue identificar el grado y patrón de dimorfismo sexual craneofacial y la influencia alométrica, sobre imágenes 3D, de restos óseos humanos contextualizados en una población adulta contemporánea colombiana utilizando la técnica de morfometría geométrica (MG). Sobre scanner de 94 hombres y 54 mujeres provenientes del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF), escogidos por muestreo no probabilístico por conveniencia, se digitalizaron *landmarks* y *semilandmarks* en la región craneofacial, descomponiendo la estructura en 7 rasgos marcadores de dimorfismo. En el proceso de validación del método de medición, se consideraron dos tiempos con el mismo operador evaluando la consistencia en el posicionamiento de *landmarks* tipo I y II ajustados, así como *landmarks* tipo III deslizados y ajustados, por medio de un análisis de varianza ANOVA a dos vías de clasificación sin interacción y coeficiente de correlación intraclase (cci), con un nivel de confianza del 95%, los resultados indicaron que los procedimientos de medición no generaron error observacional significativo. Las diferencias morfológicas producto de dimorfismo fueron estudiadas a través de Análisis Generalizado Procrustes (AGP) con deslizamiento de *semilandmarks* sobre curvas. El Análisis de Componentes Principales (ACP) obtuvo nuevas variables resumiendo la dimensionalidad, así como una descripción visual de los grupos: hombres y mujeres con un evidente solapamiento, un Análisis de Variables Canónicas (CVA) sobre los primeros 6 CP mostró la tendencia natural de agrupamiento de la muestra, un Análisis Discriminante (AD) con validación cruzada determinó un aceptable porcentaje de discriminación y correcta asignación tanto en conformación como en forma. Regresión multivariada entre configuración y tamaño del centroide (TC) permitió observar bajos porcentajes de alometría en todas las estructuras. El grado de dimorfismo sexual de la muestra fue de 5,17%. Se concluye que las diferencias exhibidas por los sexos en el esqueleto craneofacial de

adultos contemporáneos colombianos, son significativas tanto en tamaño, conformación y forma, con un componente alométrico leve pero significativo.

Palabras clave: Antropometría, Dimorfismo sexual, Morfometría, Morfometría Geométrica, Imágenes 3D, Craneofacial, Análisis discriminante.

Abstract

The identification of the variation by sexual dimorphism in the human osseous tissue and its power of discrimination are necessary such in the forensic ambit, as in medical science. Traditionally, the sex estimate about human remains is performed by feature assessment both visually and metrically; comparing them to standards. The aim of this study was to identify degree and pattern of craniofacial sexual dimorphism and allometric influence on 3D images of skeletal remains contextualized in a Colombian contemporary adult population, using geometric morphometric (GM) techniques. On scanner the 94 men and 54 women from the National Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences (NILMFC), chosen by non-probability convenience sampling, were digitalized the landmarks and semilandmarks in the craniofacial region, decompose the structure in 7 traits. The method error was evaluated using repetitive measures design, ANOVA and coefficient of interclass correlation (cci) with a confidence trust level of 95%, results indicated that the measurement procedures did not generate significant observational error. The Morphological differences product of the dimorphism was studied through a Generalized Procrustes Analysis (GPA) with sliding semilandmarks on curves. Principal Component Analysis (PCA) obtained new variables summarizing the dimensionality, and, a visual description of the group: men and women with in a clearly evident overlap, Analysis of Canonical Variables (CVA) on the first 6 CP showed grouping the natural tendency of the sample, the cross-validated Discriminant Analysis (DA) determined that the overall conformation and jaw craniofacial structures were highest percentage of sex discrimination. Analysis of multivariate regression between configuration and centroid size (CZ) allowed the observation of low percentages of allometry in all of the structures. The grade of sexual dimorphism of the sample was 5.17%. We conclude that the differences exhibit by the sexes of the craneofacial skeleton of contemporarian adult, are significant in both size, conformation and form, with a light but meaningful allometric component.

Keywords: Anthropometry, Sexual Dimorphism, Morphometric, Geometric Morphometric, 3D Image, Craniofacial, Discriminant Analysis, Procrustes superimpositions.

Contenido

	Pág.
Introducción.....	1
1. Marco conceptual.....	5
1.1 Colección Ósea Humana de Referencia de Población Colombiana	5
1.2 Dimorfismo Sexual	12
1.3 Morfometría Geométrica.....	20
1.3.1 Curvas- <i>semilandmarks</i> y superficies- <i>semilandmarks</i>	22
1.3.2 Fundamentos de equipos	26
1.3.3 Software	28
2. Objetivos.....	29
2.1 Objetivo general	29
2.2 Objetivos específicos	29
3. Materiales y Métodos	31
3.1 Selección y obtención de la muestra	31
3.2 Obtención de imágenes.....	32
3.3 Selección de variables	32
3.4 Obtención de datos	33
3.5 Determinación del error del método	33
3.6 Métodos Morfométricos.....	37
3.7 Determinación de datos atípicos	40
3.8 Análisis Estadístico	40
3.8.1 Análisis de Componentes Principales (ACP)	40
3.8.2 Grado de Dimorfismo Sexual	44
3.8.3 Métodos Jerárquicos de Análisis Clúster	44
3.8.4 Análisis de Variables Canónicas (AVC)	45
3.8.5 Análisis Discriminante y Validación Cruzada	46
3.8.6 Regresión multivariada: Alometría	46

4. Resultados	49
4.1 Objetivo específico uno.....	65
4.2 Objetivo específico dos.....	75
4.3 Objetivo específico tres.....	77
5. Discusión	79
6. Conclusiones y recomendaciones	89
6.1 Conclusiones	89
6.2 Recomendaciones	90
A. Anexo: Instructivo de selección de la muestra	91
B. Anexo: Protocolo de obtención de imágenes	95
C. Anexo: Certificado de calibración	101
D. Anexo: Definición de variables:	103
E. Anexo: Definición de variables: Landmarks tipo I, II y III	127
F. Anexo: Aspectos éticos	133
G. Anexo: Acuerdo de confidencialidad	137
H. Anexo. Carta aprobación del comité de ética	141
Referencias Bibliográficas	143
Glosario	155

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Distribución de la población de Bogotá, por sexo según el censo de 2005	7
Figura 1-2: Distribución por sexo y edad de la población de Bogotá, según censo de 2005.	7
Figura 1-3: Pertenencia étnica de la población de Bogotá, según censo de 2005	8
Figura 1-4: Distribución de la colección de referencia (COHRPC), según sexo	9
Figura 1-5: Distribución de la colección de referencia (COHRPC), por sexo y edad .	10
Figura 1-6: Manera de muerte en mujeres de la colección de referencia (COHRPC).	11
Figura 1-7: Manera de muerte en hombres de la colección de referencia (COHRPC)	11
Figura 1-8: Deslizamiento de <i>semilandmarks</i> con el criterio de mínima energía de deformación.....	24
Figura 1-9: Deslizamiento de <i>semilandmarks</i> con el criterio de mínima distancia de Procrustes.	25
Figura 3-1: Deslizamiento de <i>semilandmarks</i> , posicionamiento antes y después del deslizamiento.....	39
Figura 3-2: Representación gráfica de la obtención de las Componentes Principales.	42
Figura 3-3: Representación gráfica del cálculo de los puntajes de las nuevas variables	43
Figura 4-1: Esquema que representa el error intraevaluador	53
Figura 4-2: Espacio de la conformación, error intraevaluador	55
Figura 4-3: Variabilidad introducida por el error intraevaluador	55
Figura 4-4: Salida del software MorphoJ para detectar datos atípicos	58
Figura 4-5: Cambio de posición de un individuo, después de la corrección en la digitalización	59
Figura 4-6: Distribución de la muestra por sexo	60
Figura 4-7: Distribución de la muestra por edad y sexo	60
Figura 4-8: Dendograma sobre los individuos de la muestra teniendo en cuenta CP.	61

Figura 4-9:	Boxplot del agrupamiento de los individuos de la muestra a partir del denfograma.....	62
Figura 4-10:	Análisis de Variables Canónicas de la conformación total para determinar la variación morfológica.	63
Figura 4-11:	Boxplot para describir las diferencias en tamaño en la muestra.	65
Figura 4-12:	Patrones de conformación de la región craneofacial total.....	66
Figura 4-13:	Patrones de conformación para la mandíbula.	69
Figura 4-14:	Patrones de conformación para la mastoides.....	70
Figura 4-15:	Patrones de conformación para el malar	71
Figura 4-16:	Patrones de conformación para la órbita	72
Figura 4-17:	Patrones de conformación para la apertura piriforme	73
Figura 4-18:	Patrones de conformación para el occipital	74
Figura 4-19:	Patrones de conformación para la glabella	75
Figura 5-1:	Diferencias visuales entre hombres y mujeres.....	85

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1: Criterios de inclusión y exclusión	31
Tabla 3-2: Interpretación de los valores resultado de la prueba para cci.....	36
Tabla 4-1: Tamaño de muestra según criterios de inclusión y exclusión	49
Tabla 4-2: ANOVA de dos vías para error intraevaluador sobre 52 <i>landmarks</i> tipo I y II	50
Tabla 4-3: Resultados de ANOVA para evaluar el error intraevaluador	56
Tabla 4-4: cci para las 5 primeras CP en la evaluación del error intraoperador.....	56
Tabla 4-5: Función discriminante y chequeo cruzado para la conformación	76
Tabla 4-6: Función discriminante y chequeo cruzado para la forma.....	77
Tabla 4-7: Capacidad predictora por rasgo	78
Tabla 5-1: Tabla comparativa de algunos porcentajes de correcta asignación sexual. ..	87

Lista de abreviaturas

	Término
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas
<i>MG</i>	Morfometría Geométrica
<i>3D</i>	Tres dimensiones
<i>2D</i>	Dos dimensiones
<i>AGP</i>	Análisis Generalizado de Procrustes
<i>ACP</i>	Análisis de componentes principales
<i>AVC</i>	Análisis de variables canónicas
<i>TC</i>	Tamaño del centroide
<i>DS</i>	Dimorfismo sexual
<i>DSS</i>	Dimorfismo sexual en tamaño
<i>FESA</i>	Análisis escalar de elementos finitos
<i>Df</i>	Grados de libertad
<i>INMLCF</i>	Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses
<i>TPS</i>	<i>Thin-plate spline</i> o deformación de placa delgada
<i>IDVA</i>	Visualization and Graphics Research Group
<i>COHRPC</i>	Colección Ósea Humana de Referencia de la Población Colombiana
<i>cci</i>	Coefficiente de correlación intraclase
<i>IDS</i>	Índice de dimorfismo sexual
<i>CP</i>	Componentes principales

Introducción

La variabilidad del patrón morfológico distintivo de las poblaciones, determinada por el acervo genético, está asociada a una historia biológica común donde se comparten procesos evolutivos de mutación, selección natural, deriva genética y flujo genético (1), esta diversidad morfológica puede estar, así, influenciada por condiciones geográficas, históricas, culturales (1,2) y funcionales (3); por lo cual cada población, según su distribución temporal y espacial, podría compartir rasgos que la harían semejante con sus congéneres de la misma población y que lo diferenciarían de otras poblaciones; estas diferencias morfológicas se pueden apreciar a lo largo de toda la estructura de un organismo, sin embargo, uno de los sitios con mayor variabilidad es la región craneofacial (4); dentro de las variables biológicas que determinan la forma craneofacial se encuentra el dimorfismo sexual (5).

La especie humana ha variado su dimorfismo sexual a través del tiempo: en los humanos contemporáneos el índice de dimorfismo sexual es de 4-7% en comparación con los primeros homínidos que era del 66% (2). El dimorfismo sexual tiene diferentes grados y patrones de expresión en diferentes regiones del cuerpo, incluida la región craneofacial, también se presentan diferencias de forma debidas al factor sexo en las distintas etapas del desarrollo ontogénico, manifestándose claramente con la aparición de las características sexuales secundarias (6).

El estudio de los tejidos duros del esqueleto humano, como fuente de información valiosa que refleja procesos ontogénicos, evolutivos, adaptativos etc. provee datos factibles de ser aplicados como referencia en áreas tan disimiles como la identificación de restos en Antropología Forense (7,8), así como, parámetros poblacionales fundamentales en diagnósticos clínicos (1, 9,10).

En el ámbito forense la determinación del sexo es uno de los cuatro pilares del protocolo de identificación de restos humanos (1, 2,11-14), y quizá uno de los más importantes pues los otros parámetros (ancestría, edad y estatura), dependen de él (12-15). Comúnmente, la valoración de sexo se basa en evaluación cualitativa de rasgos morfométricos (morfoescopia), en donde, en un sistema ordinal de grados de expresión, se califica como femenino a individuos gráciles y pequeños, así como, masculino a individuos robustos y grandes (16-18). De otro modo, el análisis cuantitativo (morfometría) realizado sobre medidas lineales de los mismos rasgos, que idealmente deben ser tomados de parámetros de la misma población (8,15), permite realizar análisis estadísticos generando formulas predictivas que permiten determinar el sexo, con algún porcentaje de acierto, en individuos desconocidos o innominados (17,18).

En áreas como las ciencias de la salud, en donde se utilizan variables morfológicas craneofaciales, de tejidos duros y blandos, para guiar procesos diagnósticos, plantear opciones terapéuticas o evaluar resultados clínicos, es tradicional utilizar medidas lineales, ángulos y proporciones, que en general son efectuados sobre imágenes en dos dimensiones (2D) y con el uso de planos de referencia para hacer superposiciones y efectuar comparaciones. Es amplia la literatura que demuestra la imprecisión del método (18-21), que en muchos casos no discrimina por sexo las muestras de referencia y que, como en el caso forense, utiliza estándares internacionales y no referencias población-específicas. Esto genera controversia, ya que las referencias han sido elaboradas, en su mayoría, en sujetos de origen blanco (europeos o norteamericanos), haciendo cuestionable su poder comparativo en poblaciones marcadamente diferentes como la colombiana cuya composición es mestiza (1-3), sometida, además, a diferentes presiones selectivas de índole ambiental y cultural (16).

El Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF) mediante un acuerdo con la Unidad Administrativa del Servicio Público, creó en el 2002 la Colección Ósea Humana de Referencia de Población Colombiana (COHRPC) compuesta por 596 cuerpos contemporáneos contextualizados, con el objetivo de desarrollar referencias para la población contemporánea colombiana. Dentro de dichas referencias, la variabilidad de rasgos morfológicos, generales y en especial craneofaciales, con respecto a variables como forma según sexo, edad, estado de salud – enfermedad, nivel socioeconómico, etc. pueden ser determinadas.

Se han realizado muchos esfuerzos para encontrar marcadores de dimorfismo en poblaciones humanas, tanto en el cráneo como en el esqueleto pos-craneal, siendo los rasgos pélvicos los mejores marcadores con poder discriminante (22), sin embargo, los rasgos craneofaciales han demostrado también poder diagnosticador sexual, lo que constituye un hecho importante debido a que es el cráneo la estructura mejor conservada cuando se trata de identificación de restos humanos (20), y por otro lado son muchas las disciplinas médicas que estudian la forma craneofacial en personas vivas, ya sea en forma directa o sobre imágenes médicas (23-27).

Tanto en estudios sobre cráneos como sobre imágenes médicas 2D o 3D, se han aplicado diferentes métodos morfométricos y aproximaciones estadísticas, sin embargo, con el avance de la tecnología, la cuantificación ha adquirido complejidad y los estudios morfométricos han alcanzado otros contextos utilizando métodos más elaborados como la Morfometría Geométrica en tres dimensiones (MG 3D) (28-31).

La MG permite capturar la conformación (forma pura o "*shape*"(29)) y tamaño de una estructura por separado mediante el Análisis Generalizado de Procrustes, en donde formas biológicas representadas por coordenadas cartesianas de puntos (*landmarks*) que las definen, son trasladadas, escaladas y rotadas con el fin de superponerlas, compararlas y analizarlas estadísticamente, conservando la información geométrica durante todo el análisis y brindando un marco visual de los resultados sobre el mismo contexto de la anatomía craneal (20,28,29,31-38), asimismo, permite estudiar la relación entre estas dos variables (conformación y tamaño), aspecto que la morfometría basada en medidas lineales y angulares no puede. Por último, la MG brinda herramientas para el análisis de forma no solo por medio de *landmarks*, sino también de *semilandmarks* que representan contornos, curvas y superficies de las formas bajo estudio (37,39-41). Es importante además, resaltar que este método elimina los planos de referencia característicos de la morfología tradicional en cuanto a las superposiciones se refiere (21,42).

Actualmente, las imágenes en 3D permiten una visualización en profundidad de un objeto, lo que mejora la comprensión espacial y retira los efectos de coplanaridad típicos de las imágenes 2D (27,43-45) y en el caso de la colección a estudiar, es una forma de preservarla.

En suma, se desconoce el grado y patrones de dimorfismo sexual que presenta la población mestiza contemporánea colombiana, así como, los marcadores de dimorfismo sexual craneofacial y su relación alométrica en análisis basados en imágenes 3D, utilizando MG basada en *landmarks* y *semilandmarks*.

Por lo cual se plantean los siguientes interrogantes: ¿existen diferencias en los patrones de conformación y en tamaño (grado) en rasgos craneofaciales tales como: craneofacial total, contorno de la órbita, contorno de la apertura piriforme, malar y arco cigomático, glabella, mandíbula, apófisis mastoides, curvatura occipital, entre hombres y mujeres de la muestra?, ¿es posible discriminar por sexo, a partir de la conformación de los rasgos, a individuos de sexo desconocido?, ¿son estas diferencias en conformación debidas al factor sexo o al factor tamaño (alometría)?.

1. Marco conceptual

El marco conceptual de este trabajo está dividido en tres secciones: La primera, denominada Colección Ósea Humana Referencia de Población Colombiana en donde se contextualiza la población bajo estudio, según su ancestría, espacialidad y temporalidad; así como, su caracterización en cuanto al marco regional de procedencia. La segunda denominada Dimorfismo sexual, considera los aspectos de la variabilidad craneofacial debidas al factor sexo en el humano. Y la tercera parte, denominada Morfometría Geométrica, da cuenta del método utilizado, esta sección incluye un aparte que trata sobre los equipos y software utilizados.

1.1 Colección Ósea Humana de Referencia de Población Colombiana

Colombia es un país localizado al norte de América del Sur, caracterizado poblacionalmente por ser multiétnico, pluricultural y poligénico (1,46), y genéticamente megadiverso (47), con un marcado mestizaje producto de hibridación de poblaciones indígenas, españolas y africanas (1), las primeras caracterizadas por una variabilidad morfológica determinada en el tipo de poblamiento inicial (48), las dos últimas llegadas al continente en la llamada “cuarta oleada migratoria” (49), lo que determina que la población colombiana sea una de las más diversas en América Latina.

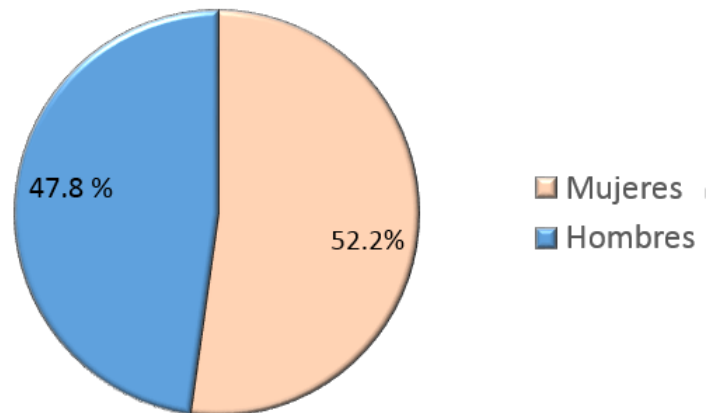
Colombia cuenta con una población de aproximadamente 50 millones de habitantes, de los cuales según el DANE (46), el 86% se auto reconocen de ancestría mestiza y viven principalmente en la áreas urbanas de la zona Andina, 10.5% afrocolombianos habitando en las costas Atlántica y Pacífica y en las islas territoriales y el 3.4% como nativos americanos, concentrada en el oriente del país y en áreas rurales.

Un colombiano promedio (mestizo), según estudios genéticos (50), presenta una mezcla tri-étnica: un 62% de genes caucasoides o europeos, 26 % indígenas o amerindios y 12%

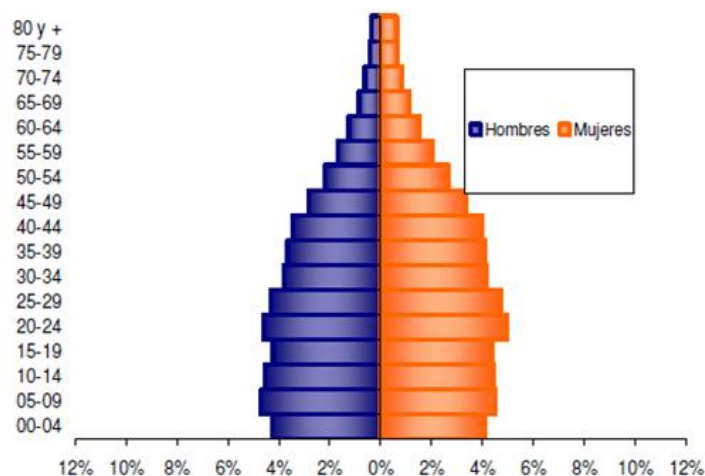
negroides o africanos, proporción que varía según la distribución geográfica (1,2,51), en ese sentido Córdoba et al., 2012 (52) y Rojas et al., 2010 (53), en un análisis de variantes autosómicas y del cromosoma X (biparenteral), mostraron que la población europea y la amerindia conforman el mayor porcentaje del acervo genético actual en la población, mientras que las variantes en el ADNmt y del cromosoma Y (uniparenteral) mostraron un flujo genético asimétrico en el proceso de mezcla, donde predominan los padres europeos y madres amerindias.

Ahora bien, en 1991, Colombia acepta una nueva constitución, vigente hoy en día, caracterizada por ser incluyente, dado que propició un proceso de reafirmación cultural y conciencia de identidad, reconociendo diferentes grupos étnicos, los cuales fueron evaluados en el censo del 2005 teniendo en cuenta como criterio de etnicidad el auto-reconocimiento basado en criterios culturales y fenotípicos. Es así como grupos indígenas, ROM, Afrocolombianos, Raizales de San Andrés y Palanqueros de San Basilio, son reconocidos como grupos minoritarios y reafirmados sus derechos constitucionales (46), en consecuencia, los datos poblacionales suministrados por las entidades oficiales como el DANE, hacen distinciones entre estos grupos étnicos.

Bogotá, capital política y administrativa de Colombia, centro de desarrollo empresarial y académico, está localizada en el centro del país, sobre la cordillera oriental, parte constitutiva de la cordillera de los Andes, en una región denominada Altiplano Cundiboyacense a una altura de 2,625 metros sobre el nivel del mar, con un tamaño aproximado de 33 kilómetros de norte a sur y de 16 kilómetros de oriente a occidente y con una población aproximada para el 2010, de 7 millones de personas, siendo la ciudad más poblada del país, con una densidad poblacional de 4.146 personas por kilómetro cuadrado, y una distribución de 47.8% de hombres y 52.2% de mujeres según el boletín del censo general del DANE realizado en el 2005, como se muestra en la Figura 1-1 (46).

Figura 1-1: Distribución de la población de Bogotá, por sexo según el censo de 2005

La distribución etaria por sexo, según dicho censo, está representada por una forma parecida a un gorro frigio más que a una pirámide como indica la Figura 1-2 (54), en donde la mayor parte de la población, tanto de hombres como de mujeres está concentrada entre los 20 a 59 años de edad, hecho denominado, preponderancia de la población adulta joven y adulta.

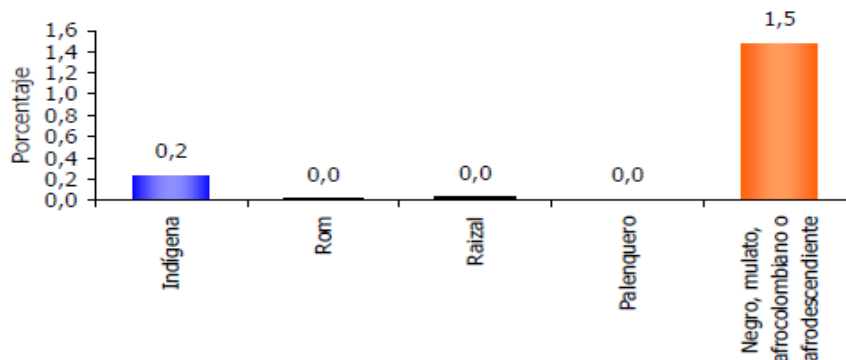
Figura 1-2: Distribución por sexo y edad de la población de Bogotá, según censo de 2005.

La capital reúne personas provenientes de todo el país, que migran internamente creando un flujo interregional como consecuencia de búsqueda de mejores oportunidades de vida

en cuanto a lo laboral o educativo, o como consecuencia de desplazamiento forzado a causa de la violencia, predominando la migración de proximidad, por lo tanto la mayor cantidad de personas que llegan a Bogotá provienen de Cundinamarca y Boyacá (55), más aun, según Rey et al. (56) en un estudio con marcadores STR's D2S1338, D19S433, PENTA D, PENTA E y SE-33 no se encontraron diferencias genéticas significativas entre las poblaciones de Bogotá y Boyacá. Por otro lado, estudios de poblaciones de las ciudades de Cali, Medellín y Bogotá muestran que las distancias genéticas entre ellas son más cortas en comparación con ciudades periféricas, lo cual podría indicar un cambio de modelo migratorio entre grandes ciudades (57).

El distrito capital muestra así una heterogeneidad poblacional, representando la diversidad del país, en donde el 98,3% se auto reconoce como mestizo y el 1,7% como perteneciente a grupos étnicos, dentro de los cuales 0,2% se reconocen como indígenas, y el 1.5% como afroamericanos (46), como lo muestra la Figura 1-3.

Figura 1-3: Pertenencia étnica de la población de Bogotá, según censo de 2005

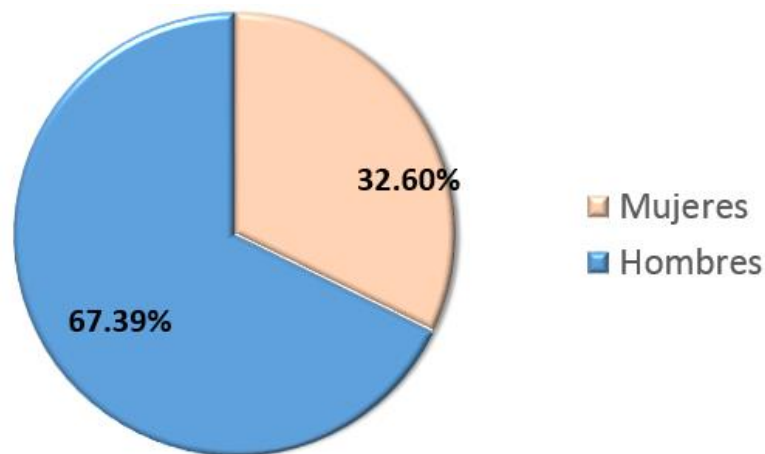


Dado que dicha heterogeneidad poblacional es una limitante para la aplicación de los métodos de estimación de sexo y edad en procesos de identificación, se justifica la necesidad de conformar colecciones de referencia documentadas de carácter regional (10). En Colombia se ha conformado la Colección Ósea Humana de Referencia de Población Colombiana (COHRPC), creada por convenio interadministrativo entre la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos del Distrito (UAESPD), entidad que administra los cementerios públicos de la ciudad de Bogotá y el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses INMLCF. El acuerdo dona los cuerpos no reclamados,

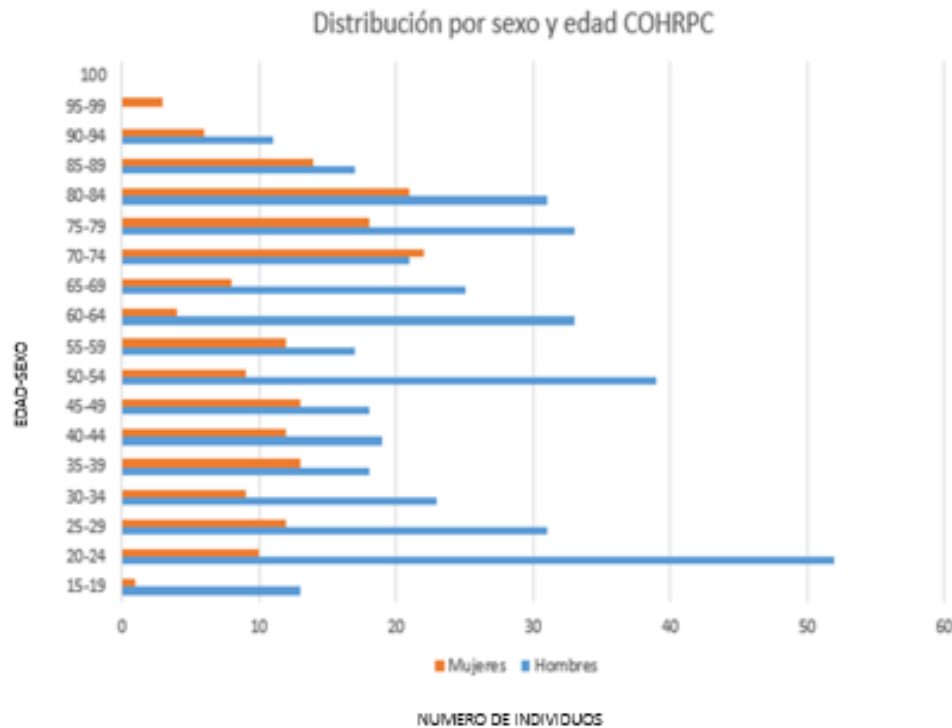
después de transcurrido el lapso estipulado de sepultura luego de la muerte que es de cuatro años, al instituto, con el propósito de conformar una colección que será utilizada con fines investigativos.

La Colección (COHRPC), tuvo como propósito formar una muestra representativa de cadáveres de hombres y mujeres, adultos, colombianos, contemporáneos, plenamente identificados, con información antemortem (fecha y lugar de nacimiento, sexo, estatura), datos de muerte (causa y manera de muerte, certificado médico de defunción o en su defecto protocolo de necropsia médico-legal) y en algunos casos datos postmortem (lugar de la tumba, tiempo transcurrido desde la inhumación hasta la exhumación, protocolo de exhumación) y cuenta con un número de 194 (32.60%) cuerpos de individuos femeninos y 401 (67.39%) de individuos masculinos para un total de 595 cuerpos, como lo muestra la Figura 1-4.

Figura 1-4: Distribución de la colección de referencia (COHRPC), según sexo



La distribución etaria por sexo en la COHRPC se muestra en la Figura 1-5, en donde se aprecia que el mayor componente de la colección está representado por hombres adultos jóvenes, teniendo un muy alto componente en el grupo de 20-24 años, mientras que para las mujeres el mayor componente es en el grupo de 70-74 años.

Figura 1-5: Distribución de la colección de referencia (COHRPC), por sexo y edad

Como el presente trabajo se propuso desarrollar una metodología que permitiera valorar el sexo en rasgos morfológicos craneofaciales de adultos mestizos colombianos y para ello contó con la COHRPC, se hizo necesario reconocer la manera de muerte de los sujetos de la muestra, con el fin de verificar las implicaciones de las condiciones ante y perimortem que pudieron influir en la plasticidad de los rasgos, sin embargo, ya que se desconoce la causa de muerte de algunos sujetos de la colección, la manera de muerte en términos de natural, violenta e indeterminada fue usada para contextualizar esta circunstancia, sin especificar el tipo de muerte violenta. La Figura 1-6 representa la distribución según manera de muerte de mujeres y la Figura 1-7 la de los hombres.

Figura 1-6: Manera de muerte en mujeres de la colección de referencia (COHRPC).

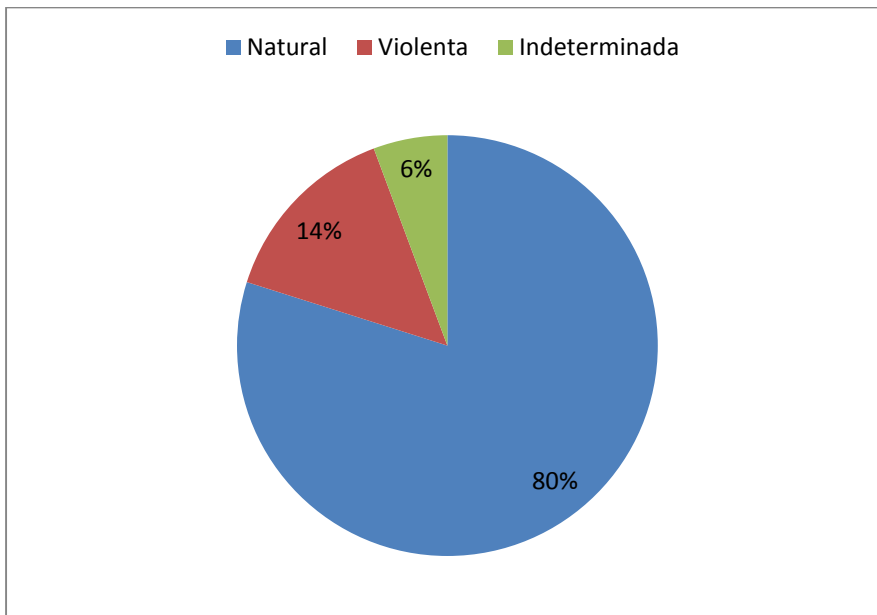
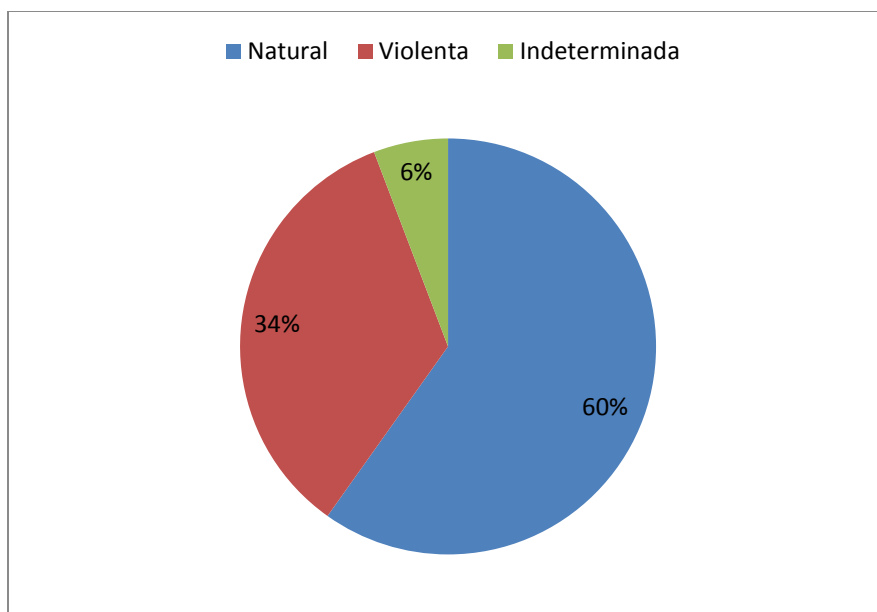


Figura 1-7: Manera de muerte en hombres de la colección de referencia (COHRPC).



Como se mencionó antes, las colecciones óseas contextualizadas de carácter regional son una buena fuente de información en el estudio de variables como el dimorfismo sexual ya que aportan información válida a nivel población-específico, aplicable tanto a contextos forenses, donde se pretende evaluar el sexo de restos óseos no identificados con referencia a estándares obtenidos de restos de individuos de sexo conocido de la misma población; como lo es en contextos médicos, en donde el estudio de tejidos duros en poblaciones vivas sobre imágenes 2 o 3D están condicionados por los efectos nocivos de la radiación ionizante. Sin embargo, dichas colecciones pueden representar sesgadamente una población (7) dado que, los sujetos que las conforman no son escogidos de manera aleatoria y en la mayoría de los casos, son estratos socioeconómicos bajos los que conforman la muestra y no representan adecuadamente los grupos etarios y sexuales.

En el caso de la colección que nos ocupó, provino de individuos no reclamados de cementerios públicos de la ciudad, fallecidos entre el 2004 al 2010, inhumados en bóvedas por un tiempo promedio de 4 años, en donde los individuos masculinos adultos jóvenes y adultos tuvieron el mayor porcentaje, y aunque predomina la manera de muerte natural, un alto número de muertes fue ocasionado de manera violenta, reflejando la realidad de violencia que impera en el país; por el contrario los individuos femeninos adultos mayores, representaron apenas un tercio de la muestra, cuya causa de muerte fue principalmente natural. En una evaluación de las características anatómicas macroscópicas de los sujetos de la colección se pudo establecer que un porcentaje muy reducido presentó evidencia de malformaciones craneales antemortem, del mismo modo se pudo deducir que factores perimortem como la causa de muerte, jugaron un papel importante en la alteración de las características craneales, es el caso de las muertes relacionadas con proyectil de arma de fuego (PAF) impactando en la región craneofacial, sumado a que, los individuos muertos de manera violenta o indeterminada presentaron fractura craneal producto de protocolo de autopsia médico-legal. Por último, alteraciones morfológicas debidas a procesos tafonómicos postdepositacionales pudieron estar presentes aunque en menor grado debido al tipo de inhumación.

1.2 Dimorfismo Sexual

El Dimorfismo sexual (DS) está definido como las diferencias morfológicas, fisiológicas, bioquímicas y de comportamiento de machos y hembras de una misma especie (3) y es

una característica importante de variación interespecífica tanto en poblaciones vivas como en restos humanos (16,58,59).

Se cree que esta variación en el humano, surge por diferencias en las trayectorias ontogénicas, siguiendo uno o varios procesos heterocrónicos sobre trayectorias similares o paralelas (60), o por trayectorias divergentes relacionadas con diferencias en mecanismos alométricos.

En trayectorias ontogénicas paralelas, el desplazamiento de una de ellas, comprometiendo el tiempo de inicio del proceso constituirá diferencias en la morfología facial, presentes ya desde antes del nacimiento o en las primeras etapas del desarrollo ontogénico, mientras que, sobre iguales trayectorias ontogénicas, con diferencia en el tiempo de finalización o en la tasa de desarrollo, constituirá un escalonamiento ontogénico (61-63) afectando al hombre con atributos de robusticidad (64-66). Ahora bien, la divergencia en dichos procesos se puede dar por mecanismos alométricos actuando sobre las trayectorias, lo que constituiría atributos de DS con características, tanto en hombres como en mujeres, cada uno variando de manera independiente (59,60,67-71).

El DS está presente desde el estado embrionario desarrollándose en dos primeras etapas, la **determinación** sexual, establecida genéticamente como una característica discreta, es mujer (xx) u hombre (xy), y la **diferenciación** sexual, eventos posteriores a la determinación en donde se establece el fenotipo masculino o femenino, ya no en forma discreta, sino graduada, es decir como una variable continua, lo que responde a la influencia de factores sistémicos o locales como la producción de hormonas por parte de las gónadas en desarrollo (72).

Aun así, en el periodo prenatal y los primeros meses de vida, que corresponden a una etapa de crecimiento rápido, las características morfológicas entre los dos sexos son muy similares, manteniéndose afines hasta el siguiente periodo de crecimiento rápido que corresponde a la pubertad en donde se desarrollan los caracteres sexuales secundarios que conducen a la madurez reproductiva (73,74), desarrollándose un claro DS en tamaño.

El tiempo de inicio y finalización del empuje puberal parece ser diferente en ambos sexos (63,75), mientras que en mujeres inicia más temprano, cerca de los 13 años (74), en

hombres más tarde, cerca de los 15 años, por lo que el DS es ya claro desde los 13 a 15 años de edad entre los sexos, dependiendo de la región o variable estudiada (76-78).

Al terminar el periodo de la pubertad y alcanzar la plena madurez sexual, sobreviene un largo periodo de estabilidad determinado por la etapa adulta que termina en la senectud, pocos cambios son observables en estas etapas que en general se encaminan a rasgos más masculinos en ambos sexos (79,80), sin embargo, y debido a la plasticidad del DS, efectos de enfermedades carenciales pueden ocasionar pérdida de DS afectando primordialmente al hombre, aunque el estrés nutricional puede afectar a este sexo en cualquier periodo del desarrollo (16).

Desde el punto de vista poblacional a nivel interespecífico (entre especies), estudios comparativos han señalado que la naturaleza y el grado de dimorfismo del humano exhibe diferencias significativas, tanto en tamaño como en forma, al compararlo con otros primates existentes y extintos (70,81,82). La especie humana ha variado, también, su DS a través del tiempo, se estima que en los humanos modernos el índice de DS es de 4-7%, mientras que en los primeros homínidos era del 66% (16,62,82), las diferencias en los patrones ontogénicos distintivos de cada especie (73) han mostrado que en los humanos el periodo de crecimiento es más prolongado, principalmente por una mayor extensión de las fases ontogénicas tempranas con respecto a otras especies relacionadas cercanamente (83).

A nivel intraespecífico o interpoblacional (entre humanos), se ha demostrado que tanto el grado como el patrón de dimorfismo se expresa de manera diferente en poblaciones con diferencias espaciales como temporales, debido a que pueden diferir en aspectos genéticos o están sometidos a distintas presiones selectivas o a distintos factores ambientales (84). El grado de DS a nivel interpoblacional está determinado, también, por la variabilidad a nivel intrasexual o intrapoblacional de la morfología, ya que pequeñas diferencias entre hombres y mujeres con grandes diferencias entre hombres o entre mujeres puede disminuir el nivel de discriminación, en lo que se ha denominado poblaciones sobrelapadas o solapadas (85).

Como se mencionó antes, los huesos del esqueleto facial crecen y se desarrollan por influencias sistémicas y locales, de manera independiente pero integrada respondiendo a la influencia de los tejidos blandos en un marco funcional, más aun, se ha sugerido, que

diferentes componentes del complejo craneofacial pueden seguir procesos ontogénicos diferentes uno del otro (61), conduciendo a diferencias más pronunciadas en regiones de crecimiento tardío como la región facial en comparación con regiones de crecimiento temprano como el neurocráneo (48,86), lo que está acorde con posturas que sostienen que los osteoblastos presentan diferente sensibilidad a hormonas sexuales en diferentes regiones del esqueleto, por lo que el patrón de DS puede ser diferente de una zona a otra (87).

Como resultado de este crecimiento diferencial, el individuo adulto presenta morfologías disimiles en tamaño y forma (88), que se pueden apreciar a lo largo de toda la estructura del organismo, con diferencias en las distintas unidades anatómicas, siendo uno de los sitios con mayor variabilidad, la región craneofacial (89).

El DS en el cráneo es observable tanto, en las diferencias en tamaño (DSS) como en el grado de desarrollo de ciertas estructuras. Dentro de los rasgos del complejo craneofacial que se han sugerido como marcadores de dimorfismo en diversas poblaciones, se destacan el reborde suparorbitario (90), la glabella (91), la mastoides (92,93), la forma de la órbita (22), la forma de las vías aéreas (58), la mandíbula, en especial el cóndilo y el mentón (91,94,95), como también la eversión del reborde mandibular (12), el arco cigomático (89), la cresta occipital, entre otras (82); en este sentido los rasgos dimórficos pueden ser, por un lado, comunes a todas las poblaciones con variación del grado y el patrón de presentación (14,58,65,81,88), o por el otro, ser exclusivos de ciertas poblaciones (89,91); así, la variación en rasgos, patrones o tamaños se constituye en el factor diferenciador poblacional.

Ahora bien, es importante aclarar que la diferencia en patrones y grado de expresión de los marcadores podría estar influenciado por el diseño metodológico de los estudios hasta ahora realizados, de ahí que la procedencia de los sujetos bajo estudio (colecciones contextualizadas o no, origen de los sujetos que componen las colecciones, caracterización espacio- temporal que las poblaciones representan, etc.), el tipo de morfometría usada, variables seleccionadas, dimensionalidad de las imágenes, sensibilidad del instrumento, etc. podrían afectar los resultados (15,62,83).

Uno de los aspectos más controvertidos con respecto al dimorfismo en el humano se vincula con sus causas, es así como gran cantidad de estudios se enfocan en el nivel próximo refiriéndose a la división sexual del trabajo (84), diferencias en los roles reproductivos, diferencias en requerimientos energéticos, factores ecológicos (61), factores adaptativos (94), estrés nutricional (61) y demandas funcionales (8,89), mientras que otros se enfocan en el nivel último estudiando los mecanismo evolutivos en la teoría de la selección sexual (59,96,97).

Al hablar de DS es importante mencionar la selección sexual, que según Darwin (citado por (98)), es un mecanismo para aumentar el éxito reproductivo y que procede en dos vías, la competencia de los machos por acceder a las hembras y la elección por parte de las hembras de los machos más vistosos y llamativos. Los machos con más éxito reproductivo tienen, por lo tanto, dos características: la corpulencia y las características morfológicas vistosas, estas características transmitidas a la descendencia serán más numerosas en la población; las características de los machos no dominantes tenderán a desaparecer pues tienen menos oportunidades de reproducción.

Aun cuando el estudio del DS tiene una gran trayectoria en ámbitos como la antropología biológica o forense basados en técnicas morfoscópicas, usando escalas comparativas de expresión de robustez de rasgos, máximas y mínimas (2,17,80), se estima que si se cuenta con el esqueleto entero y bien conservado de un adulto y se conoce la variabilidad morfológica intragrupal de la población a la que perteneció, el diagnóstico del sexo se podrá realizar correctamente en un 100%; pero si solo se cuenta con los restos del cráneo y no se conoce la variabilidad intragrupal, la capacidad discriminante oscila entre 80 a 90%.

Por otro lado, técnicas morfométricas o cuantitativas utilizando medidas lineales, ángulos o índices (2,9,12,61,66,76,78,90,98-101), generan funciones discriminantes, en donde se evidencia que en el esqueleto craneal, los especímenes masculinos presentan mayor tamaño que los femeninos, y que las poblaciones presentan rasgos marcadores de DS comunes o específicos. No obstante diferencias sutiles de forma independientes del factor tamaño, pueden quedar fuera del alcance de estas técnicas.

Desde este punto de vista, los rasgos diferenciadores del DS en el esqueleto craneofacial, están basados en el grado de robusticidad o tamaño de los caracteres morfológicos (15),

lo que se puede leer como aumento de inserciones musculares, tamaño craneal, índices de relación anchura-longitud o circunferencia- longitud, grosor de las corticales óseas, peso óseo, lo que se traduce como tener grandes superestructuras como borde suparorbitario, cresta occipital, torus occipital, cresta nugal y gran proceso mastoides (63), sin olvidar que dicha robusticidad está también influenciada por la lateralidad.

En los últimos años, gracias a la innovación metodológica de la MG, y principalmente a su poder para detectar diferencias sutiles en cuanto al cambio de forma y conformación (“*shape*” o forma pura) de estructuras morfológicas, se han realizado nuevas aproximaciones a la variabilidad craneofacial debida al DS, con o sin relación a la variabilidad debida al tamaño, ya que el método permite diferenciar entre conformación y tamaño y hacer análisis funcionales sobre estas dos variables (alometría) (62). Las primeras investigaciones con este método se realizaron sobre imágenes 2D (5,13,22,63,68,92,102-104), sobre la conformación del cráneo total (102-104) o proponiendo rasgos como contorno de orbita, flexión de la rama (22) o contorno de rasgos como glabella, malar, arco cigomático, orbita, mastoides (92) y espacio nasofaríngeo (105), tanto con MG basada en *landmarks* y *semilandmarks*; encontrando consistentemente, en el análisis de la conformación total craneal, un claro DS en tamaño pero no en forma.

En este sentido Rosas y Bastir (2002) (102), encontraron efectos del tamaño y sexo sobre la conformación total, además de una relación funcional de estas dos variables (alometría) pero enfocada sobre cambios de proporción del neurocráneo con respecto al viscerocráneo (escuela Huxley-Jolicoeur, 1995, referenciada en (60)), más aun, cada uno de los efectos podría reflejar tendencias actuando por vías iguales o contrarias y a este comportamiento lo denominaron sinergia.

En cuanto al estudio del DS con MG 2D sobre rasgos o marcadores, se evidenció que rasgos como: mastoides, orbita, arco cigomático, cresta nugal etc., son buenos diagnosticadores de DS en diferentes poblaciones y que presentan dimorfismo sexual en tamaño y forma, tanto en patrón como en grado, aunque no es claro para alometría (22,92).

Una innovación reciente del método permite el uso de imágenes 3D y MG basada en *landmarks*, en general con el uso de imágenes de superficie obtenidas de escáneres (94,105,106) o fotogrametría (107).

En el 2007 Franklin et al (77), usaron el método para valorar DS en mandíbulas subadultas sin encontrar diferencias significativas en este rango de edad. En 2008, Kimmerle, Ross y Slice (13), estudiaron el efecto del tamaño y el sexo en la forma craneofacial total, encontrando que el tamaño no tiene un efecto significativo sobre la conformación, mientras que el sexo sí; estos hallazgos contradicen los resultados encontrados por Rosas y Bastir (102) y Green y Curnoe (2009) (15), quienes sostienen que el tamaño es el principal diferenciador sexual, aunque también la forma cambia debido al factor sexo. Sin embargo, en 2010, Bigoni et al (14), al valorar algunos rasgos craneofaciales, no encontraron diferencias significativas determinadas por el sexo, en el cráneo entero, ni tampoco en regiones como la base del cráneo y el neurocráneo; encontrando diferencia significativa, determinada por el sexo, en regiones como curva medio-sagital de la bóveda, cara superior, región orbital, región nasal y región palatina. En 2011 Bastir et al (58), estudiaron el DS sobre las vías aéreas; sus resultados respaldan anteriores estudios que afirman que las vías aéreas presentan un alto DS, común a todas las poblaciones, siendo estas vías, de mayor tamaño en los hombres. En el 2012 Moreddu et al (86), estudiaron el dimorfismo de la apertura piriforme en tomografías, sobre medidas lineares y *landmarks*, sosteniendo que existe un significativo dimorfismo sexual en este rasgo, tanto en medidas lineales como en términos de conformación. En 2012, Velemínská et al. (108) proponen que en mujeres el DS está relacionado más con la conformación, mientras que en hombres lo está con el tamaño en rasgos craneofaciales.

Los métodos en 3D basados en *semilandmarks* se encuentran en desarrollo, debido a que sus procesos matemáticos son más exigentes, sin embargo, ya en 2002 Hennessy (109), utilizó el método para valorar el DS en tejidos blandos de la cara, relacionado con esquizofrenia, en 2004 Shaefer et al (62), realizaron un estudio en primates, incluido el *homo sapiens*, encontrando en esta taxa, variación en conformación y tamaño, con gran componente alométrico y no alométrico, este último atribuido a los “marcadores de testosterona” asociados al atractivo sexual de los machos, aunque también encontraron significativo sobrelapamiento entre sexos. En el 2012 Garvin y Ruff (91) realizan un estudio de DS y ancestros, evaluando el arco ciliar y mentón sobre tejidos duros, encontrando que el arco ciliar está más relacionado a la variabilidad por sexo mientras que el mentón está más relacionado a la variabilidad por filiación racial. En este mismo año, Franklin et al (8), sobre imágenes tomográficas de australianos, evaluaron la forma craneofacial total, notando que en esta población hay gran DS en la conformación craneal, en especial en la

zona de la frente, glabella y mastoides, en donde las mujeres muestran un cráneo más largo y una cara más pequeña en comparación con los hombres.

Como se mencionó anteriormente, la MG presenta herramientas poderosas de cálculo, visualización y análisis para el estudio de rasgos morfométricos en dos de sus cualidades intrínsecas, conformación ("*shape*" o forma pura) y tamaño, sin embargo, surge una pregunta fundamental desde el punto de vista biológico ¿es posible separar completamente la forma del tamaño? Más aun, ¿pueden existir cambios de forma independientes del cambio de tamaño? En este sentido, la alometría se refiere al estudio de "el tamaño y sus consecuencias". Gould 1996 referenciado en (60), da cuenta de la relación de covarianza de la forma y el tamaño, sobre la pregunta de ¿Cuánto del cambio en forma es producto del cambio en una unidad de tamaño, cualquiera que ésta sea? (diferente al enfoque de Huxley, en donde la alometría se refiere a la covariación entre las partes de un organismo, ej. cambio proporcional de la cabeza con respecto al tamaño del cuerpo durante la ontogenia (110)), en consecuencia, al estudiar las formas biológicas en forma y tamaño es importante comprobar si hay presencia (alometría), o no (isometría), de cambio de forma influenciada por el cambio de tamaño.

Los estudios alométricos pueden ser encarados de diversas maneras según el tipo de datos, el nivel de estudio (interespecífico, interpoblacional o intrapoblacional) y la pregunta biológica; en este sentido, la alometría evolutiva compara datos a través de especies, la alometría ontogénica compara trayectorias sobre datos longitudinales entre sexos o entre poblaciones, mientras la alometría estática abarca estudios sobre datos transversales para estudio de la influencia del tamaño sobre la forma en especímenes durante un solo estadio ontogénico (en general en adultos de una población).

La alometría es un tema importante al estudiar DS ya que, sobre la base que los hombres son más grandes y robustos que las mujeres, ese incremento de tamaño puede tener un cambio de forma asociado (62,101), por lo tanto determinar si existen comunes, paralelas o divergentes trayectorias alométricas entre los sexos, y en caso de que se asuman trayectorias comunes determinar los cambios de forma alométrica y los cambios de forma no relacionados con el tamaño, son temas comunes de estudio. Es particularmente interesante dividir los cambios de forma por el componente sexual en cambios alométricos

y no alométricos en estudios comparativos interespecíficos en donde se puede evaluar la evolución en los patrones de DS (60).

1.3 Morfometría Geométrica

La morfometría hace referencia a la descripción y comparación numérica de las formas biológicas. En términos generales la morfometría involucra métodos para la captura de datos que describirán la “forma”, llamados descriptores numéricos y métodos estadísticos para análisis de dichos descriptores. En morfometría existen dos tipos de datos para resumir y cuantificar la variación de un organismo: por un lado, las distancias entre marcas o puntos (como medidas lineales, ángulos, proporciones etc.); el método que basa su análisis en este tipo de datos es conocido como “Morfometría Tradicional o Multivariante”; y, por el otro puntos anatómicos representados por coordenadas en el plano cartesiano en 2 o 3D, conocidos como *landmarks*; este método se ha denominado “Morfometría Geométrica” (20, 21,28,31,33-35,111). El objetivo final de la descripción y la comparación que lleva a cabo cualquier método morfológico es realizar clasificaciones, hacer discriminaciones, o detectar cambios entre individuos de una muestra para luego hacer inferencias las cuales dependerán de la pregunta biológica inicial.

La MG es una técnica morfométrica que reúne conceptos geométricos, matemáticos, biológicos y estadísticos, en espacios no-Euclidianos, pues está en el campo de los espacios Reimannianos multidimensionales y de Kendall. Consiste en el estudio cuantitativo de las estructuras biológicas a partir de coordenadas cartesianas 2D (x, y) o 3D (x, y, z) de puntos tradicionalmente denominados *landmark* (marcas, hitos) o *semilandmark* (contornos, semimarcas o puntos deslizantes). Estos *landmarks* serán la representación geométrica de una estructura, los cuales se pretende que posean homología biológica o estructural (33). Una estructura representada geoméricamente por sus *landmarks* se conoce como “configuración” o “grupo de homologías” (29). La configuración de una estructura biológica es tratada como un todo y será sometida a procesos de translación, rotación, reflexión y también de escala, con el fin de poder hacer comparaciones entre los diferentes individuos de la muestra sin involucrar variables que no tengan que ver con la conformación (forma pura o “*shape*”), como es el caso del tamaño, la posición y la orientación. La información de la configuración será extractada por un procedimiento llamado Superposición de Procrustes, los datos resultantes serán luego

analizados por medio de estadística multivariante: Análisis de Componentes Principales que es un análisis de ordenación al examinar las principales características de la variación en forma, como también de reducción en la “dimensionalidad” de los datos; Análisis de Variables Canónicas que proporciona otro tipo de ordenación, maximizando la separación de los grupos especificados; Análisis Discriminante con Validación Cruzada que nos indica si los grupos pueden ser distinguidos confiablemente; Regresión Multivariada que se refiere a la covariación de la forma con otras variables como tamaño, cambios en el tiempo, clima etc. (31,112-114). La significancia estadística es evaluada por medio de prueba de Permutación.

Como se mencionó anteriormente, los datos utilizados en MG pueden ser en dos o tres dimensiones, dependiendo si las coordenadas de un *landmark* tienen información de posición en 2 o 3 ejes de plano Cartesiano, lo cual a su vez depende del método de registro de las imágenes de los especímenes. Para registros en tres dimensiones, deben ser usados dispositivos especiales. Los métodos de adquisición de imágenes en tres dimensiones serán tratados más adelante en este capítulo.

Una diferencia dada por las dimensiones, está en uno de los parámetros de perturbación, referente a los grados de libertad (df), mientras que en un objeto representado por 3 *landmarks* en dos dimensiones, los grados de libertad serán: sobre escala (1 df), sobre orientación (1 df) y sobre posición (2 df) menos que el número de coordenadas de los *landmarks*, al mismo objeto de tres *landmarks* con tres dimensiones necesitamos retirar: sobre escala (1 df), sobre orientación (3 df) y sobre localización (3 df) menos que el número de coordenadas de los *landmarks* (31,115). Aunque las coordenadas en 2D o 3D son tratadas de igual manera durante todo el proceso de superposición de Procrustes, los resultados pueden mostrar algunas diferencias; es así como, en la función de *Thin-plate spline* (TPS o deformación de placa delgada), que es aplicada sobre cada eje de coordenadas separadamente, las grillas de deformación son menos efectivas en la visualización de deformaciones relativas en análisis 3D, sin embargo, el álgebra de los métodos estadísticos es igual para datos en 2D o 3D (31).

Una ventaja importante del método de MG en 3D sobre el 2D basado en *landmarks*, es que los software utilizados permiten una visión del espécimen en todos los planos, permitiendo rotar la imagen según necesidad, mejorando la posición de los *landmarks* en

las estructuras definidas, lo que no necesariamente significa que sea más sencillo, por el contrario aumenta significativamente la complejidad tanto en la definición como en el mismo posicionamiento de los *landmarks*.

1.3.1 Curvas-*semilandmarks* y superficies-*semilandmarks*

Existen estructuras biológicas que, por su naturaleza, no presentan *landmarks*, por ejemplo, las líneas de inserción muscular, la bóveda craneana o los dientes, en este caso se ha propuesto la MG basada en *semilandmarks*. El concepto de *semilandmark* fue introducido en el “Orange Book” escrito por Bookstein en 1991 para tratar curvas suaves y superficies; este tipo de marca fue primero aplicada en estudios en 2D, pero luego se extendieron a estudios en 3D por Gunz et al. en 2005 (41).

Se entiende por *semilandmarks* un grupo de puntos distribuidos a lo largo de un contorno, curva o superficie, con el fin de representar una estructura en un análisis de MG, estos puntos no representan necesariamente homología biológica, la homología, en este caso está dada por las estructuras que ellos representan, pues poseen correspondencia con las mismas estructuras a través de la muestra, a esto se le ha llamado, homología estructural (37,41).

Cuando se va a realizar un estudio sobre curvas o superficies, por medio de MG en 3D basado en *semilandmarks*, se debe considerar en primer momento el tipo de pregunta biológica, con el fin de determinar si se usarán curvas, contornos o superficies, determinando los “límites” de las estructuras. Es recomendado usar *landmarks*, si los hay, y preferir curvas con *semilandmark* a superficies con *semilandmarks*; su número dependerá de la complejidad de la estructura, pero también de la escala espacial de la variación (38). El aumento del número de marcas es importante en la medida que permite una mejor descripción de la morfología estudiada, pero con el consiguiente aumento del número de variables sobre el número de especímenes; el número de variables en relación con el número de individuos tiende a ser grande en los análisis MG ya que hay tres coordenadas por *landmark* o *semilandmark*, esto significa, inevitablemente, que la precisión de clasificación puede verse afectada debido a la dimensionalidad (68), esta redundancia en la información puede ser manejada con métodos para reducir la dimensionalidad como ACP (Análisis de Componentes Principales).

En el protocolo de curvas con *semilandmarks* o superficies con *semilandmarks*, el primer paso es determinar un individuo cualquiera de la muestra que servirá de “modelo” para fabricar una “plantilla”, lo que significa que será el molde para la colocación de los *semilandmarks* en los demás individuos de la muestra, este individuo es denominado Atlas (Landmark Editor, IDAV, universidad de California®) (116). Una vez construido el Atlas, se debe identificar la mayor cantidad de *landmarks* como la estructura lo permita, preferiblemente iniciando y finalizado las curvas, colocando un número de *semilandmarks* sobre la estructura que deberá ser igual en todos los especímenes de la muestra en una localización aproximada e igualmente espaciada, creando un contorno para curvas y una malla para superficies, esta curva o malla será usada como plantilla al ser proyectada sobre la superficie de los demás individuos de la muestra (115,117).

En este punto es importante aclarar que el criterio de equidistancia de los *semilandmarks* sobre curvas o superficies, no producirá homología, utilizándose solo para determinar una correspondencia entre puntos; de todos modos es necesario remover la variabilidad que aumenta artificialmente la energía de deformación producto de esa arbitraria equidistancia (41) y que no tiene un significado biológico. Para minimizar la energía de deformación, producto de la equidistancia de los puntos sobre curvas y superficies, es necesario “deslizar” los *semilandmarks* lo que significa ajustarlos a puntos previamente definidos (Atlas) por medio de algoritmos matemáticos, en pasos que se explican a continuación.

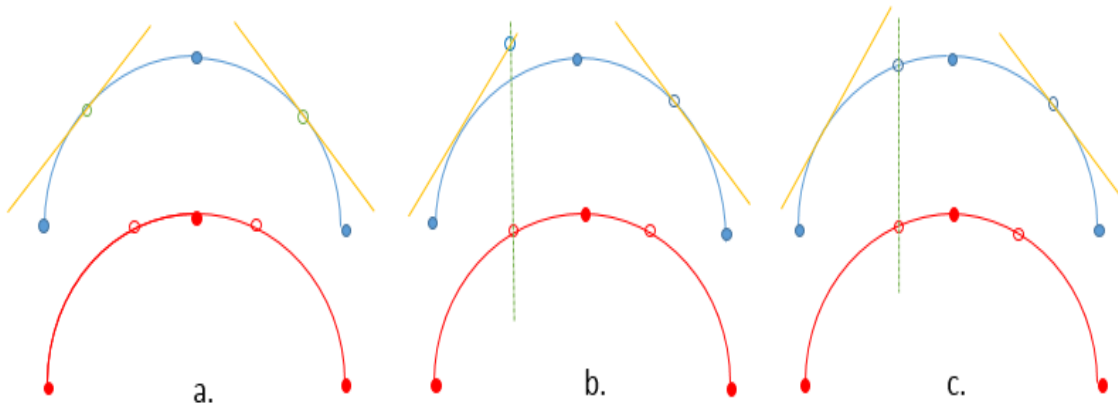
En el deslizamiento, primero se produce un proceso iterativo que permite una optimización (adecuado ajuste) de la posición de los *semilandmarks* con respecto a la plantilla arbitraria del Atlas, luego, una superposición de las coordenadas de puntos correspondientes permitirá obtener una media de la forma (promedio de las coordenadas denominada media de la forma de Procrustes); un segundo deslizamiento también por un proceso iterado, será realizado entre cada coordenada deslizada y el promedio de la forma de la muestra entera (37), lo que significa que se realizan dos deslizamientos, uno con respecto al Atlas y otro con respecto a la forma consenso o media de la forma.

Muchos criterios han sido propuestos para deslizar los puntos sobre contornos, curvas o superficies, pero los dos más ampliamente usados son: la mínima energía de deformación propuesta por Bookstein (41) o la mínima distancia de Procrustes (31). De acuerdo al primer criterio, los *semilandmark* a lo largo de la curva o superficie de cada espécimen,

serán deslizados en una dirección paralela al contorno hasta que sea mínima la energía de deformación necesaria para emparejar dos puntos, como se muestra en la Figura 1-8. El segundo criterio o mínima distancia de Procrustes, remueve las diferencias a lo largo de la curva o superficie, entre la configuración de referencia y el espécimen, estimando la mínima diferencia entre los dos *semilandmarks*. En el caso de deslizamiento en las curvas, los planos tangentes serán calculados con referencia a los puntos vecinos, de ahí la importancia de tener *landmarks* sobre esas curvas, en el caso de superficies los planos tangentes serán calculados sobre los dos primeros eigenvectores de la matriz de covarianza y cinco puntos adyacentes sobre la superficie.

Después de los pasos de deslizamiento, los *semilandmarks* son nuevamente proyectados sobre la superficie, para asegurar que mantengan la forma que representan, este paso es necesario dependiendo de la complejidad de la curva o superficie, el número de *semilandmarks* y la cantidad de deslizamiento (37).

Figura 1-8: Deslizamiento de *semilandmarks* con el criterio de mínima energía de deformación



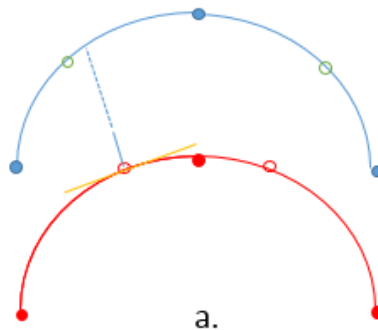
En la Figura 1-8 se muestra el deslizamiento de semilandmarks a lo largo de tangentes sobre curvas con el criterio de mínima energía de deformación: la curva azul corresponde a la forma *target*, es decir la curva descrita por puntos sujetos de deslizamiento, la figura roja corresponde a la forma Atlas, los puntos sólidos corresponden a *landmarks* o *semilandmarks* vecinos al punto que será deslizado, los puntos huecos corresponden a los semilandmarks que serán deslizados, las líneas amarillas representan los planos tangentes, que serán los planos guía de deslizamiento y las líneas verdes punteadas representan la guía de colocación del *semilandmarks* sobre la superficie o curva definida en el estudio luego del deslizamiento. Modificado de (41).

En resumen, visto en la Figura 1-8, los pasos en un deslizamiento de *semilandmark* según el criterio de mínima energía de deformación son:

1. Cálculo de la línea tangente a la curva de cada *semilandmark* (línea amarilla en a.)
2. Deslizamiento de los *semilandmarks* de cada uno de los especímenes de la muestra (puntos huecos en la figura a.), sobre el plano tangente (amarillo) hasta su ajuste con el *semilandmark* correspondiente en el Atlas (figura roja), el ajuste es determinado por el plano verde punteado (Figura b.)
3. Cálculo del promedio o media de la forma de Procrustes de todos los especímenes.
4. Cálculo de nuevas líneas tangentes de los *semilandmarks*.
5. Nuevo deslizamiento de los *semilandmarks*, esta vez con respecto a la media de la forma, sobre los nuevos planos tangentes.
6. Proyección de los *semilandmarks*, deslizados sobre los planos tangentes, sobre la superficie que representan para asegurar la homología estructural (Figura c.)

Cuando se utiliza el criterio de la mínima distancia de Procrustes, los *semilandmarks* son deslizados sobre la superficie, hasta alcanzar la línea perpendicular al plano tangente del *semilandmarks* en la configuración de referencia o Atlas, como se representa en la Figura 1-9.

Figura 1-9: Deslizamiento de *semilandmarks* con el criterio de mínima distancia de Procrustes.



La Figura 1-9, muestra la forma Atlas en rojo, con un *semilandmark* (punto hueco), con el plano tangente al mismo en amarillo, y una perpendicular al plano tangente que es el plano guía de deslizamiento del *semilandmark* desde la forma *target*.

Un punto importante sobre los criterios de deslizamiento es que con el criterio de mínima energía de deformación los *semilandmarks* se deslizan juntos y son influenciados por los *landmarks* anatómicos cercanos, mientras que en el criterio de mínima distancia de Procrustes cada *semilandmark* se desliza separadamente y el deslizamiento no es influenciado por otros *landmarks* y *semilandmarks*. Ambos métodos producen similares resultados si la variación de la forma es pequeña y si los *semilandmarks* no necesitan deslizarse mucho, de lo contrario parece tener mejores resultados el método de mínima energía de deformación (31,37).

Una vez los *semilandmarks* son deslizados, ellos serán tratados como *landmarks*, y sometidos a métodos de superposición, como Análisis Generalizados de Procrustes, sin embargo, las interpretaciones biológicas deben ser cuidadosas con respecto a los resultados de estudios con *semilandmarks*.

En la actualidad avances en MG y *software* permiten aproximarse a estudios sobre simetría (31,112), emparejamiento de superficies articulares (117), modularidad e integración (112,118), reconstrucción de datos sobre estructuras parcialmente perdidas, estudios alométricos (110) y Análisis de trayectorias Ontogénicas (67).

1.3.2 Fundamentos de equipos

Los datos en tres dimensiones pueden ser obtenidos de dos maneras básicamente: el primer método es la adquisición de coordenadas (x, y, z) directamente del dispositivo, sin obtención de imágenes del espécimen, los equipos que producen esta clase de datos son llamados digitalizadores 3D (24,106). La segunda forma es por medio de dispositivos que producen imágenes a partir de coordenadas 3D del espécimen, dentro de este grupo se pueden considerar dos tipos de tecnología: la primera llamada “Escáner penetrante” es aquella que presenta imágenes internas y externas del espécimen, obteniendo, por medio de rayos x o resonancia magnética, imágenes de cortes o secciones en 2 dimensiones, que luego son reconstruidas en imágenes de 3 dimensiones por medio de *software*. El segundo tipo se denomina “Escáner de superficie” que también reconstruye imágenes en 3D pero solo de la superficie del espécimen (115).

Escáner de superficie: Estos dispositivos están disponibles en el mercado en dos formas: laser o luz estructurada. Los escáner laser tienen el objetivo de calcular coordenadas (x, y, z) de un objeto por triangulación. Un dispositivo laser emite un rayo de luz sobre el

objeto, la luz es reflejada y capturada por sensores que geoméricamente calculan la profundidad de la superficie donde impactó el rayo. En el escáner de largo alcance, las distancias se calculan por medio de tiempo de vuelo, que es el tiempo requerido por la luz reflejada para retornar al sensor. Cuando hay un barrido con el dispositivo de luz, se crea una nube de puntos, estos puntos son entonces filtrados y convertidos en enmallados triangulares que serán mapas de profundidades y luego será reconstruido como una superficie por medio de software; idealmente el escáner hará múltiples tomas y en múltiples direcciones para obtener una adecuada imagen de superficie.

Los escáneres de luz estructurada son dispositivos que capturan la forma de un espécimen por medio de la proyección de un patrón de luz y el registro de la deformación del patrón producto de la forma superficial del objeto, en un sistema de adquisición (119).

Los escáneres son caracterizados por su resolución, precisión, densidad de punto, profundidad del campo y campo de visión. La resolución se refiere al número de puntos o píxeles por pulgada y es valorada sobre los planos (x , y), esto puede ser afectado por la amplitud del rayo, la distancia del objeto, la longitud focal y la resolución de las cámaras-sensor. La precisión es el error en la dirección (z), que es medida por la desviación estándar de la diferencia entre la distancia medida a un objeto y la actual distancia de él, la precisión de un escáner es afectada por la óptica. La densidad del punto se refiere a la distancia entre puntos cercanos. Profundidad de campo es el rango de distancia en donde el escáner puede obtener una imagen precisa, fuera de este rango las imágenes pueden aparecer borrosas. Por último el campo de visión determina el tamaño del espécimen que puede ser escaneado (31).

La precisión del escaneo está determinada por la calibración del equipo. Para los equipos ópticos la calibración se basa en medir un patrón previamente certificado por un laboratorio de metrología buscando tener trazabilidad; hay normas alrededor de este tema, siendo la VDI/VDE 2634 parte 3; Verein Deutscher Ingenieure (VDI) y Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDI) las que rigen el equipo usado (ATOS Compact Scan de GOM) por ser de procedencia Aleman. Para cumplir con las exigencias de la norma VDI, se realiza una prueba de aceptación con un juego de lentes de referencia MV300 (S/N 120467) y una capacidad de un volumen de medición por toma de 300x230x230mm, donde el resultado muestra una desviación de 0.003 mm versus el diámetro de 2 esferas de 25mm

y 0.006 mm versus la distancia entre las esferas de 160 mm, de un patrón certificado por el Laboratorio Carl Zeiss en Alemania. Esto certifica la precisión del equipo y las medidas que este arroja en las mallas 3D.

1.3.3 Software

Los *software* utilizados en este estudio se describen a continuación.

Gom profesional: *Software* que controla y procesa los datos obtenidos por el *scanner* ATOS 3D digitalizer®, reconstruyendo datos de superficie en 3D (120).

Landmark Editor: Versión 3.0.0.6. Desarrollado por científicos del Instituto de Análisis de datos y visualización (IDAV) y la Universidad de California Davis en colaboración con el Museo Americano de Historia Natural. El *software* fue desarrollado como herramienta para la fácil, exacta y precisa colocación de *landmark* y *semilandmark* sobre superficies complejas en imágenes 3D típicamente obtenidas de escáneres, con el propósito de registrar, alinear y deformar superficies utilizadas en estudios morfométricos geométricos (116). En este estudio se utilizó este *software* para colocación de *landmarks* y *semilandmarks* sobre curvas suaves describiendo la forma craneofacial, obteniendo las matrices crudas de las coordenadas de cada punto en tres dimensiones; como también para realizar deformaciones.

R: es un entorno de programación para manipulación y análisis de datos, cálculos y gráficos; se utilizó la versión 3.0.1. Este *software* se usó para los cálculos estadísticos como ANOVA, coeficiente de correlación intraclase (CCI) con el uso del paquete, *spy* y superposición generalizada de Procrustes con el uso del paquete *Geomorph* (121-123).

MorphoJ: diseñado por el Dr. Klingenberg, es un *software* útil para estudios con morfometría geométrica basado en *landmarks* 2 y 3D, el *software* realiza los principales métodos morfométrico como Análisis Generalizado de Procrustes, Análisis de Componentes Principales, Análisis de Variables Canónicas y Función discriminante entre otras (112).

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Identificar el grado y patrón de dimorfismo sexual craneofacial, en una población adulta contemporánea colombiana, en imágenes 3D utilizando MG basada en *landmarks* y *semilandmarks*.

2.2 Objetivos específicos

1. Determinar las diferencias en grado y patrón en la conformación total y patrón en 7 rasgos faciales, relacionadas con el factor sexo.
2. Determinar la capacidad del modelo para discriminar por rasgos, el sexo de nuevos individuos por forma.
3. Establecer la relación entre forma y el tamaño de los rasgos (alometría).

3. Materiales y Métodos

3.1 Selección y obtención de la muestra

La población de estudio estuvo determinada por adultos contemporáneos colombianos. Fueron examinados cráneos pertenecientes a cuerpos de la Colección Ósea Humana de Referencia del Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses (COHRPC) y se realizó muestreo no probabilístico por conveniencia, basado en criterios de inclusión y exclusión.

Tabla 3-1: Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Individuos pertenecientes a la COHRPC	Cuerpos que por su identificación no sean colombianos.
Mayores de 19 años o menores de 100 años	Cráneos incompletos o en mal estado de conservación, incluidos mandíbula y dientes. - Índice de completitud diferente de 5 - Índice de deterioro diferente de 1 - Número de dientes que no permita oclusión estable
Que presenten identificación completa con sexo y edad	Con evidencias de malformaciones o alteraciones craneofaciales premortem, perimortem o postmortem.

Para evaluar el estado de conservación se utilizó el porcentaje de completitud modificado Gordon y Buikstra, 1981 (124), que evalúa la cantidad de tejido óseo presente.

Para evaluar el deterioro óseo se utilizó el índice de deterioro modificado de Gordon y Buikstra, 1981 (124), que evalúa la alteración macroscópica de la estructura trabecular y cortical del elemento óseo.

Ver Instructivo de selección de la muestra y criterios de conservación. Anexo A.

3.2 Obtención de imágenes

Para el estudio se utilizaron imágenes de superficie tomadas con un escáner de luz estructurada azul (ATOS *compact Scan*, GOM Germany®), con píxeles de cámara: 2x2000000, precisión: 10 µm, densidad de puntos: 0.124 mm, profundidad de campo (distancia de trabajo) 230 mm, campo de visión: 300 x 230 x 230 mm, distancia del objeto 590 mm, longitud focal (cámara) 17 mm, longitud focal (proyector) 12mm, resolución de las cámaras-sensor del scanner 5 megapíxeles.

Como se mencionó anteriormente, la precisión del escaneo estuvo determinada por la calibración del equipo; por ser un equipo óptico dicha calibración se basó en medir un patrón previamente certificado por un laboratorio de metrología, buscando tener trazabilidad. Las normas alemanas que rigen y cumple este equipo (por ser el equipo de origen alemán) son: *Verein Deutscher Ingenieure VDI* y *Verban der Elektrotechnik Elektronik informationstechnik VDE 2634*, parte 3.

Ver Protocolo de obtención de imágenes. Anexo B.

Ver Certificado de calibración. Anexo C.

3.3 Selección de variables

Para elegir el conjunto de variables, se tuvieron en cuenta criterios de homología, consistencia en la posición relativa, adecuada cobertura de la forma y tipo de *landmark* (Repetibilidad) (125), por lo cual se determinaron puntos según la clasificación de Bookstein (citado por Zelditch en (125)), **tipo I** o *landmarks* homólogos, cuya localización y posicionamiento es fácil, en general en la convergencia de dos o más estructuras, con mayor precisión en todos los ejes de coordenadas, correspondiendo a homologías biológicas con significado estructural y funcional, *landmark tipo II* cuya homología es posicional y no necesariamente biológica, con criterios de localización operacional, que en general corresponde a máximas amplitudes, ángulos o proyecciones, presentando menos precisión en alguna de las dimensiones, los *landmark tipo III* son puntos con una difícil localización dado que están sobre amplias curvas, pueden presentar error en dos dimensiones de sus coordenadas, estos son denominados también *semilandmarks* y se utilizaron para describir curvas suaves sobre superficies, el error de localización de dichos

puntos fue manejado por medio de deslizamientos, procedimiento ya explicado anteriormente.

Para la selección de variables, se identificaron y definieron 163 *landmarks* sobre la estructura del cráneo, cara y mandíbula; la estructura total se fue dividiendo en zonas, hasta que siete estructuras fueron al final delimitadas: contorno de la órbita, contorno de la apertura piriforme, malar y arco cigomático, mandíbula, apófisis mastoides, curvatura occipital y glabella. La localización de los *landmarks* constituye un mapa espacial de la localización de las características que estos puntos representan.

Se eligió arbitrariamente el lado izquierdo de la cara para los análisis, en caso de presentarse ausencia o daño estructural del lado izquierdo se tomó el lado derecho.

Definición de variables: *Landmarks* tipo I y II. Anexo D.

Definición de variables: *Landmarks* tipo I, II y III. Anexo E.

3.4 Obtención de datos

Una vez definidas las variables, como *landmarks* o *semilandmarks* y para obtener datos listos para análisis estadístico, las imágenes obtenidas del escáner fueron procesadas en el software GOM *Inspect Profesional (Optical Measuring Techniques GOM, Germany®* (120), las imágenes reconstruidas fueron cargadas en el software Landmark Editor versión 3.0.0.6 (*Institute the Data Analysis and Visualizations®* (116)) para digitalizar *landmarks* y *semilandmarks*. Los datos en tres coordenadas de cada variable, fueron exportados al programa MorphoJ (112), el objetivo de llevar la matriz de coordenadas crudas a este programa se hizo con el fin de, una vez superpuestos todos los individuos, chequear errores de digitalización y preparar las matrices de datos para la evaluación del error inter-evaluador.

3.5 Determinación del error del método

El objetivo de cuantificar las diferencias entre medidas repetidas de una misma variable, fue poder determinar y controlar el aumento de varianza que se introduce en las medidas morfológicas debido al error humano, lo que puede conducir a un aumento en la

variabilidad que no permitiría una adecuada diferenciación entre los grupos estudiados (hombres y mujeres), es por eso que se cuantifico el error de medición del operador (MR).

En el proceso de validación del método de medición, se consideraron dos tiempos con el mismo operador y se observó: primero, la consistencia en el posicionamiento de los *landmarks* I y II sobre las coordenadas ajustadas por medio de un ANOVA a dos vías de clasificación sin interacción; segundo, las diferencias en la forma general entre individuos idénticos sobre las nuevas variables definidas por los *scores* de las CP, incluyendo los tres tipos de *landmarks* deslizados y ajustados (126-129), por medio de un análisis visual de la cercanía de individuos idénticos en el espacio de la conformación, un ANOVA a dos vías de clasificación sin interacción y un coeficiente de correlación intraclass (cci).

En el primer paso, para la evaluación del posicionamiento de los *landmarks* tipo I y II ajustados, el investigador (MR) escogió, aleatoriamente, 20 individuos que constituyeron el 12,5% de la muestra; los sujetos incluidos en la selección, representaron la variabilidad intrapoblacional, ya que se escogieron 10 hombres y 10 mujeres para poder determinar si la variabilidad debida al error es mayor o menor que la variabilidad debida al factor sexo. En dos sesiones de digitalización, con una diferencia de una semana entre sesiones, se digitalizaron 52 *landmarks* I y II sobre los sujetos de dicha selección, las coordenadas “crudas” producto de la digitalización, fueron ajustadas por medio de un Análisis Generalizado de Procrustes, luego se realizó un análisis de varianza ANOVA a dos vías de clasificación sin interacción sobre cada coordenada de cada punto digitalizado.

El modelo matemático planteado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + S_j + ERROR_{ijk}$$

$$i = 1,2$$

$$j = 1,2$$

$$k = 1, \dots, n_{ij}$$

En donde

Y_{ijk} : corresponde a la respuesta relacionada con la desviación de las coordenadas ajustadas asociadas al k -ésimo individuo, del j -ésimo sexo, en la i -ésima medición.

μ : la media global.

E_i : es el efecto de la medición y

S_j : es el efecto del sexo.

Con este procedimiento estadístico, la prueba F de ANOVA, nos permite determinar si se puede aceptar que no hay diferencia significativa en el error de medición (valores de p grandes), teniendo así una respuesta estadística frente a la hipótesis nula:

H0: No hay diferencias entre los valores medios de las medidas obtenidas en sesiones sucesivas, de cada landmark, realizadas por un observador.

En un segundo paso, se evaluó la consistencia en el posicionamiento de *landmarks* deslizados y ajustados; para ello, sobre la misma selección de sujetos del paso anterior, se digitalizaron 163 landmarks tipo I, II y III; las coordenadas “crudas” fueron ajustadas por medio de un Análisis Generalizado de Procrustes al mismo tiempo que los semilandmarks fueron deslizados. Inicialmente se realizó una inspección visual de la cercanía de individuos idénticos en el espacio de la conformación, ya que una consistente digitalización de las variables sobre el mismo individuo, en sesiones de digitalización diferente, producirá puntos muy cercanos en dicho espacio, de otro modo, puntos alejados del mismo individuo indicaran errores de digitalización.

Para evaluar la significancia de las diferencias de las medidas inspeccionadas visualmente se realizó un análisis de varianza ANOVA, este análisis se efectuó sobre los *scores* (puntajes) de los CP obtenidos de matrices deslizadas y superpuestas, el número de CP a evaluar dependió de la varianza explicada por cada uno de ellos.

En la evaluación de la consistencia general entre las dos observaciones, se realizó un Coeficiente de Correlación Intraclase (cci), que permitió estimar la variación de la proporción total que se debe a la variación de los sujetos. El cci estima el promedio de las correlaciones entre todas las posibles ordenaciones de los pares de observaciones disponibles, la variabilidad total de las medidas es descompuesta en la variabilidad debida a las diferencias grupos y la debida a las diferencias entre medidas de cada sujeto, que

depende de la variabilidad entre observadores y la variabilidad residual o aleatoria, definida por la siguiente ecuación:

$$cci = \frac{k \cdot SC_{entre} - SS_{total}}{(k - 1) \cdot SS_{total}}$$

Donde k es el número de observaciones que se toma de cada sujeto

SC_{entre} : corresponde a la suma de cuadrados de variación entre sujetos

CS_{total} : corresponde a la suma de los cuadrados de la variación total

$(k - 1)$: Grados de libertad

Por definición el coeficiente de correlación intraclase es una proporción, por lo tanto sus valores pueden variar entre 0 y 1, siendo la máxima concordancia posible 1, lo que indicaría que toda la variación se explica por la diferencia entre sujetos y no por las diferencias entre observaciones o métodos de medición, cuando el valor es 0 se puede interpretar, como que la concordancia no es mayor que la obtenida por el azar (126,130), la interpretación de los valores resultado de la prueba de cci se muestra en la Tabla 3-2.

Aquí, es importante aclarar que el cci es una comparación empírica, ya que no hay forma teórica de comprobar el nivel de acuerdo sobre el conjunto de datos.

Tabla 3-2: Interpretación de los valores resultado de la prueba para cci

cci	Grado de concordancia
0	Sin concordancia
<0.40	Concordancia débil
0.40-0.59	Concordancia moderada
0.60-0.74	Concordancia buena
>0.74	Alta concordancia

Tomada de (126)

3.6 Métodos Morfométricos

Un individuo estará descrito en MG, como un conjunto de *landmarks*, cada *landmark* está representado por coordenadas en tres dimensiones del espacio (x, y, z), el conjunto de *landmarks* tiene información de la conformación, tamaño, posición y orientación del individuo que representa, sin embargo, y dependiendo del análisis realizado: el tamaño, la posición y la orientación o la posición y orientación fueron removidas de los individuos, obteniendo conformación o forma respectivamente.

Para obtener el mayor significado biológico, cada individuo debe estar representado por *landmarks* tipo I o II, sin embargo, en este trabajo fueron usados *landmarks* y *semilandmarks*.

En el presente estudio fueron analizadas: la forma (conformación y tamaño) (32) o solo la conformación (34). En el último caso, el tamaño fue obtenido como una variable independiente y fue utilizado en análisis de alometría, por lo tanto las configuraciones fueron llevadas a la misma dimensión.

Análisis Generalizado de Procrustes: Estandarización de tamaño, posición y orientación:

Como se mencionó anteriormente los *semilandmarks* o *landmarks* tipo III, son puntos que presentan deficiencias en su ubicación en más de una coordenada, ellos no poseen homología biológica pero si estructural cuando se encuentra describiendo curvas suaves sobre superficies o contornos, ya que dichas superficies o contornos presentan dicha homología (37, 40, 41, 131). El uso de este tipo de *landmarks* está justificado en el cráneo, por el hecho de que en esta estructura, tanto en 2D como en 3D, presenta escasos *landmarks* tipo I e incluso tipo II, quedando grandes superficies sin facilidad de análisis.

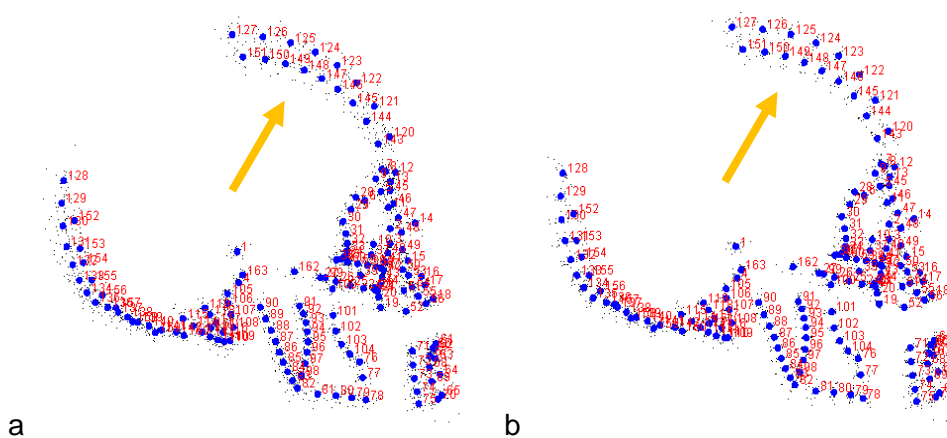
Como se ha demostrado, el criterio de igual espaciamiento de los *semilandmarks* para describir curvas, contornos o superficies no es un criterio óptimo debido al sesgo que puede introducir en la variabilidad morfológica (41), por lo que dos nuevos criterios han sido usados con el fin de optimizar el uso de dichos puntos, reduciendo su variación en el posicionamiento, por lo menos en una coordenada: el criterio de mínimos cuadrados y el

criterio de mínima energía de deformación (37, 39, 41), ellos fueron explicados antes en este documento.

Para el deslizamiento de los *semilandmarks* sobre curvas que describen superficies, dichas curvas deben iniciar y terminar con *landmarks* tipo I o II, con el fin de mantener los *semilandmarks* contenidos en la estructura que describen, cada *semilandmark* es deslizado con respecto a su vecino inmediatamente anterior y posterior, el criterio de deslizamiento usado corresponde al de mínima distancias de *Procrustes* (121).

En R (122), mediante un paquete denominado Geomorph (121), una matriz con coordenadas crudas y otra matriz con las indicaciones del deslizamiento deseado, permite deslizar y superponer todos los individuos, escalándolos a la unidad, trasladándolos al centro del eje de coordenadas por medio de transformaciones rígidas y rotándolos con una función iterativa hasta obtener la mínima distancia al cuadrado entre todos los *landmarks* (luego de concluido este paso todos los *semilandmark* son considerados *landmark* tipo II), obteniendo: -una nueva matriz denominada matriz de coordenadas de *Procrustes* que representa la conformación, -un promedio de las conformaciones superpuestas llamada configuración consenso y -una variable de tamaño para cada conformación denominada tamaño de centroide. El tamaño del centroide es calculado como la raíz cuadrada de la suma al cuadrado de las distancias *inter-landmarks* al centro geométrico de cada configuración, el método de superposición es denominado Análisis Generalizado de *Procrustes*. En la Figura 3-1 se aprecia la diferencia espacial de la nube de datos de cada *landmark* antes y después del deslizamiento.

Figura 3-1: Deslizamiento de semilandmarks, posicionamiento antes y después del deslizamiento.



En la Figura 3-1 a. superposición de todos los individuos sin deslizamiento, b. superposición de todos los individuos con *semilandmarks* deslizados. Las fechas indican el diferente posicionamiento de los puntos en una coordenada.

Sobre la matriz de coordenadas de Procrustes se pueden realizar análisis tradicionales de estadística multivariada como se verá más adelante en este capítulo. Una vez los individuos han sido ajustados, ellos pueden ser representados en el espacio de la conformación, en donde cada individuo es descrito por un punto, y la distancia entre puntos, denominada distancia de Procrustes, representa la diferencia de conformación entre individuos.

Forma: conformación más tamaño.

Para el análisis de la forma, considerada como la conformación escalada, se hace necesario estandarizar la posición y la orientación conservando el tamaño de cada uno de los individuos del análisis. Existen dos métodos para obtener matrices de forma: realizando un ajuste como el usual AGP sin estandarizar el tamaño o por la multiplicación del logaritmo natural del centroide a la matriz de coordenadas crudas (32). Ambos métodos producen resultados similares cuando la variación biológica de los sujetos bajo estudio es mínima. En este estudio se utilizó el segundo método, recomendado por Mitteroecker (32).

3.7 Determinación de datos atípicos

En cuanto a los datos atípicos, llamados *outliers*, se refieren a los datos procedentes de uno o varios individuos que no se comportan de una manera “usual” respecto al resto de los datos de un estudio. El comportamiento inusual de estos individuos, puede deberse a errores en la adquisición de las imágenes, errores en la digitalización de los *landmarks*, errores en la selección de los individuos de la muestra por la inclusión de individuos que presentaban criterios de exclusión y no fueron atendidos o porque, aunque cumplieron con la estricta selección siguiendo los criterios de inclusión y exclusión, realmente son individuos atípicos debidos a la variación morfológica natural.

El procedimiento usado en este estudio para determinar datos atípicos, consistió en determinar, desde la media, los máximos valores en distancias de Procrustes, tanto en la conformación total, como para cada uno de los rasgos, este procedimiento fue ejecutado por medio del *software MorphoJ*.

Los individuos con las mayores distancias Procrustes desde la media, fueron evaluados con el fin de reconocer errores en la selección o digitalización, en este caso los errores fueron corregidos y los individuos mal seleccionados fueron excluidos. Los verdaderos datos atípicos u *outliers* fueron conservados en los análisis.

3.8 Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico, inicialmente se consideraron algunos procedimientos multivariados como: Análisis de Componentes Principales (ACP), Análisis Canónico, Análisis discriminante y Regresión múltiple.

3.8.1 Análisis de Componentes Principales (ACP)

Para determinar las diferencias en el patrón de la conformación en 7 rasgos faciales, relacionadas con el factor sexo, un análisis exploratorio denominado Análisis de Componentes Principales ACP, se usó con el fin de reducir el número de variables transformando las variables originales en un conjunto más pequeño, en este método las variables resultantes son combinaciones lineales de las primeras, agrupando la mayor parte de la variabilidad presente en el conjunto inicial. Las Componentes Principales tienen como características:

Generan variables nuevas, a partir de un conjunto de datos original, describiendo la variación presente en los datos iniciales.

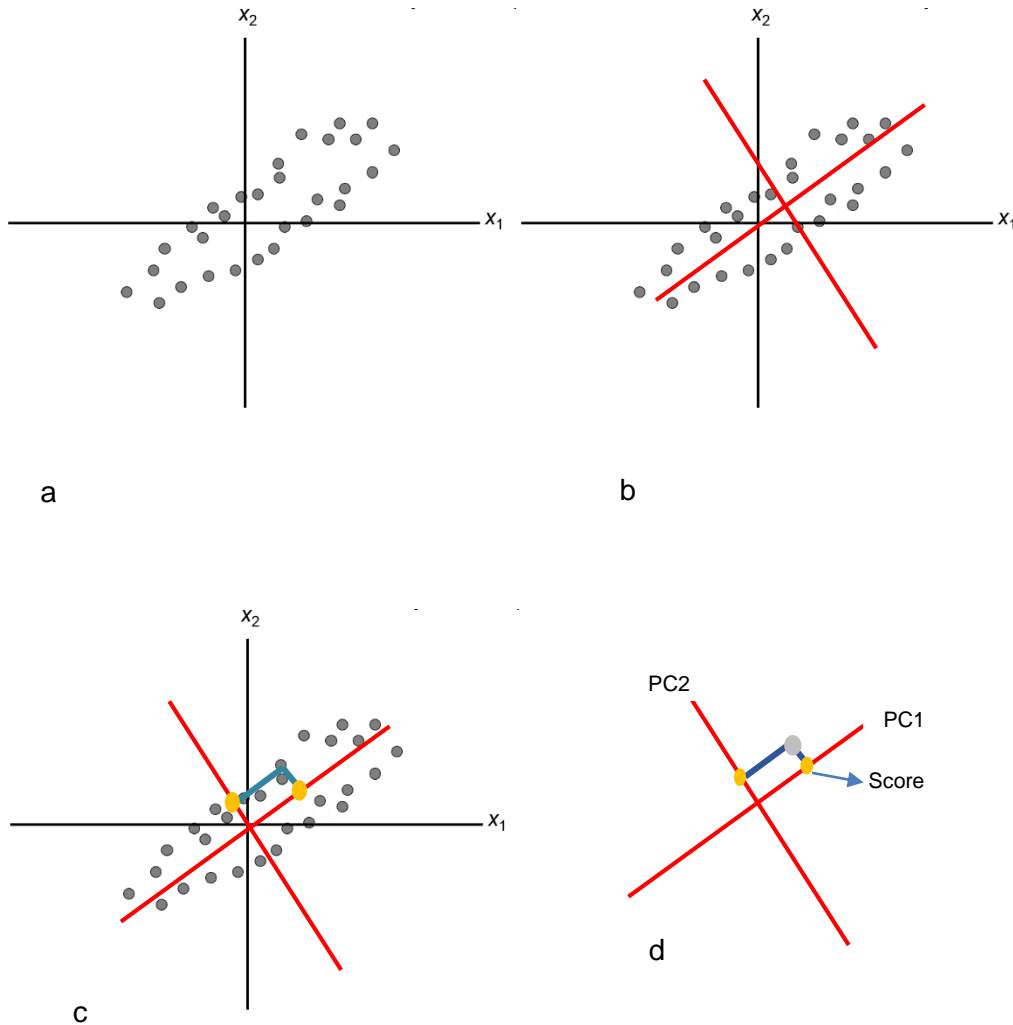
Reducen la dimensionalidad de los datos.

Las nuevas variables presentan características estadísticas útiles como la independencia y la no correlación. La no correlación indica que los nuevos ejes miden dimensiones diferentes en los datos.

Ordena los ejes de modo que CP1 (componente principal 1) contiene más variación que la CP2, y CP2 mas variación que CP3 y así sucesivamente.

Permite una visualización grafica de la muestra con respecto a la configuración consenso que estará localizada en el origen de las coordenadas.

El cálculo de las Componentes Principales se lleva a cabo de la siguiente manera: sobre los ejes de coordenadas y nube de puntos original se busca un nuevo eje que se ajuste linealmente mejor a la nube de datos, luego se rota rígidamente la matriz, paso denominado **Rotación**. La rotación cesa cuando se ha encontrado un nuevo eje que mejor represente linealmente los puntos en un paso denominado **Optimización y maximización**, un nuevo eje ortogonal es definido, estos dos ejes representaran la primer componente (CP1) y segunda componente (PC2), sobre estos nuevos ejes serán proyectados cada uno de los individuos, obteniendo nuevas variables, los puntajes obtenidos en dicha proyección (*scores*) serán utilizados en los análisis estadísticos (115,132), como lo muestran las Figuras 3-2 y 3-3.

Figura 3-2: Representación gráfica de la obtención de las Componentes Principales.

En la Figura 3-2 se grafica la obtención de Componentes Principales a partir de las coordenadas de Procrustes: a. Nube de puntos en eje de coordenadas cartesianas, b. Rotación rígida de los ejes y optimización maximización para encontrar el eje de máxima variación, c. Proyección de los puntos de la nube sobre los nuevos ejes, d. nuevas coordenadas de cada punto denominadas PC score, que son las nuevas variables

Como se mencionó anteriormente las Componentes son combinaciones lineales, obtenidas de las variables originales, en donde definidas las variables:

$$x_1, x_2, \dots, x_p$$

Y la matriz de covarianza Σ con los eigenvalores:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \dots \geq \lambda_p \geq 0$$

Las componentes estarán representadas:

$$Y_1 = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p$$

$$Y_2 = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p$$

.

.

$$Y_p = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p$$

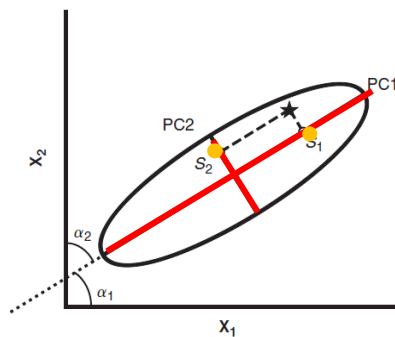
Obteniendo la varianza y covarianza:

$$\text{Var}(Y_i) = a_i' \sum a_i \quad i = 1, 2, \dots, p$$

$$\text{Cov}(Y_i, Y_k) = a_i' \sum a_k \quad i, k = 1, 2, \dots, p$$

En el caso de tener en cuenta únicamente dos componentes, la gráfica de su cálculo se muestra a continuación en la Figura 3-3.

Figura 3-3: Representación gráfica del cálculo de los puntajes de las nuevas variables



En la Figura 3-3 se representa la forma de obtener los puntajes o score (S_1 y S_2) de los CP1 y 2 (PC1 y PC2) para un individuo.

3.8.2 Grado de Dimorfismo Sexual

Para determinar el grado de dimorfismo sexual, en este trabajo se utilizó un método comúnmente usado en contextos evolutivos para evaluar el nivel de DS en homínidos, denominado Índice de Dimorfismo Sexual: en donde se determinó la razón entre la media del tamaño de los hombres sobre la media del tamaño de las mujeres (133), utilizando la fórmula:

$$IDS = \left(\frac{\bar{X}_H}{\bar{X}_M} - 1 \right) * 100$$

$$\bar{X}_H = \bar{X}_M \quad IDS = 0$$

$$\bar{X}_H > \bar{X}_M \quad IDS = 1$$

3.8.3 Métodos Jerárquicos de Análisis Clúster

Los métodos Jerárquicos de Análisis *Clúster*, fueron utilizados en este trabajo con el fin de analizar morfológicamente la muestra en la forma craneofacial total, intentando encontrar patrones de forma similares relacionados con factores como sexo, edad, maloclusión, edentulismo, malformaciones u otras características que agruparan los individuos de forma natural, con el fin de encontrar otras variables que influyeran en la plasticidad craneofacial, intentando evitar sesgos metodológicos que afectaran la validez interna del estudio. En este trabajo se usó como método de jerarquización el método de Ward.

Los métodos jerárquicos tienen por objeto agrupar conglomerados según similitudes, minimizando distancias o maximizando medidas de similitud, partiendo de un número de grupos igual al número de individuos presente en una muestra y en forma ascendente, lograr un único grupo o conglomerado, en los llamados métodos aglomerativos; o por el contrario, partiendo de un único grupo y en forma descendente por consecutivas divisiones, crear grupos hasta llegar a formar tantos grupos como el número de individuos presentes en la muestra, estos últimos son conocidos como métodos disociativos (134).

El método de Ward es un análisis jerárquico aglomerativo, que inicia el proceso con tantos clúster como individuos hay en la muestra; para unir dos clúster se utiliza el criterio del

menor incremento en el valor total de la suma de los cuadrados de las diferencias dentro de cada conglomerado de cada individuo al centroide del clúster. En cada etapa de aglomeración se trata de encontrar aquellos dos grupos cuya unión proporcione el menor incremento en la suma total de las diferencias entre los grupos (134).

3.8.4 Análisis de Variables Canónicas (AVC)

Para determinar la agrupación natural de la muestra por conformación, se usó el AVC, que a diferencia de ACP donde se busca los ejes de mayor variación, con el AVC se va a encontrar una transformación de variables en donde los ejes ubican las máximas distancias en grupos definidos o predeterminados, con el fin de describir las diferencias entre la media de los grupos, pero no como prueba de significancia estadística.

Como en el ACP; el AVC es una combinación lineal de las variables originales, produciendo un grupo de variables nuevas que describen la posición relativa de un grupo en una muestra, manteniendo la misma ventaja de visualización del ACP.

Los nuevos ejes obtenidos con las variables canónicas (VC), en donde se proyectan las medias de los grupos constituyendo los puntajes de las VC, describirán las diferencias entre las medias, según los patrones de variación, siendo por ejemplo la VC1 el eje en donde los grupos son efectivamente más discriminados, los grupos pueden ser bien discriminados cuando la varianza entre las medias es grande entre los grupos y pequeña dentro del grupo.

Para calcular las Variables Canónicas se requiere conocer la media del grupo y la orientación de las elipses que representan dichos grupos, el AVC inicia con un ACP de la media entre grupos definidos a priori, utilizando la varianza de los grupos, proporcionando un nuevo sistema de coordenadas por rotación rígida de la matriz de datos, un segundo paso consiste en un reescalamiento proporcional del eje, maximizando la distancia entre los grupos y produciendo unos nuevos ejes no ortogonales en el espacio original con el fin de igualar las varianzas, por último se realiza una segunda rotación calculando las máximas diferencias sobre estos grupos reescalados. Los ejes que representan la máxima diferencia entre grupos serán denominados VC, sobre cada variable canónica será

proyectada cada media grupal produciendo los puntajes o *scores* de las VC, un reescalamiento reverso restaura las varianzas y la configuración original.

Luego de realizado el AVC, la separación del promedio de un grupo frente al promedio de otro grupo, se hace con la distancia de Procrustes entre medias, esta distancia representa la medida de las diferencias entre grupos, sobre esta medida de distancia se valora la significancia estadística por medio de un test de permutación (10000 permutaciones).

3.8.5 Análisis Discriminante y Validación Cruzada

En el análisis discriminante se busca una función lineal de variable que permita clasificar individuos nuevos en los grupos preestablecidos. Un análisis discriminante examina la separación por rasgos morfológicos, entre dos grupos de observaciones y fue utilizado en este trabajo con dos fines: determinar por medio de un análisis descriptivo la separación o discriminación de los grupos a través de una función discriminante, mientras que un segundo objetivo planteó la correcta clasificación de nuevos individuos de sexo desconocido, en el grupo de mujeres u hombres según la función discriminante previamente determinada. La significancia estadística se llevó a cabo por medio de test de permutación, mientras que la reclasificación tuvo lugar mediante Chequeo Cruzado que evalúa la confiabilidad de la función discriminante. La regla de decisión utilizada para la clasificación de nuevos individuos a partir de la función discriminante fue la regla de clasificación de Fisher (135).

3.8.6 Regresión multivariada: Alometría

El objetivo general de un análisis de regresión es encontrar la relación funcional de una variable, llamada variable explicada (en este caso la conformación), con otra variable llamada explicativa (en este caso tamaño), por medio de un ajuste matemático lineal.

Al considerar las variables tamaño-conformación en un análisis de MG, se hace necesario conocer como el tamaño afecta la conformación, por lo cual podemos realizar preguntas como: ¿Existe una relación entre las variables?, ¿puede el tamaño predecir el comportamiento de la conformación?, ¿Cuál es la intensidad de la relación entre tamaño y conformación? y por último, si esta relación existe, esta es significativa.

El procedimiento de la regresión, inicia con la formulación de un modelo matemático lineal o no lineal, que encuentre los coeficientes que mejor predigan la conformación como una función de los valores de tamaño. El modelo deberá ser ajustado a los datos y dicho ajuste debe ser evaluado estadísticamente; el modelo debe estar en capacidad de encontrar una correlación de las variables que permita predecir el comportamiento de la conformación según la variación del tamaño. Sin embargo, es importante resaltar que el modelo matemático no es un modelo biológico, ya que en este caso las variables como tamaño y conformación están afectadas por otras variables biológicas no controlables con este modelo.

Matemáticamente el modelo de regresión lineal simple se expresa como:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

En donde

Y_i : Es la variable relacionada con la conformación

X_i : Variable relacionada con el tamaño

β_0 : Intersecto de la recta

β_1 : Parámetro asociado al cambio que experimentara la conformación ante cambios por unidad de tamaño (pendiente)

e_i : Error aleatorio no controlado, dependiente de otras variables biológicas no incluidas en el modelo.

Este modelo debe cumplir algunos supuestos como: el error sobre la variable X es despreciado, para cada valor de X existe una subpoblación de Y con una distribución normal y las varianzas de estas son iguales y todas las medias se encuentran sobre una línea recta, siendo los valores de Y estadísticamente independientes.

Si los datos cumplen con el supuesto del modelo, podemos poner a prueba la hipótesis de relación conformación – tamaño con sus descriptores: para la forma PCA scores y para el tamaño el logaritmo del tamaño de centroide, dada por la hipótesis:

Ho: Hay entre las variables una relación Isométrica.

La intensidad de la relación entre las variables X y Y está dada por el coeficiente de regresión R^2 , indicando la fracción de la variación en Y explicada por X, sin embargo, para probar la significancia de la relación se hará una prueba de permutación (10000 permutaciones) (60,118)

4. Resultados

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos a partir de la muestra seleccionada según conveniencia considerando los criterios de inclusión y exclusión que se presentan en la tabla 4.1

El total de individuos considerados en el estudio fue de 160 cráneos de ambos sexos y diferentes grupos de edad, es claro entonces que la selección aleatoria para este estudio se debe más a la forma como los cráneos se incluyeron para el análisis estadístico, que a criterios probabilísticos de selección de muestras.

Tabla 4-1: Tamaño de muestra según criterios de inclusión y exclusión

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
595 Individuos pertenecientes a la COHRPC	1 Cuerpo que por su identificación fue peruano
549 individuos mayores de 19 años o menores de 100 años	363 Cráneos incompletos o en mal estado de conservación, todos presentaron mandíbula, pero la pérdida dental presentó niveles altos
548 individuos presentaron identificación completa con sexo y edad	24 individuos presentaron evidencias de malformaciones o alteraciones craneofaciales premortem
Total por inclusión 548	Total por exclusión 388

Una vez seleccionados los 160 sujetos de la muestra aptos para aplicar las diferentes metodologías estadísticas consideradas en el capítulo anterior (individuos que cumplieron con los criterios de inclusión menos los individuos que cumplieron los criterios de exclusión), se procedió a la adquisición de imágenes según el protocolo preestablecido; las imágenes obtenidas fueron debidamente procesadas y recuperadas en el software de digitalización. En el proceso de digitalización fueron descartados 9 individuos por presentar problemas relacionados con datos perdidos debido a ausencia de estructuras óseas que impedía la correcta colocación de landmarks y semilandmarks (pequeñas fracturas no visualizadas en la evaluación inicial, presencia de marcas o señas en la posición del punto o falta absoluta de visualización de la estructura de referencia, por ejemplo, sutura completamente obliterada sin rasgo evidente de su preexistencia).

Una vez terminada la digitalización, fue obtenida una matriz de datos con 151 individuos y 163 landmarks en tres dimensiones que fue sometida a Análisis Generalizado de Procrustes, con el deslizamiento de semilandmarks sobre curvas suaves. De la superposición de Procrustes se obtuvo una nueva matriz denominada Matriz de Coordinadas Alineadas y en una columna aparte, el tamaño del centroide para cada uno de los individuos incluidos en el estudio.

Inicialmente, y siguiendo con los postulados teóricos presentados en el capítulo anterior, se procedió a realizar la evaluación del error intraevaluador para el posicionamiento de *landmarks* tipo I y II, los resultados de esta evaluación se muestran en la Tabla 4-2

Tabla 4-2: ANOVA de dos vías para error intraevaluador sobre 52 *landmarks* tipo I y II

Número de pruebas	coordenadas	número del <i>landmark</i>	Nombre del <i>landmark</i>	F	p valor
1	x	1	0	0,071	0,794
2	y			0,325	0,635
3	z			0,849	0,371
4	x	2	1	0,199	0,662
5	y			2,163	0,162
6	z			0,382	0,546
7	x	3	2	0,912	0,355
8	y			2,216	0,157
9	z			0,411	0,531
10	x	4	3	1,061	0,319
11	y			0,781	0,391
12	z			0,039	0,846
13	x	5	4	0,44	0,517

14	y			1,097	0,311
15	z			1,576	0,229
16	x	6	5	0,053	0,821
17	y			1,22	0,287
18	z			0,003	0,954
19	x	7	6	0,536	0,475
20	y			0,67	0,426
21	z			0,81	0,382
22	x	8	7	9,99	0,00646
23	y			0,007	0,943
24	z			1,283	0,275
25	x	9	8	0,008	0,928
26	y			2,924	0,108
27	z			2,428	0,14
28	x	10	9	2,066	0,171
29	y			0,03	0,866
30	z			2,08	0,17
31	x	11	10	3,535	0,0797
32	y			3,248	0,0917
33	z			0,529	0,478
34	x	12	11	0,579	0,459
35	y			6,418	0,0229
36	z			0,019	0,893
37	x	13	12	0,013	0,912
38	y			4,349	0,0545
39	z			3,853	0,0685
40	x	14	13	0,101	0,756
41	y			2,477	0,136
42	z			0,064	0,804
43	x	15	14	3,218	0,093
44	y			3,162	0,0956
45	z			0,004	0,948
46	x	16	15	0,094	0,764
47	y			0,072	0,792
48	z			1,82	0,197
49	x	17	16	0,251	0,624
50	y			0,001	0,975
51	z			1,935	0,185
52	x	18	17	1,348	0,264
53	y			0,012	0,915
54	z			0,82	0,38
55	x	19	18	0,002	0,969
56	y			0,154	0,7
57	z			6,782	0,0199
58	x	20	19	1,986	0,179
59	y			0,367	0,554
60	z			2,166	0,162
61	x	21	20	0,002	0,962
62	y			0,235	0,635
63	z			0,295	0,595
64	x	22	21	0,516	0,484
65	y			6,139	0,0256
66	z			0,348	0,564
67	x	23	22	0,159	0,696
68	y			0,616	0,445
69	z			0,194	0,666
70	x	24	23	0,416	0,529
71	y			0,542	0,473
72	z			0,016	0,899
73	x	25	24	1,683	0,214
74	y			0,442	0,516
75	z			0,027	0,871

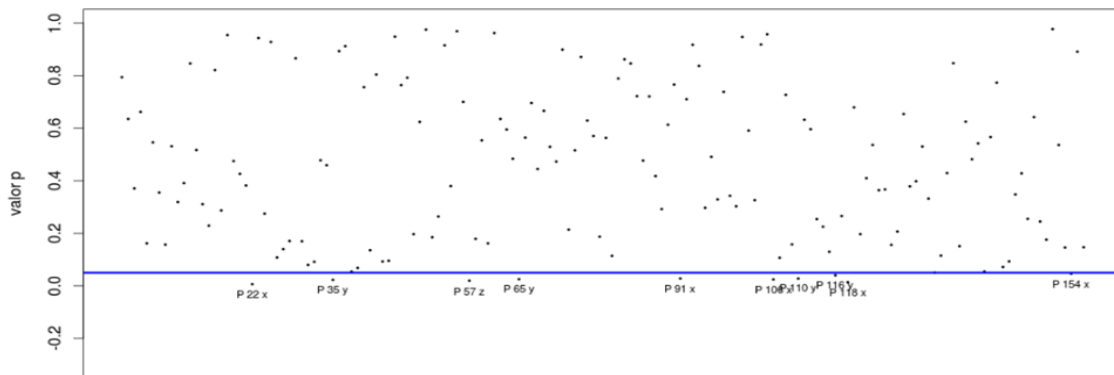
76	x	26	25	0,243	0,629
77	y			0,337	0,57
78	z			1,916	0,187
79	x	27	26	0,351	0,563
80	y			2,823	0,114
81	z			0,074	0,789
82	x	28	27	0,031	0,862
83	y			0,039	0,846
84	z			0,132	0,722
85	x	29	28	0,533	0,477
86	y			0,132	0,721
87	z			0,639	0,418
88	x	30	29	1,194	0,292
89	y			0,267	0,613
90	z			0,091	0,766
91	x	31	30	5,879	0,0284
92	y			0,143	0,71
93	z			0,011	0,917
94	x	32	31	0,039	0,837
95	y			1,165	0,297
96	z			0,499	0,491
97	x	33	32	1,019	0,329
98	y			0,116	0,738
99	z			0,961	0,343
100	x	34	33	1,139	0,303
101	y			0,005	0,947
102	z			0,301	0,591
103	x	35	34	1,526	0,326
104	y			0,011	0,918
105	z			0,003	0,957
106	x	36	35	6,24	0,0246
107	y			2,94	0,107
108	z			0,126	0,727
109	x	37	36	2,214	0,158
110	y			5,905	0,0281
111	z			0,239	0,632
112	x	38	37	0,294	0,596
113	y			1,41	0,254
114	z			1,604	0,225
115	x	39	38	2,569	0,13
116	y			5,043	0,0402
117	z			1,335	0,266
118	x	40	39	7,756	0,0139
119	y			0,178	0,679
120	z			1,821	0,197
121	x	41	40	0,719	0,41
122	y			0,4	0,536
123	z			0,876	0,364
124	x	42	41	0,864	0,367
125	y			2,228	0,156
126	z			1,736	0,207
127	x	43	42	0,209	0,654
128	y			0,823	0,379
129	z			0,758	0,398
130	x	44	43	0,413	0,53
131	y			1,006	0,332
132	z			4,538	0,0501
133	x	45	44	2,8	0,115
134	y			0,661	0,429
135	z			0,038	0,847
136	x	46	45	2,291	0,151
137	y			0,248	0,625

138	z			0,52	0,482
139	x			0,39	0,542
140	y	47	46	4,329	0,055
141	z			0,344	0,566
142	x			0,086	0,773
143	y	48	47	0,001	0,072
144	z			3,21	0,0934
145	x			0,937	0,348
146	y	49	48	0,663	0,428
147	z			1,403	0,255
148	x			0,225	0,642
149	y	50	49	1,467	0,245
150	z			2,02	0,176
151	x			0,001	0,977
152	y	51	50	0,401	0,536
153	z			2,35	0,146
154	x			4,71	0,0465
155	y	52	51	0,019	0,891
156	z			2,342	0,147

En la tabla de referencia 4-2, se determina, a partir del modelo a dos vías de clasificación, el valor de F y el p valor para un ANOVA de 2 vías (factores) para cada coordenada de los 52 puntos tipo I y II.

Debido a la dimensionalidad de la tabla anterior, en la Figura 4-1, se expresa de manera visual del error intraevaluador con el fin de mejor la comprensión de los resultados.

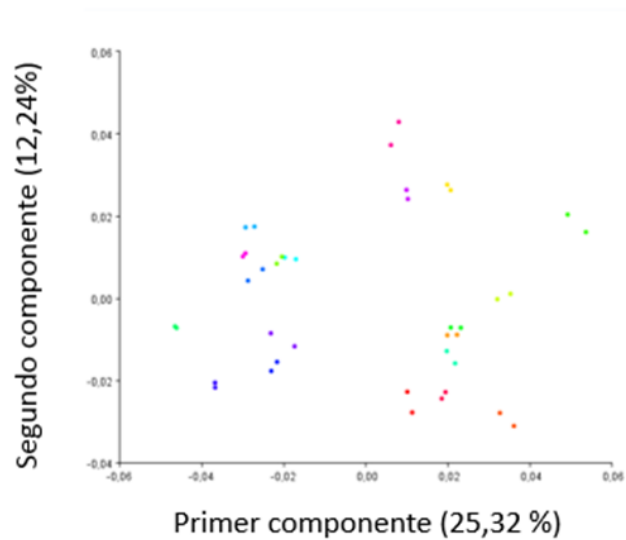
Figura 4-1: Esquema que representa el error intraevaluador



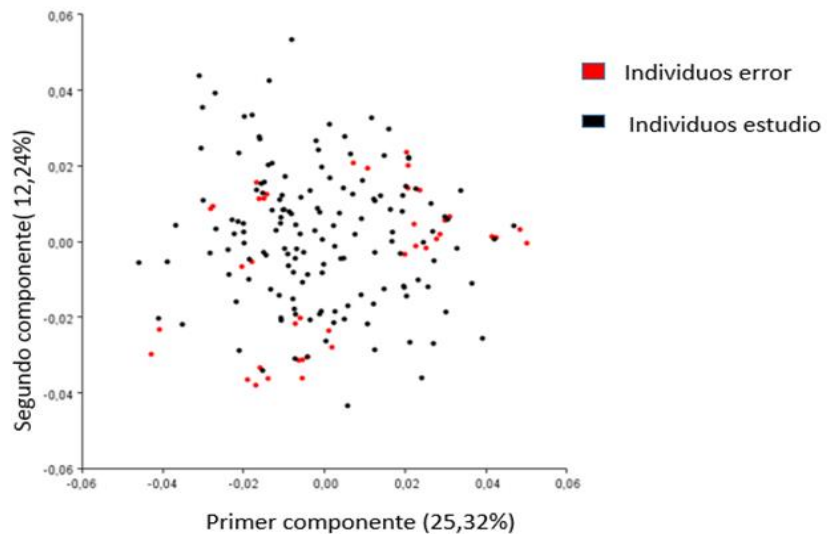
En la Figura 4-1 se esquematiza el error intraevaluador según las dos mediciones (sesiones) de los mismos individuos, para los 52 landmarks tipo I y II. Cada punto fue evaluado en sus tres dimensiones (x, y, z) para un total de 156 evaluaciones, la línea azul indica el valor p aceptado. Los puntos sobre la línea corresponden a las coordenadas de *landmarks* repetidos que no presentaron diferencias significativas según los resultados del ANOVA, las coordenadas bajo la línea corresponden a valores repetidos que presentaron diferencia significativa o sea que el p-valor es pequeño.

Según los resultados obtenidos, con un nivel de significancia de 0,05, se acepta la hipótesis nula de igualdad, para los 52 *landmarks* tipo I y II, por cuanto ningún *landmark* tuvo error en más de una de sus coordenadas; tan solo en 10 *landmarks*, de los 52, se encontraron diferencias significativas en 1 de sus coordenadas (10 coordenadas de 156) siendo estos tipo II, recordando que por definición los *landmarks* tipo II conllevan cierto grado de incertidumbre en una de sus coordenadas con respecto a los tipo I, por lo que se puede decir que si existe una consistente colocación de puntos .

De igual modo, se evaluó de manera visual y estadística la consistencia en la colocación de los *landmarks* tipo I, II y III, en la forma craneofacial general y sobre las nuevas variables obtenidas del Análisis de Componentes Principales efectuados sobre las coordenadas alineadas obtenidas del Análisis Generalizado de Procrustes y el deslizamiento de *semilandmarks*. El número de variables o componentes principales a analizar se determinó por la regla de “codo” (se determina la varianza que aporta cada eje haciendo un corte en donde, poner una nueva componente no aumenta significativamente la varianza total), por lo que se analizaron los 6 primeros CP que acumulan el 49,3% de la varianza total. La Figura 4-2 muestra la distribución de individuos idénticos en el espacio de la conformación, mientras que la Figura 4-3 muestra la variabilidad introducida por el error intraevaluador con respecto a la variabilidad total de la muestra.

Figura 4-2: Espacio de la conformación, error intraevaluador

En la Figura 4-2 las distancias entre los puntos del mismo color muestran las diferencias de conformación de individuos idénticos, producto del el error intraevaluador.

Figura 4-3: Variabilidad introducida por el error intraevaluador

En la Figura 4-3 se observan los puntos rojos representando individuos idénticos (puntos cercanos) en dos sesiones de digitalización, en relación con la variabilidad del total de la muestra representada por los puntos negros.

La significancia estadística de las diferencias en las distancias entre los mismos individuos en el espacio de la conformación fue evaluada por medio de un ANOVA de dos vías de clasificación y el coeficiente de correlación intraclase entre los 6 primeros CP. La Tabla 4-3 muestra los porcentajes de varianza acumulada para los primeros 6 CP y los resultados de ANOVA para los mismos, resaltando el valor F y p-valor.

Tabla 4-3: Resultados de ANOVA para evaluar el error intraevaluador

CP	%	% acumulado	Valor F	p-valor
1	13,60%	13,60%	0,007	0,936
2	10,41 %	24,01%	0	0,994
3	7,86 %	31,87%	0,994	0,948
4	6,88 %	38,75%	1,152	0,698
5	5,52 %	44,27%	0,004	0,95
6	5,04 %	49,31%	0,005	0,944

Según los resultados obtenidos, con un nivel de significancia de 0.05, se acepta la hipótesis nula de igualdad de efectos de las mediciones en los dos períodos de tiempo, teniendo como valor de análisis los resultados obtenidos a partir de las componentes principales; por lo que se puede decir que no existen diferencias significativas entre las observaciones evaluadas sobre las nuevas variables (las primeras 6 componentes), existiendo una consistente colocación de *landmarks* tipo I, II y III, por el observador (MR).

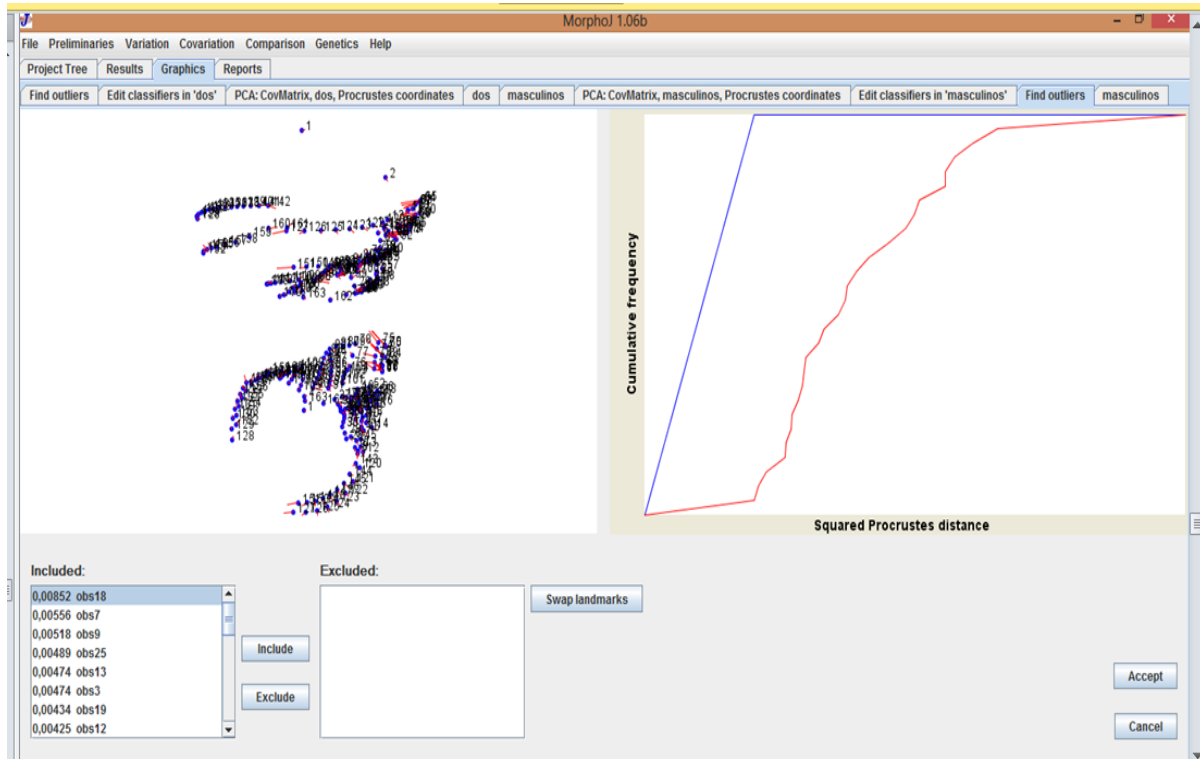
La Tabla 4-4 muestra los resultados obtenidos para el cci

Tabla 4-4: cci para las 6 primeras CP en la evaluación del error intraoperador

PC	cci
1	0.9957862
2	0.9883063
3	0.9699634
4	0.9604601
5	0.976338
6	0.988327

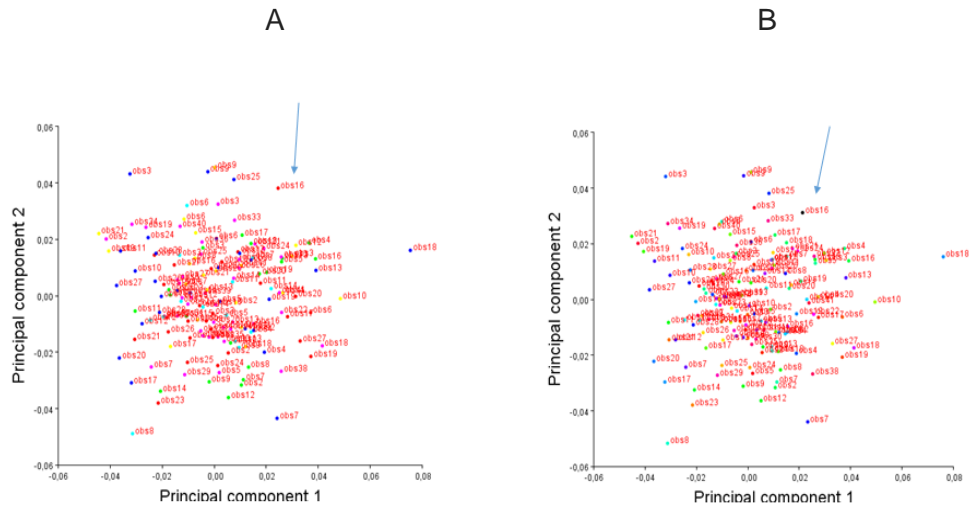
Según los resultados obtenidos y al compararlos con la tabla de acuerdos de cci (131), se puede concluir que para las seis primeras componentes principales que explican casi el 50 % de la variación, el acuerdo es excelente, existiendo una alta concordancia.

Una vez la matriz de coordenadas alineadas fue recuperada en el *software MorphoJ*, se procedió a la identificación de datos atípicos, lo cual se hizo tanto en la conformación total como en cada uno de los rasgos bajo estudio, para lo cual se procedió a seleccionar los *landmarks* que representaron cada una de los rasgos, denominados occipital, mastoides, malar, piriforme, orbita, glabella y mandíbula. En este análisis, los individuos encontrados como atípicos fueron analizados nuevamente en el programa de digitalización, encontrándose problemas de selección de individuos y de incorrecta digitalización de puntos. Tres individuos (185M,132F,102F) fueron eliminados de los análisis por presentar uno de los criterios de exclusión correspondiente a maloclusión extrema, mientras que los errores de digitalización fueron corregidos eliminándose 5 *landmarks* del análisis (puntos 1, 2, 22, 24, y 25) debido a que dos de ellos (1,2) fueron utilizados únicamente como puntos de referencia para la correcta ubicación del plano de Frankfort, en tanto que los otros tres, definidos como *semilandmarks* que describían curvas pronunciadas, colocados automáticamente por el programa, podían ser ubicados en estructuras diferentes a las que ellos deberían describir. En la Figura 4-4 se muestra la forma de determinación de individuos atípicos en el software MorphoJ. En la Figura 4-5 se muestra un ejemplo de la corrección de error en la digitalización, mostrando el cambio de posición de un individuo en la nube de puntos.

Figura 4-4: Salida del software MorphoJ para detectar datos atípicos

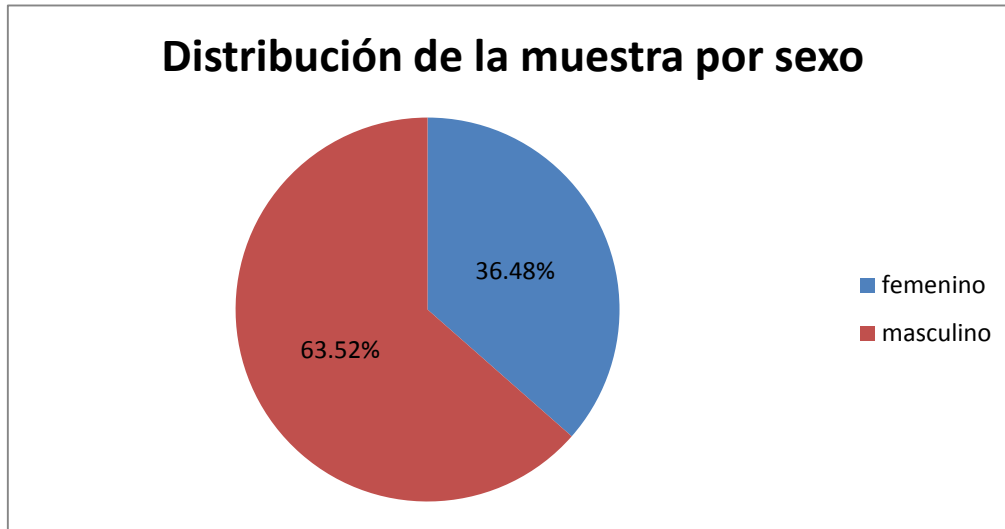
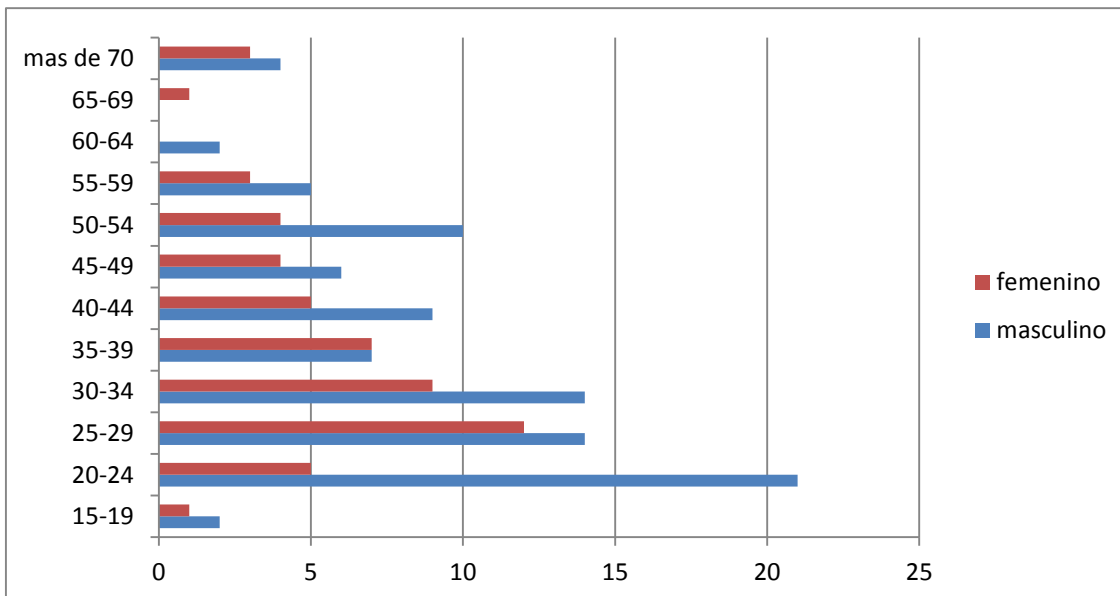
En la Figura 4-4 se aprecia la interfaz del *software* para el análisis de datos atípicos, en donde se observa, en el margen izquierdo, una lista de los sujetos de la muestra con las mayores distancias de Procrustes, mientras que en la parte superior se identifican los *landmarks* con los mayores vectores con respecto a la configuración consenso.

Figura 4-5: Cambio de posición de un individuo, después de la corrección en la digitalización



A título de ilustración, en la Figura 4-5 se observa, por ejemplo, que el individuo 16, que fue detectado como extremo por un error de digitalización (figura 4.5 A), al corregir el error, la posición, en la nube de puntos de este individuo cambio (figura 4.5 B)

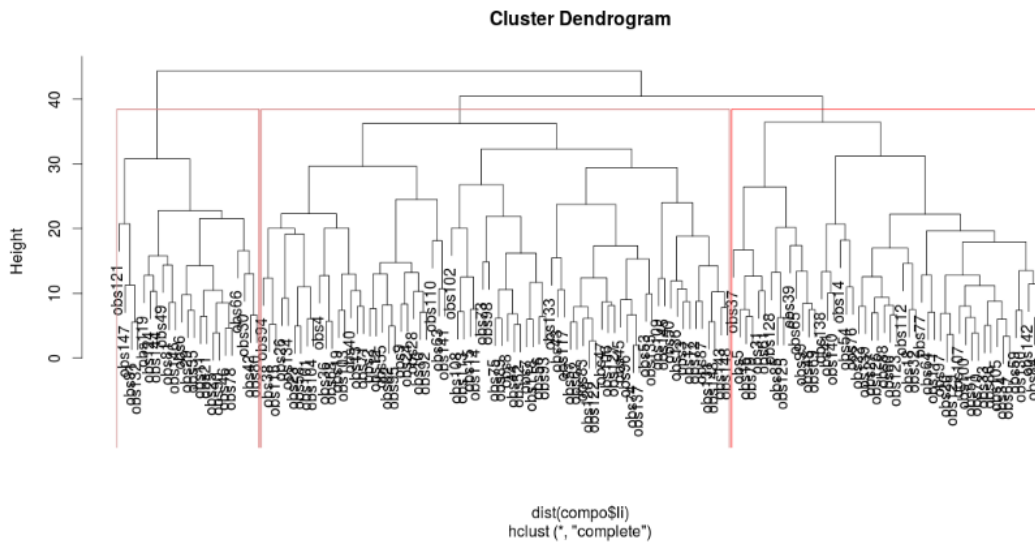
Realizado todo este proceso de diagnóstico estadístico (ANOVA, CP y Puntos atípicos) se tiene finalmente que la muestra quedo conformada por 148 individuos con 158 *landmarks* y *semilandmarks* por individuo, constituidos según sexo por 54 mujeres (36,48%) y 94 hombres (63,52%), con media de edad 30 años y rango de edad (19-100) y para hombres una media de edad de 37 años y con un rango de edad entre (19-85). La Figura 4-6 muestra la distribución de la muestra por sexo y la Figura 4-7 según la edad.

Figura 4-6: Distribución de la muestra por sexo**Figura 4-7:** Distribución de la muestra por edad y sexo

Debido a que es bien conocido que las muestras provenientes de colecciones óseas originadas en individuos procedentes de cementerios presentan sesgos por edad, sexo, estrato socioeconómico, causa de muerte, entre otros; fue imperativo realizar un análisis exploratorio adicional de los datos con el fin de conocer las tendencias que pudieran afectar la validez interna y externa del presente estudio.

Por este motivo, se realizó un análisis descriptivo de agrupamiento a partir de un Análisis Jerárquico tipo Clúster, bajo el método de Ward, en donde se utilizaron los 6 primeros componentes principales obtenidos de la conformación total, buscando similitud morfológica entre individuos, este análisis mostró tres grupos finales como se observa en la Figura 4-8

Figura 4-8: Dendrograma sobre los individuos de la muestra teniendo en cuenta CP

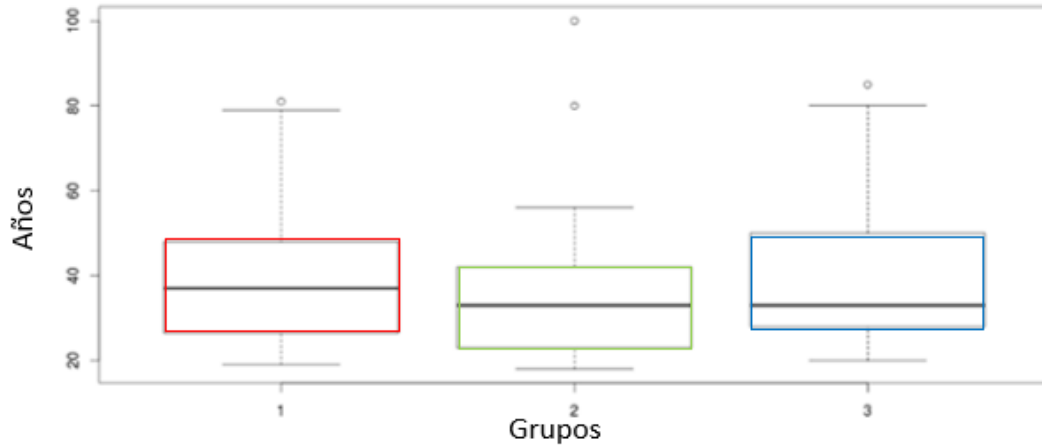


En la Figura 4-8 se observa el dendrograma realizado sobre los seis primeros componentes principales de la conformación craneofacial total en donde se evidencian tres grupos dentro de la muestra.

Asimismo, y debido al agrupamiento mostrado, se realizó un análisis de varianza múltiple, sobre la matriz de coordenadas alineadas, con el fin de conocer si los grupos eran significativamente diferentes, obteniendo un *p.valor* de 2.2×10^{-16} .

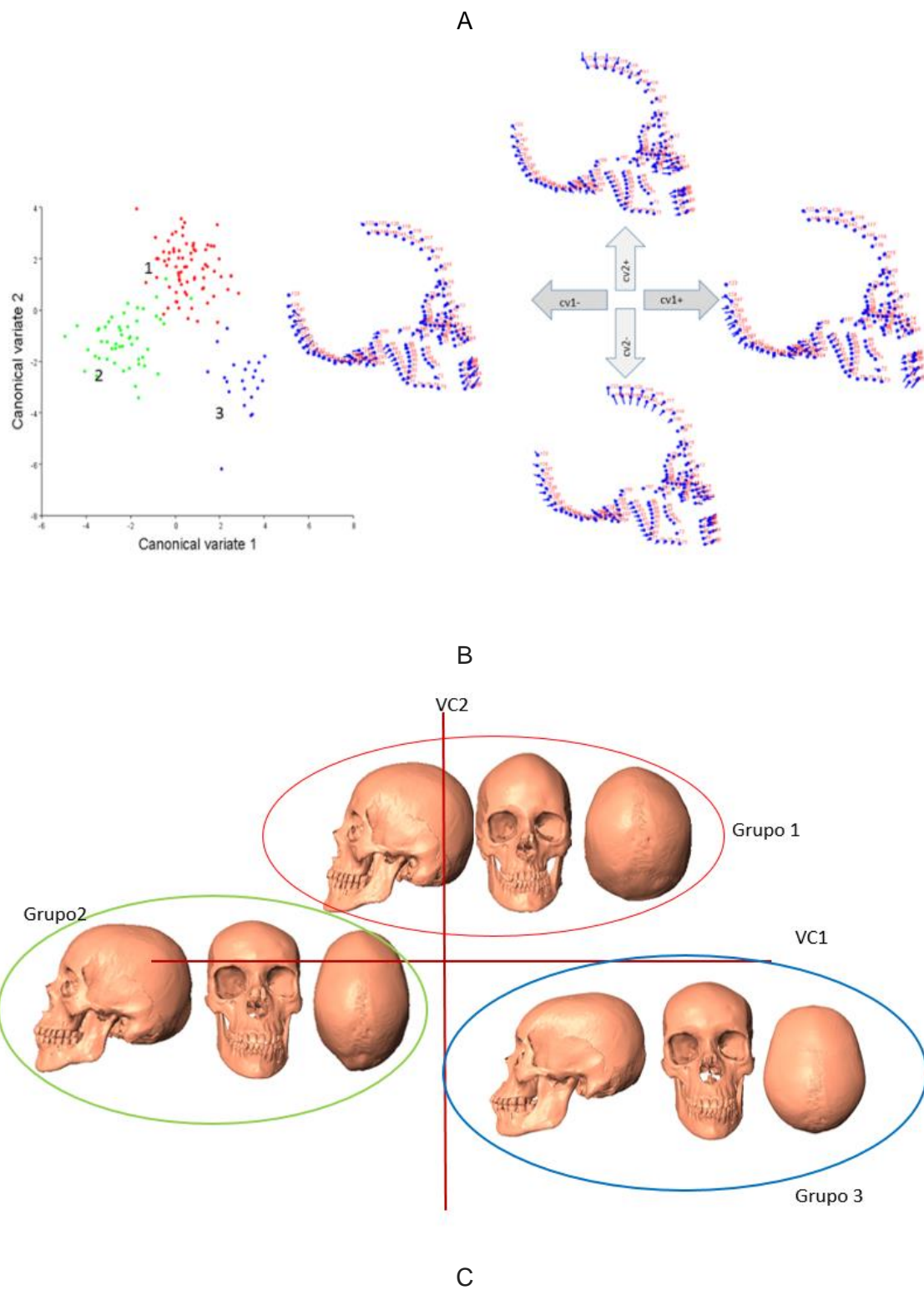
Según los resultados obtenidos, con un nivel de significancia de 0.05, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianza, por lo que se puede decir que existen diferencias significativas entre los grupos previamente mostrados por el dendrograma; no obstante esos agrupamientos no corresponden a grupos etarios, ni a diferencias sexuales. En la Figura 4-9 se muestra por medio de un *boxplot* la descripción de los tres grupos por edad.

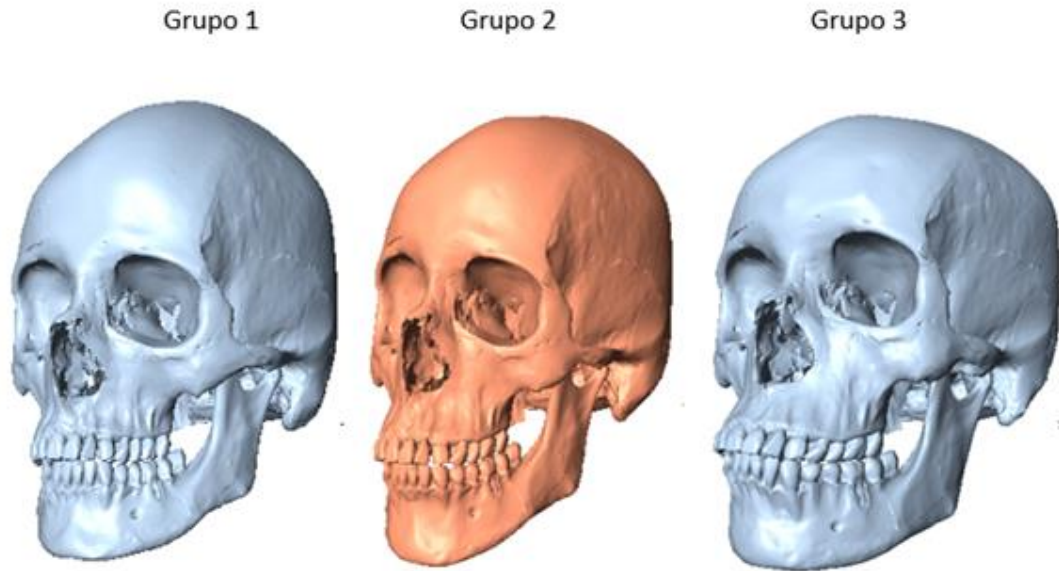
Figura 4-9: Boxplot del agrupamiento de los individuos de la muestra a partir del denfograma .



Para determinar cuáles características morfológicas comparten los individuos dentro de cada grupo, se realizó un Analisis de Variables Canonicas. En la Figura 4-10 A, B y C se muestran los patrones de forma que caracterizan los grupos.

Figura 4-10: Analisis de Variables Canónicas de la conformacion total para determinar la variación morfológica.





La Figura 4-10 A. muestra, en la nube de puntos, una clara diferencia en los tres grupos, los patrones de conformación que caracterizan a cada grupo se observan en los vectores de deformación sobre los ejes de cada variable canónica. B. *Morphing* de los tres grupos. C. comparación en vista 3/4 de las características morfológicas de los tres grupos.

El **grupo 1** localizado sobre el lado positivo de la segunda variable canónica, está caracterizado por un aumento en vertical y una disminución anteroposterior del cráneo completo con aplanamiento de la zona occipital, así como estrechamiento transversal de la cara, una calota más vertical o elongada en vista de frente y corta en sentido anteroposterior, maxilares bi-retrognáticos con una rama mandibular más estrecha y mastoides marcadamente amplias y orientadas en sentido vertical, la frente más amplia en sentido vertical y angosta en sentido trasversal, orbitas más pequeñas y colocadas más inferior y medialmente, disminución del tercio medio de la cara debido a una disminución vertical alveolar superior e inferior. El **grupo 2** localizado en el lado negativo de ambas variables canónicas está caracterizado por una calota dolicocefala severa, prognatismo maxilo- mandibular, cuerpo y rama mandibular amplias con aumento del ángulo goniaco, mentón hacia abajo y atrás, mastoides amplias y más anguladas, orbitas posicionadas más superior y medialmente, aumento del tercio inferior de la cara por aumento de la dimensión vertical superior e inferior. En tanto que el **grupo 3** localizado en el lado positivo de la primera variable canónica y al lado negativo de la segunda, se caracteriza por una franca

biprotusión, dolicocefalia moderada, la mandíbula presenta un cuerpo y rama amplios, con el ángulo goniaco recto, mentón posicionado hacia adelante y arriba, malar proyectado, mastoides delgada y angulada, orbitas redondeadas y levemente más inferiores, apertura piriforme levemente más amplia y apófisis alveolares robustas.

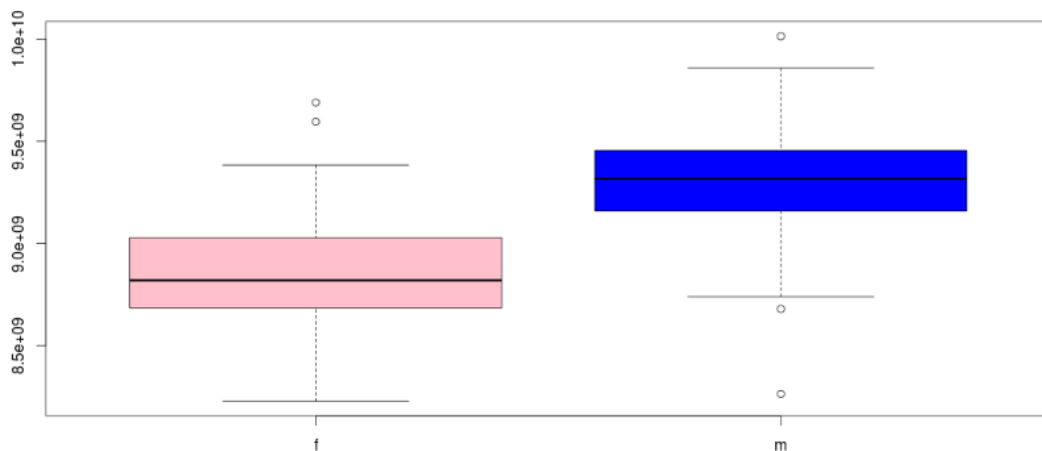
Según los resultados de este análisis, se puede concluir que los sujetos que componen la muestra no presentan un agrupamiento inicial por maloclusión dental, edad o sexo; presentando un agrupamiento según rasgos morfológicos por un factor no determinado.

Una vez depurados los datos y caracterizada la muestra, los resultados de esta investigación se expondrán de acuerdo a los tres objetivos planteados:

4.1 Objetivo específico uno

Para determinar el grado de dimorfismo sexual, que está definido, como las diferencias en tamaño entre hombres y mujeres de una misma especie, se realizó una razón entre el promedio de tamaño de hombres sobre el promedio de tamaño de mujeres; como se mencionó anteriormente, en MG el tamaño está representado por el tamaño del centroide, el grado de DS en la muestra correspondió a 5.1658%. En la figura 4-11 se esquematiza la diferencia en tamaño entre hombres y mujeres de la muestra (f: femenino, m: masculino)

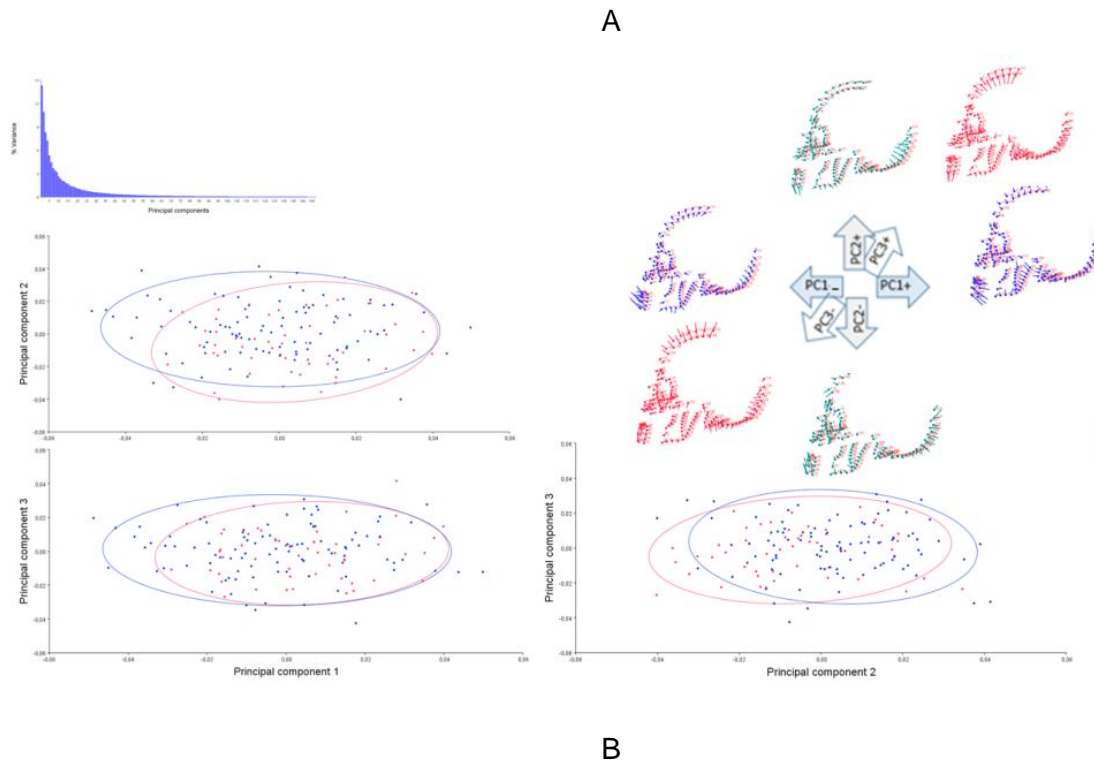
Figura 4-11: Boxplot para describir las diferencias en tamaño en la muestra.

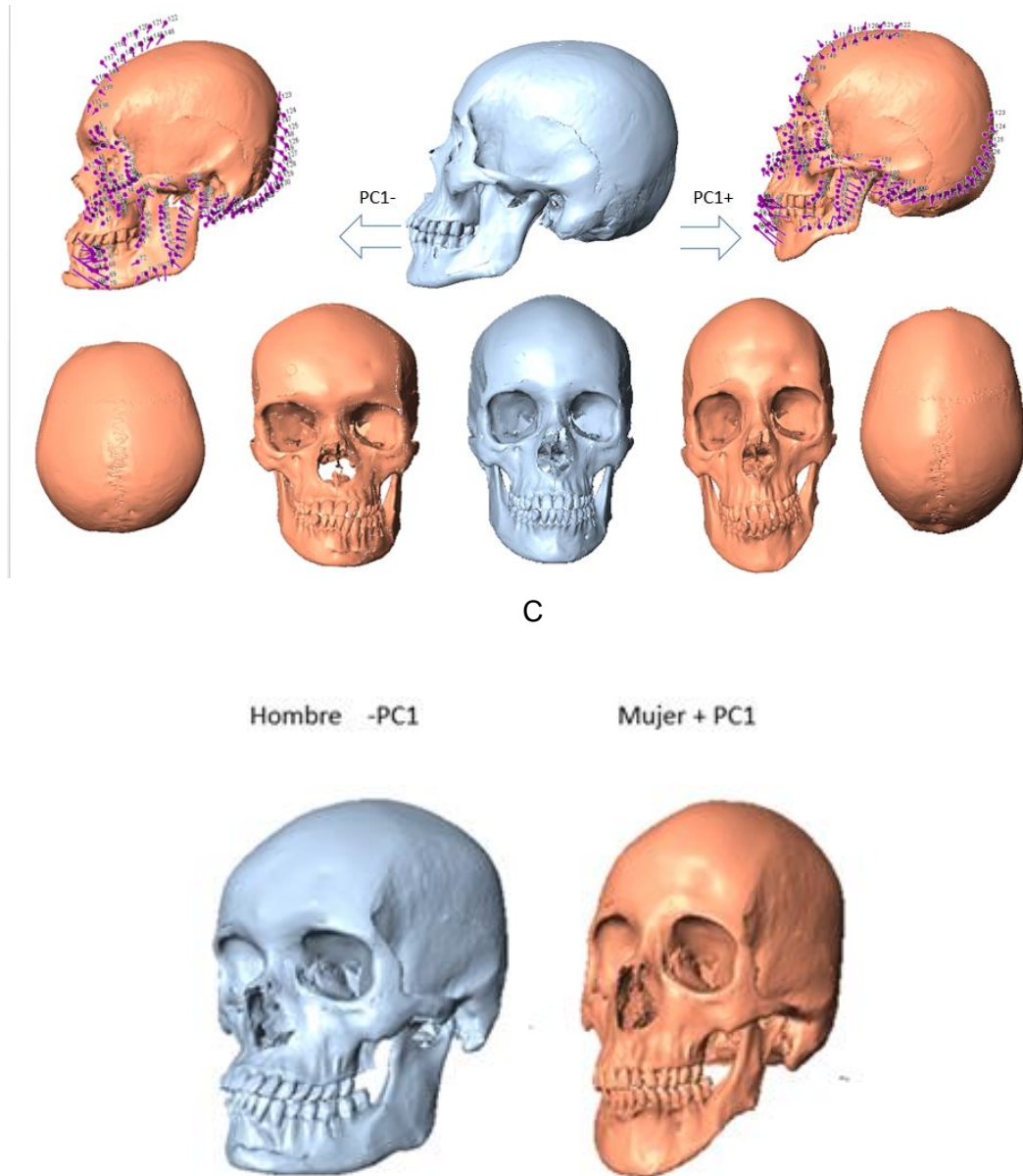


Para sustentar estadísticamente estas diferencias se formuló la hipótesis nula de igualdad de efectos medios de los tamaños, teniendo como estadístico de prueba la t-Student, encontrando un valor para este estadístico $t=-8.8856$ con un valor del estadístico $p=0.0000001$, llevando claramente a tener fuerte evidencia de rechazo de la hipótesis, con lo cual hay claras diferencias entre los tamaños de los centroides (en la forma general) entre los grupos de hombres y mujeres.

Ahora bien, para determinar los patrones de cambio morfológico, se realizó un análisis visual de los vectores de deformación para el cráneo completo y para los siete rasgos marcadores sexuales con respecto a la forma consenso, lo cual se llevó a cabo por medio de los *plots* de los primeros tres componentes principales, debido a que ellos son los que acumulan la mayor variación en todos los casos. En las Figuras 4-12 a 4-19 que se muestran a continuación se esquematiza dichos patrones.

Figura 4-12: Patrones de conformación de la región craneofacial total





En la Figura 4-12. A. Análisis de componentes principales, varianza acumulada y patrones de deformación morfológica para el cráneo completo. B. deformaciones sobre el eje del primer componente principal en vista lateral con vectores de deformación, vista frontal y superior. C. Diferencias morfológicas entre hombres y mujeres sobre el primer componente principal.

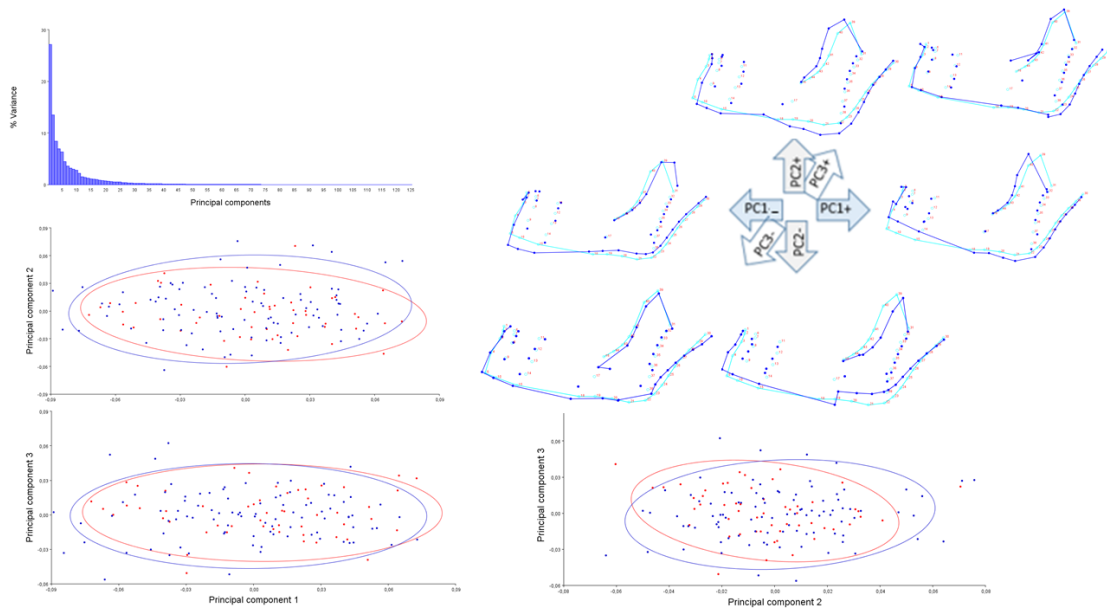
Como se observa en la Figura 4-12 A, aunque no hay una clara distinción entre el grupo de hombres y de mujeres en la nube de puntos, mostrando un gran solapamiento; se puede apreciar que los hombres se ubican en el lado más negativo del primer componente

principal y al lado más positivo de los dos siguientes componentes, que acumulan en total el 31,87% de la variación.

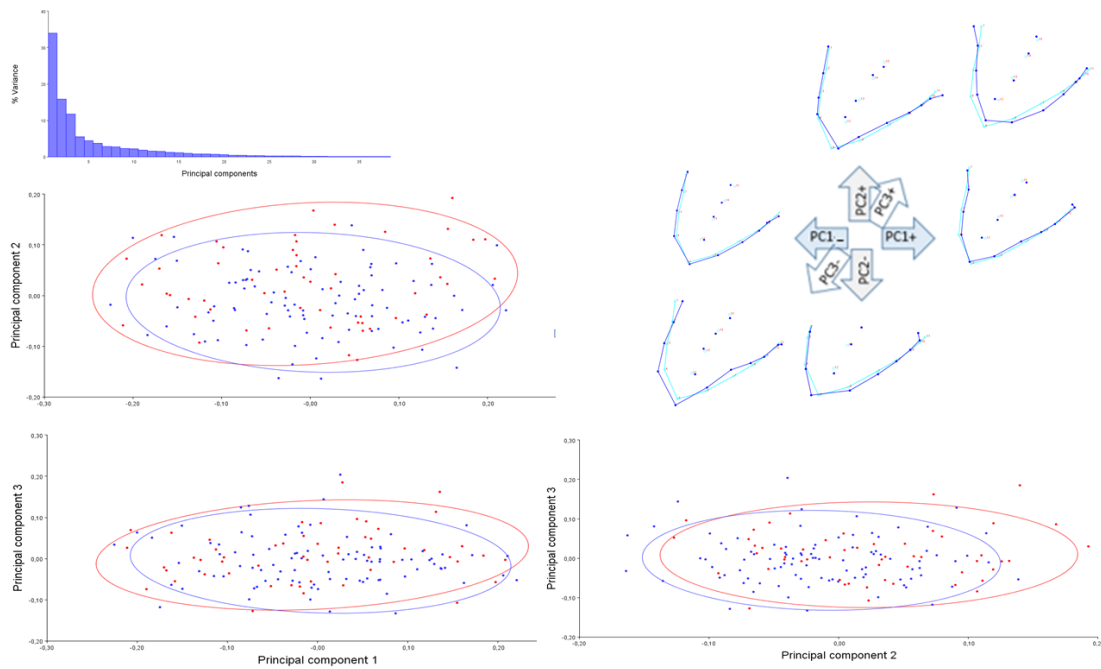
A continuación se hará una descripción detallada de los cambios sobre el primer eje principal en vista frontal, lateral y superior:

Los hombres se localizan sobre el lado negativo del primer CP (Figura 4-12 B), que acumula una varianza de 13,60%, en una vista lateral se observa: un cuerpo y rama mandibular más amplias en sentido anteroposterior y vertical, el mentón presentando una fuerte tendencia hacia adelante y arriba, leve disminución vertical alveolar del sector anterior del maxilar superior e inferior lo que resulta en una disminución de la dimensión vertical facial; la región glabellar más pronunciada mientras que el puente nasal aparece deprimido con respecto a las estructuras vecinas, lo que resulta en una disminución de la proyección facial; mientras la mastoides más amplia está posicionada más posterior, al igual que el arco cigomático; la forma general del cráneo es más aplanado a nivel del frontal y parietal como también a nivel del occipital. La vista frontal muestra una gran amplitud biparietal y bicigomática, con disminución en la altura vertical total, mayor amplitud de las órbitas con disminución en su altura dando como resultado una forma rectangular como también un aumento en la amplitud de la piriforme; el segmento posterior tanto del maxilar como de la mandíbula presentan leve aumento del área alveolar, mientras que el cuerpo del maxilar presenta un aumento en sentido supero-inferior.

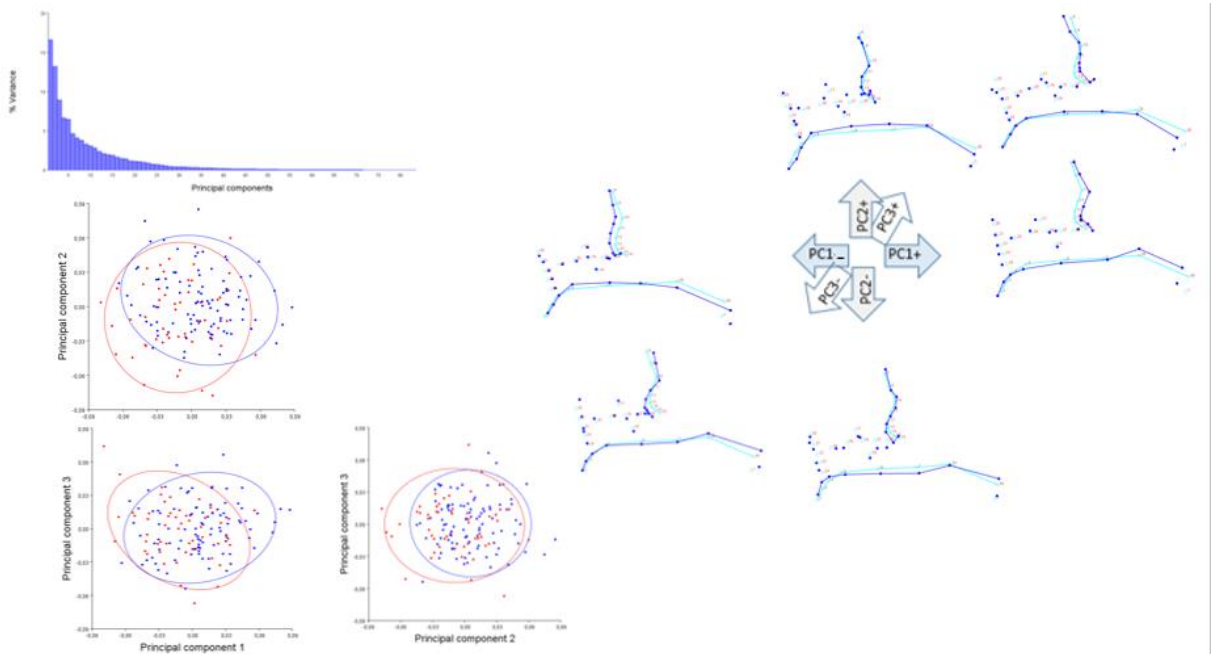
En las siguientes figuras se observan los patrones para los siete marcadores sexuales

Figura 4-13: Patrones de conformación para la mandíbula.

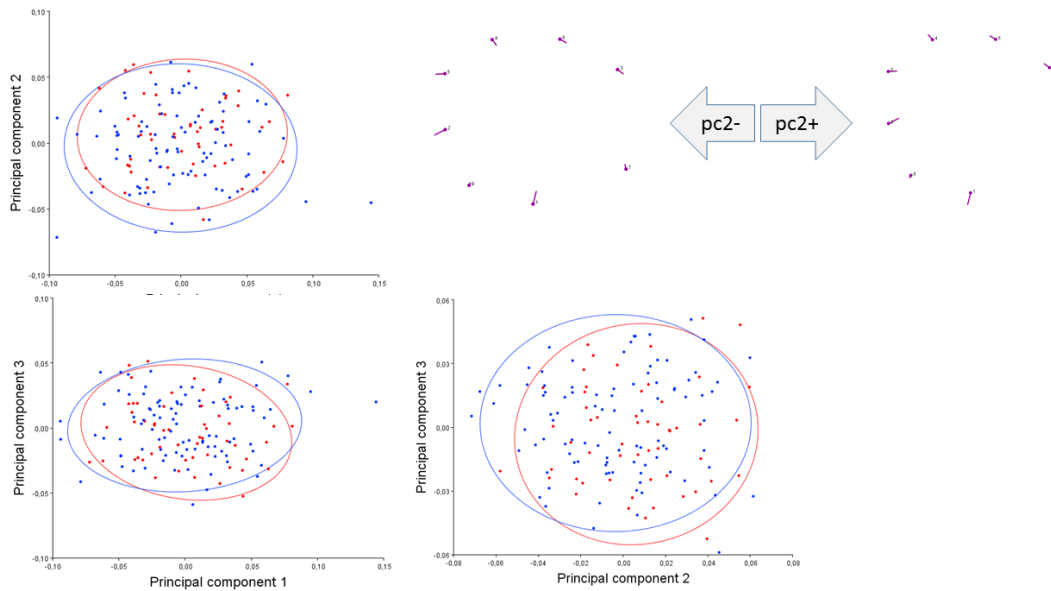
Sobre el rasgo mandíbula, como se aprecia en la Figura 4-13, se observa ACP, varianza acumulada y patrones de deformación morfológica: no se observa una clara distinción entre el grupo de hombres y de mujeres (hombres color azul), mostrando aún más solapamiento; se puede apreciar que los hombres se ubican, levemente, en el lado más negativo de los tres componentes que acumulan el 49,033% de la variación, mostrando un aumento del cuerpo, rama y mentón mandibular, con un incremento vertical en el área del mentón; en comparación con los individuos que se ubican en el lado más positivo de los ejes es decir las mujeres.

Figura 4-14: Patrones de conformación para la mastoides

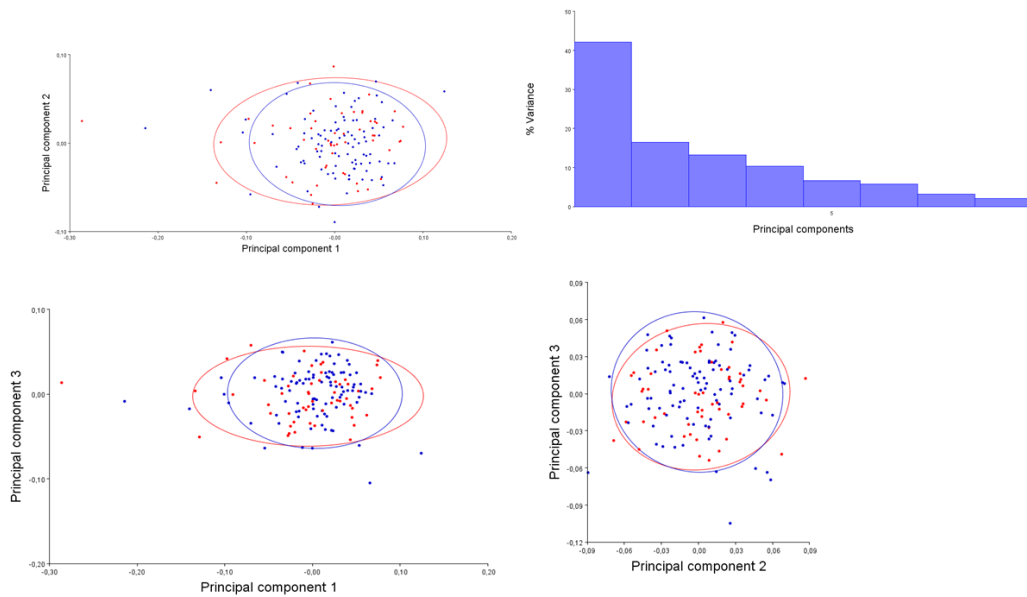
Sobre el rasgo mastoides se observa menor solapamiento entre hombres y mujeres, se puede apreciar que los hombres se ubican en el lado más positivo del primer componente, mientras que para el segundo y tercer componente se encuentran al lado más negativo; los primeros tres componentes acumulan el 61,622 % de la variación; con mastoides más amplias, largas y con una disposición más horizontal o angulada, en comparación con los individuos que se ubican en el lado contrario de los ejes, como se observa en la Figura 4-14

Figura 4-15: Patrones de conformación para el malar

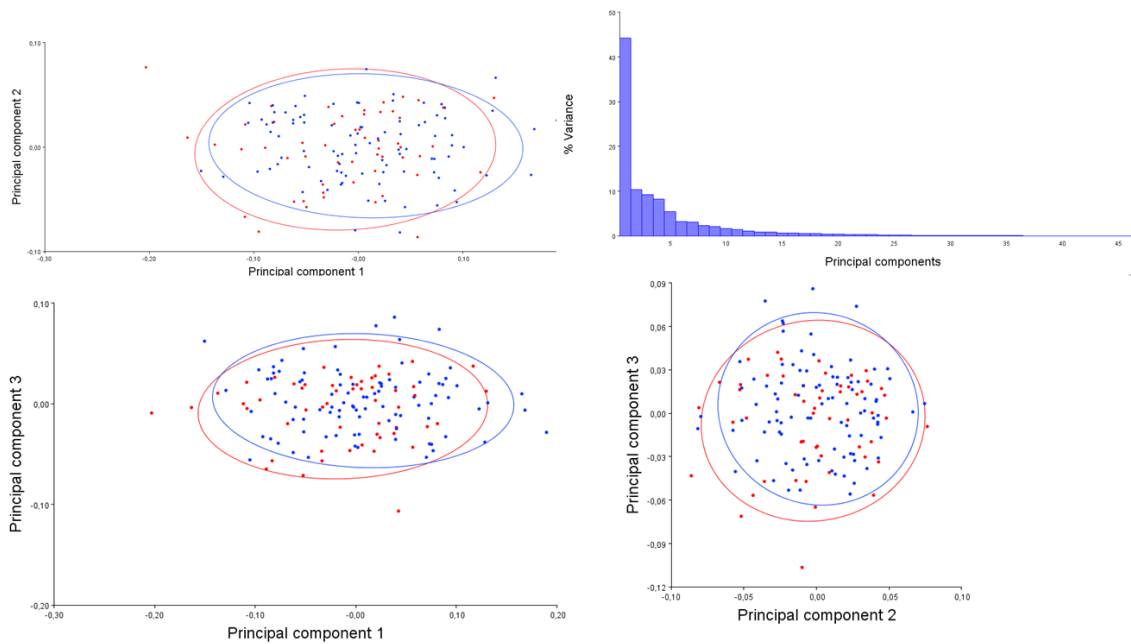
El malar, como se nota en la Figura 4-15, presenta mayor diferenciación entre hombres y mujeres; que se aprecia mejor sobre los tres primeros componentes, en donde los hombres ocupan una posición más positiva, en este sentido, en los hombres, toda la estructura del malar se aprecia más amplia en sentido anteroposterior, excepto para la apófisis cigomática la cual se presenta más ancha en sentido vertical y con una disposición más superior, en comparación con los individuos que se ubican en el lado positivo de este eje; los tres primeros componentes acumulan el 63,641% de la varianza

Figura 4-16: Patrones de conformación para la órbita

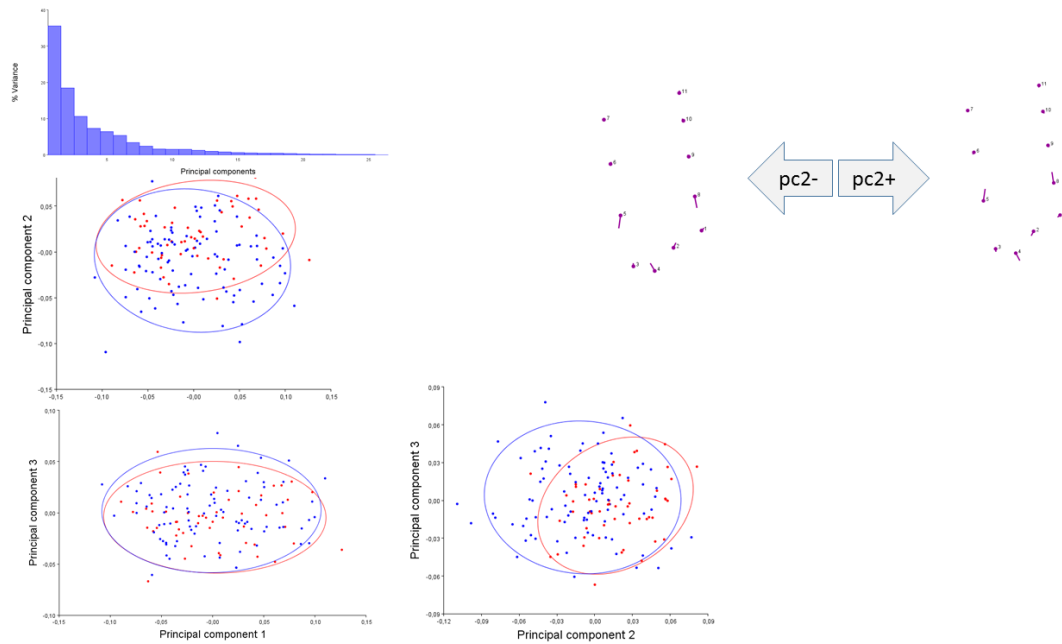
Para la órbita, ilustrada en la Figura 4-16, en donde los tres primeros componentes principales acumulan el 57,506% de la varianza, los hombres ocupan una posición más negativa sobre el segundo componente, presentando orbitas más amplias en sentido transversal y estrechas en sentido vertical con una forma más cuadrangular, mientras que las mujeres presentan formas más redondeadas.

Figura 4-17: Patrones de conformación para la apertura piriforme

En cuanto a la apertura piriforme, lado izquierdo, ilustrada en la Figura 4-17, en donde los tres primeros componentes principales acumulan el 71,761% de la varianza, hay un total solapamiento, por lo que no se presentan patrones claros de cambio morfológico.

Figura 4-18: Patrones de conformación para el occipital

La cresta nugal, aquí denominada occipital ilustrada en la Figura 4-18, en donde los tres primeros componentes principales acumulan el 63,824% de la varianza, pero en donde el primer componente acumula el 44,277% de dicha varianza, también se presenta un total solapamiento, por lo que no se presentan patrones claros de cambio morfológico.

Figura 4-19: Patrones de conformación para la glabella

En la Figura 4-19, para el rasgo glabella, en donde los tres primeros componentes principales acumulan el 64,694% de la varianza, sobre el componente principal dos se aprecia que los hombres se ubican sobre el lado negativo, presentado una disminución de vertical y una leve proyección del rasgo.

4.2 Objetivo específico dos

En cuanto a la separación de los grupos y la capacidad del modelo para discriminar por rasgos el sexo de nuevos individuos por conformación (*shape*), se utilizó un análisis discriminante sobre las coordenadas alineadas y validación cruzada. La tabla 4-5 muestra el porcentaje de correcta clasificación de nuevos individuos por sexo según los rasgos morfológicos de los marcadores sexuales, así como el porcentaje de correcta clasificación con el chequeo cruzado con el p-valor para t^2 para permutaciones evaluando la significancia de la diferencia entre medias de los grupos de hombres y mujeres.

Tabla 4-5: Función discriminante y chequeo cruzado para la conformación

Rasgo	Función Discriminante	Chequeo cruzado	P valor
Total	99,3%	82,43%	0,001
Mandíbula	100%	62,83%	0,0100
Mastoides	86,48%	69,59%	0,001
Malar	93,24%	71,62%	0,001
Orbita	75%	64,18%	0,001
Piriforme	62,83%	55,4%	0,2090
Occipital	84,45%	66,21%	0,001
Glabela	85,13%	70,94%	0,001

Según los resultados obtenidos en la función discriminante, con un nivel de significancia de 0.05, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias para los rasgos craneal total, mandíbula, mastoides, malar, orbita occipital y glabella por lo que se puede decir que existen diferencias significativas entre los grupos de hombres y mujeres, en especial para los rasgos mandíbula y craneal total que mostraron los porcentajes de discriminación más altos. En tanto que para el rasgo de apertura piriforme se acepta la hipótesis nula de igualdad. Asimismo, la confiabilidad de la discriminación evaluada por chequeo cruzado muestra porcentajes más bajos de correcta clasificación por rasgos, en donde los mayores porcentajes fueron para la conformación total seguido por el rasgo malar.

Debido a que el DS es un atributo de los individuos variando tanto en conformación (*shape*) como en tamaño, se realizó un análisis discriminante sobre la forma (*shape* mas TC), se realizó una multiplicación de la matriz de coordenadas alineadas con el TC, sobre esta nueva matriz se realizó un análisis de CP evaluando las nuevas variables en el espacio de la forma y luego se realizó un análisis discriminante con validación cruzada. En la Tabla 4-6 se muestran los porcentajes de discriminación y de clasificación de nuevos individuos en el espacio de la forma.

Tabla 4-6: Función discriminante y chequeo cruzado para la forma.

Rasgo	Función discriminante	Chequeo cruzado	P valor
Total	85,82%	85,14%	1,89144E-16
Malar	84,45%	83,78%	4,34095E-15
Mandíbula	85,13%	84,45%	1,0341E-15
Mastoides	79,05%	79,05%	1,48981E-10
Orbita	83,78%	83,10%	2,48779E-14
Piriforme	84,45%	81,75%	5,03118E-13
Occipital	79,72%	78,37%	2,15788E-10
Glabela	83,78%	83,78%	3,42755E-15

Según los resultados obtenidos en la función discriminante para la forma, con un nivel de significancia de 0.05, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias para todos los rasgos, por lo que se puede decir que existen diferencias significativas entre los grupos de hombres y mujeres. Los rasgos mandíbula y craneal total, mostraron los porcentajes de discriminación más altos. Asimismo, la confiabilidad de la discriminación evaluada por chequeo cruzado muestra porcentajes más bajos de correcta clasificación por rasgos, en donde los mayores porcentajes fueron para la conformación total seguido por el rasgo mandíbula.

4.3 Objetivo específico tres

Para establecer la relación entre la conformación y el tamaño de los rasgos (alometría), fue realizado un análisis de regresión lineal entre las coordenadas de Procrustes y el tamaño del centroide. En la Tabla 4-6 se muestra la capacidad predictora de cada rasgo y su valor de significancia.

Tabla 4-7: Capacidad predictora por rasgo

Rasgo	% de predicción	P valor
Total	2,5469%	<0,0001
Mandíbula	2,0455%	0,0036
Mastoides	1,4189%	0,0498
Malar	1,2697%	0,0949
Orbita	1,3152%	0,0588
Piriforme	0,5769%	0,4801
Occipital	1,5256%	0,0522
Glabela	0,9860%	0,1684

Según los resultados obtenidos, con un nivel de significancia de 0.05, se rechaza la hipótesis nula de isometría para los rasgos craneal total, mandíbula y mastoides por lo que se puede decir que el componente alométrico estático en los rasgos de esta muestra es significativo; mientras que para malar, orbita, occipital, glabela y apertura piriforme, se acepta la hipótesis nula, por lo que el porcentaje de cambio de forma por la variable tamaño es estadísticamente no significativo.

5. Discusión

Según los principales resultados obtenidos en este estudio en cuanto a las diferencias exhibidas por los sexos en el esqueleto craneofacial de adultos contemporáneos colombianos, se puede afirmar que los individuos: hombres y mujeres, difieren significativamente tanto en tamaño, conformación y forma, con un componente alométrico leve pero significativo.

Se discutirán los resultados obtenidos a partir de este trabajo, según la utilización de imágenes de superficie 3D, analizadas por medio de la metodología morfométrica geométrica basada en *landmarks* y *semilandmarks* para abordar el DS a nivel intrapoblacional.

En esta investigación se utilizó un escáner de luz estructurada para la obtención de imágenes de superficie 3D del esqueleto craneofacial, estas imágenes permiten una adecuada valoración de la morfología ya que la visualización en volumetrías de la región craneofacial mejora la comprensión espacial, evitando la coplanaridad, conservando la muestra y haciéndola portátil lo que facilita su estudio, estando de acuerdo con Toma et al en 2008 y Friess et al en 2002 quienes reportan que la obtención de imágenes 3D construidas a partir de escáner ópticos de superficie permite aceptables niveles de confiabilidad en la reconstrucción y evaluación de la morfología craneofacial (106,136).

La muestra estuvo conformada por individuos pertenecientes a la COHRPC descrita con anterioridad en este trabajo. Aunque el uso de restos óseos contemporáneos para el estudio de DS contribuye a la mejor comprensión de los patrones que caracterizan los sexos en la actualidad y son útiles en la constitución de muestras de referencia población-específicas (8), está bien documentado en la literatura que el uso de este tipo de muestras no representan adecuadamente una población, debido a que no son muestras aleatorizadas y a que los individuos que la conforman representan bajos estratos sociales,

diferente distribución etaria y sexual con respecto a la población de inferencia (7,79). Por tanto, es importante declarar que la elección de los individuos bajo estudio se llevó a cabo con un diseño de selección de muestra por conveniencia aplicando criterios de inclusión y exclusión, tratando de evitar sesgos que comprometieran la validez interna y externa del estudio, aun mas, se llevó a cabo un análisis exploratorio de los datos con el fin de evidenciar tendencias de agrupamiento naturales de la muestra, encontrándose tres grupos de individuos con diferencias significativas en la media por similitudes morfológicas; este agrupamiento no corresponde con estadios ontogénicos o grupos etarios, dimorfismo sexual, maloclusión dental, anomalías craneofaciales sutiles, edentulismo, entre otros; variables de confusión que podrían alterar la interpretación de los resultados. Los patrones que caracterizan los grupos corresponden con características verticales, horizontales y transversales en la cara y el cráneo, con una clara diferenciación en la proyección facial.

Ahora bien, dado que la muestra está constituida por individuos adultos con una media y rango de edad para mujeres (30; 19-100) mientras que para hombres (37; 19-85), podría esperarse que la edad influyera en el DS sexual de la muestra, ya que Mazza en 2013 (17) afirma que la asignación sexual en el cráneo puede estar influenciada por la edad de muerte del sujeto, ya que a medida que los individuos envejecen los rasgos craneales suelen hacerse más robustos, característica típica de los hombres. Los resultados del estudio no concuerdan con esta afirmación, pues no se evidenció una tendencia natural de agrupamiento respecto a estadios ontogénicos, recordando además, que en la muestra hay un bajo número de individuos adultos mayores (ver Figura 4-7).

El tipo de estudio morfo-geométrico utilizado corresponde a MG basada en *landmarks* y *semilandmarks*, este método permitió una adecuada evaluación de la morfología craneofacial en imágenes en 3D, por presentar: diseño apropiado en la evaluación del error encontrándose una consistencia en la colocación de los puntos, buen cubrimiento de las estructuras bajo estudio con la utilización de *landmarks* y *semilandmarks* proporcionando homología biológica y estructural, comparación por superposición de múltiples individuos sin la utilización de planos de referencia y de manera repetible, adecuadas herramientas estadísticas para la evaluación de los resultados con visualización de los mismos sobre el contexto anatómico (*morphing*).

Este estudio mostró gran acuerdo intraoperador según los resultados de ANOVA y cci, revelando una consistente colocación de puntos para describir la morfología craneofacial

y la variabilidad debida al error humano siempre fue menor a la variabilidad entre y dentro de los grupos pese al uso de semilandmarks, por lo que la diferenciación entre grupos de hombres y mujeres estuvo mínimamente influenciada por la variabilidad introducida por el operador. Esta metodología para evaluar la consistencia en la colocación de los puntos está de acuerdo con previos trabajos realizados (40, 75, 89, 92,17). Sin embargo, se debe mantener en mente que la variabilidad diferencial de la estructura biológica es repartida equitativamente en la configuración de landmarks debido al tipo de superposición, por lo que errores o grandes diferencias en un solo punto, son enmascarados en la variabilidad de toda la configuración, en lo que se ha denominado “efecto pinocho” (115). No obstante por medio del procedimiento de detección de datos atípicos estos sucesos fueron detectados y corregidos.

Un punto crucial con el método empleado, es hallar un adecuado equilibrio entre el número de variables que representen adecuadamente una estructura biológica, sin que ese número exceda el de individuos en la muestra, con el fin de no comprometer la precisión de los análisis estadísticos (68). En este trabajo, el número de variables que representan la conformación total fue ampliamente superior al de individuos de la muestra, por lo que la interpretación de los resultados sobre estos datos fue cuidadosa, sin embargo, en la evaluación por rasgos, el número de variables fue adecuada al compararlo con el número de individuos en la muestra. Por lo que la discriminación en rasgos como la mandíbula y la mastoides se puede considerar muy precisa.

El uso de *morphing*, que son deformaciones de una representación morfológica superficial de la configuración consenso sobre un individuo en la muestra, análogo a la técnica *thin plate spline* para contornos en 2D (112), donde las imágenes caracterizan las deformaciones sobre los extremos de los ejes de variación o componentes, y que por medio de herramientas de animación computarizada, producen imágenes espectaculares de los resultados; deben ser interpretadas con sumo cuidado pues las deformaciones exceden los límites de la configuración de *landmarks* y van hasta la deformación de toda la superficie por medio de métodos matemáticos, que no necesariamente podrían representar la realidad biológica. La caracterización morfológica tanto de la agrupación natural de la muestra como de la diferenciación sexual hecha sobre la conformación total que, por una parte es la característica con mayor número de *landmarks* y, por otra, es

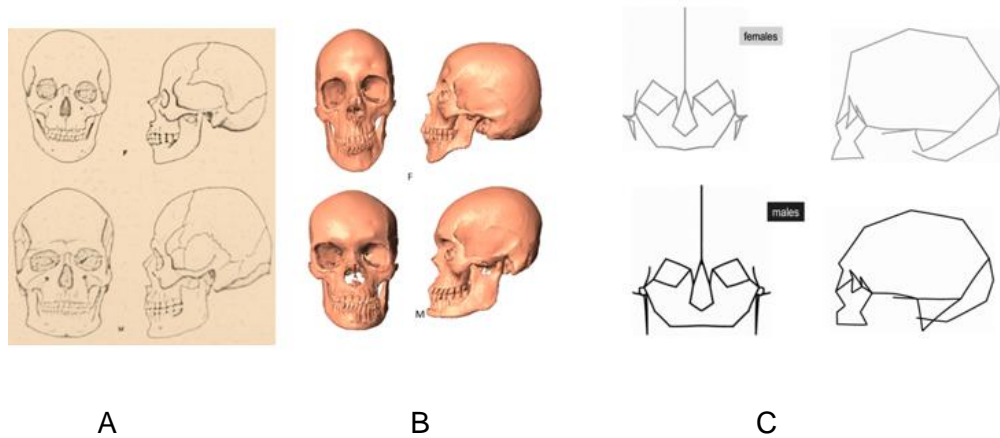
representada por medio de *morphing*, presentan diferencias visuales importantes pero que pudieran estar sobre dimensionadas.

Para el primer objetivo planteado, evaluar el grado y patrón de DS en una población contemporánea colombiana, los resultados de la investigación indican que esta población presenta diferencias significativas en las medias de los dos grupos (hombres y mujeres) cuando se comparan según el tamaño, más aun, el grado de DS encontrado es de 5,16% con los hombres de mayor tamaño que las mujeres. Se ha argumentado que a través del tiempo los humanos contemporáneos han disminuido el índice de DS y que las diferencias entre hombre y mujeres se ubican hoy entre el 4-7% comparados con los primeros homínidos que exhibían un índice de DS de 66% (1,2). Nuestros resultados están de acuerdo con hallazgos previos sobre DS en tamaño, tanto con morfología tradicional (1,2,133), como con MG (13,15,62,89,136,137), en donde se evidencia consistentemente que los hombres son significativamente de mayor tamaño que las mujeres, sin embargo, la población de este estudio presenta un grado de dimorfismo más bajo al compararlo con poblaciones antiguas de Sur de América (137,138), pero más alto al compararlo con poblaciones antiguas y contemporáneas de la península Ibérica (133), estas diferencias pueden deberse a las diferencias metodológicas utilizadas, puesto que el DS en tamaño en este estudio hace referencia a la magnitud de la región craneofacial total y está representado por el tamaño del centroide; o a diferencias poblacionales geográficas y/o temporales. Es importante anotar que, en Colombia, hay una visible falta de estudios con respecto a la variación sexual poblacional en tamaño craneofacial por diferencias espaciales y temporales. Por último la causa de pérdida de DS en tamaño en esta población no puede ser inferida por los resultados de esta investigación.

Aunque los individuos femeninos y masculinos exhibieron diferencias en patrones morfológicos relacionados con el factor sexo, en la conformación craneofacial total, así como en marcadores mandíbula, glabella, mastoides, malar, occipital, orbita y piriforme; se evidenció consistentemente, gran solapamiento de los grupos sobre el primer eje de componentes principales (eje que acumula la mayor variación) en todos los casos, al igual que en los dos ejes siguientes, por lo que ningún eje da cuenta de la mayor variación morfológica derivada del factor sexo, estando de acuerdo con previos estudios (102,103,104).

Los patrones de DS muestran que los hombres presentan, para la conformación craneofacial total, una amplitud y robustez de los rasgos en general, con un aumento en la amplitud facial y una disminución de la dimensión vertical, expresada mayormente en la altura de la frente y del tercio inferior de la cara, como consecuencia de una glabella proyectada anterior e inferiormente y mandíbula más amplia y proyectada antero-superiormente, orbitas cuadrangulares y con una posición más profunda con respecto a las estructuras adyacentes, apertura nasal más amplia y braquicefalia. Estas características están de acuerdo con Rodríguez (1) excepto para la forma superior del cráneo, que sin embargo coincide con Franklin et al (8) en esta zona. En la figura 5-1 se hace una comparación grafica de las diferencias sexuales en el cráneo según Rodríguez (1), Franklin (8) y los resultados del presente trabajo.

Figura 5-1: Diferencias visuales entre hombres y mujeres, comparación con reportes previamente reportados y los resultados del presente estudio.



Diferencias entre hombres y mujeres reportadas por Rodríguez (1) (A), las obtenidas en el presente trabajo (B) y las reportadas por Franklin (8) (C).

Por otro lado, el porcentaje de varianza explicada por los tres primeros CP en la conformación craneofacial total fue de 31,87%, siendo 13,60 para el primer componente, 10,41% para el segundo y 7,86% para el tercero en este trabajo; que fue relativamente alta al compararlo con otros estudios como el de Green et al (15) donde los primeros ejes acumularon menos (1,88%-2,80%) en una muestra asiática, lo que reafirma que el DS en esta muestra es mayor que en la oriental.

En el análisis del rasgo mandíbula los patrones que diferencian los sexos corresponden a mandíbulas más amplias y robustas con un aumento marcado en el área del mentón, al compararlo con el grupo de mujeres. Así mismo, para el rasgo mastoides se presenta una mayor amplitud relativa con una posición angulada de esta estructura en los hombres respecto a las mujeres. La órbita presenta mayor amplitud en sentido transversal, mientras en sentido vertical es más estrecha con una forma más cuadrangular, opuesto a las mujeres quienes presentan formas más redondeadas. En la glabella se presenta una disminución vertical y una leve proyección anterior del rasgo. Contrariamente, en los rasgos occipital y piriforme no se aprecian cambios en los patrones morfológicos por un solapamiento completo de los grupos para estos marcadores, lo que puede corresponder a una falta de adecuada caracterización de dichos rasgos con el presente método, esta dificultad fue encontrada principalmente en la zona occipital y podría corresponder a una ausencia de *landmarks* que delimite dicho marcador.

Los presentes resultados, en cuanto al área del mentón, contrastan con los resultados obtenidos por Rosas y Bastir (102) dado que, en la muestra Bogotana el mentón en las mujeres se muestra más retraído en comparación con mentón más prominente en las mujeres de la muestra de Rosas. Más aun, a diferencia de los resultados obtenidos por Rosas y Bastir (102) y Franklin (89), nuestros resultados no muestran gran DS en la apertura piriforme, lo cual puede ser el resultado de las variables usadas para describir esta característica, dificultad reportada también por Moreddu (86), o, a diferencias en la adaptación climática de las poblaciones estudiadas. La mastoides se encontró más amplia en hombres lo que concuerda con (17). Al evaluar la glabella, los actuales resultados están de acuerdo con Rosas y Bastir (102) ya que esta estructura se muestra más prominente y desplazada levemente inferior en los hombres. En cuanto a la órbita, nuestros resultados concuerdan con Bigoni et al. (13) por cuanto los hombres presentan orbitas más rectangulares mientras que las mujeres más globulares. Por último, el rasgo glabella no presentó rasgos definidos claramente en este estudio a diferencia de (17), lo que también puede ser resultado de la baja caracterización de este rasgo en el presente estudio debido a que los *landmarks* escogidos podrían no reflejar adecuadamente la forma de esta estructura.

Se ha reportado que el DS craneofacial está directamente afectado por el tamaño relativo de la región craneofacial (89), el desarrollo muscular y las diferencias en los requerimientos

energéticos (66,76,89,102), como también por la neumatización del seno frontal en el caso específico de la glabella (76), lo que concuerda con lo encontrado en esta investigación, en donde las mayores diferencias fueron encontradas en áreas de inserción muscular, como por ejemplo la inserción de músculos de la masticación, de la expresión facial, así como de cuello y nuca.

El análisis de la región craneofacial de la presente muestra sugiere, que se presenta un DS en tamaño moderado, y que los patrones mostrados, en general, son comunes a otras poblaciones, exceptuando el mentón y la apertura Piriforme, lo que podría corresponder a rasgos población específicos, sin embargo son necesarios estudios más puntuales en dichas áreas.

Según el segundo objetivo propuesto: los resultados obtenidos en este trabajo, los análisis discriminantes muestran muy altos porcentajes de discriminación, al utilizar las variables de conformación, lo que contrasta con el gran solapamiento de los grupos en el ACP, esto se puede deber a que la función discriminante tiende a sobre-estimar la separación de los grupos cuando el número de variables excede el número de individuos en la muestra (112), por lo que la confiabilidad en la discriminación fue evaluada por validación cruzada, tanto para la conformación craneofacial total, como por rasgos marcadores de DS, arrojando niveles de correcta asignación de individuos de sexo desconocido en los grupos: hombres y mujeres (tabla 4-5), siendo el más alto para la conformación craneofacial total (82,43%), seguido del malar (71,62%), siendo relativamente bajo para apertura piriforme (55,4%). Los niveles de correcta asignación son concordantes con el visible solapamiento de los grupos en los análisis de Componentes Principales. Esto podría sugerir, que aunque existe un componente sexual en el esqueleto craneofacial evaluado en la conformación, este no es tan elevado como para realizar adecuadas discriminaciones por sexo cuando se usan marcadores sexuales por separado, siendo mejor utilizar la conformación craneofacial total.

Ahora bien, cuando el tamaño del centroide es incluido en los análisis, la separación de los grupos se muestra más homogénea, siendo la forma total y cada rasgo, estadísticamente diferentes y los niveles de correcta asignación por validación cruzada muestran mejores porcentajes de asignación correcta, en donde la forma total (85,14%) y la mandíbula (84,45%) son los mejores rasgos discriminadores. Estos resultados sugieren,

que la muestra presenta DS tanto en conformación como en forma y que el tamaño es un importante factor en el DS. Estos resultados están de acuerdo con previos estudios (8,12, 92) en donde mejora el porcentaje de correcta asignación de individuos, al incluir el TC en los análisis de región craneofacial total.

Según Novotny referenciado en (137) una característica craneofacial muy confiable determina correctamente más de 60% de las veces un individuo según su sexo, si es confiable clasifica adecuadamente el 50% de los individuos y si es poco confiable clasifica correctamente menos del 50% de los individuos. Por otro lado Krogman, citado en (2, 17,80), estima que si se cuenta con el esqueleto entero y bien conservado de un adulto y se conoce la variabilidad morfológica intragrupal de la población a la que perteneció, el diagnóstico del sexo se podrá realizar correctamente en un 100%; pero si solo se cuenta con los restos del cráneo y no se conoce la variabilidad intragrupal, la capacidad discriminante oscila entre 80 a 90%. Ahora bien, según Rogers (95) las técnicas subjetivas (morfoescopia) sobre la región craneofacial, raramente alcanzan el 90% de correcta clasificación, mientras cuantificar por medio del uso de escalas ordinales, reduce la subjetividad pero no mejora los porcentajes de correcta clasificación, asimismo, las técnicas basadas en morfometría tradicional sobre medidas lineales en el cráneo seco podrían alcanzar rangos de correcta clasificación entre 82 al 89% (colecciones Terry y Hamann) y 88 y 90% (colección Tennessee) (138) entre otras. En el contexto regional algunos estudios sobre variables métricas en cráneo no presentan valores superiores de discriminación al 85% (139).

Con el uso del método morfo-geométrico para la evaluación del sexo basado en rasgos morfológicos de marcadores sexuales craneofaciales, se presentaron niveles aceptables de correcta asignación de individuos, sin embargo, no son superiores en todos los casos a los obtenidos con técnicas morfoescópicas o morfométricas tradicionales. En este estudio no se logró mejorar los niveles de correcta asignación en todos los rasgos, al compararlo con los resultados de otros estudios que utilizaron la misma metodología, aunque diferente definición de puntos y en poblaciones diferentes. Es importante recalcar que el método usado, no solo arroja aceptables niveles de asignación para la conformación y muy buenos porcentajes para la forma, sino que también disminuye la influencia del error intraobservador y se ajusta al estudio de un número importante de cráneos simultáneamente, representando mayor objetividad y aportando mayor evidencia científica

de los resultados. En la tabla 5-1 se muestra un comparativo de algunos porcentajes de correcta asignación.

Tabla 5-1: Tabla comparativa de algunos porcentajes de correcta asignación sexual por marcadores poblacionales.

Rasgo	Resultados del presente trabajo, conformación	Resultados del presente trabajo, forma	Garvin 2012 Colección Terry (91)	Bigoni 2010 Colección Pacher, Praga (14)	Green 2009 Sur este asiático (15)	González 2009 Colección La Plata (140,141)	Frankyn 2006-2008 Surafricanos (71,89)	Kimmerle 2008 Americanos blancos y negros (13)	Franklin Australianos (8)
Total	82,43%	85,14%			72,2% sin mandíbula	60,12%	87%	83-88%	83,5-85,5%
Mandíbula	62,83%	84,45%	Mentón 62,2%				73,8%		
Mastoides	69,59%	79,05%							
Malar	71,62%	79,05%							
Orbita	64,18%	79,05%		74%					
Piriforme	55,4%	79,05%		77%					
occipital	66,21%	78,37%							
Glabela	70,94%	83,78%	79,8%						

En este estudio, y para responder al tercer objetivo planteado, se llevó a cabo una regresión multivariada entre las coordenadas de Procrustes y el tamaño del centroide y se encontró que, al relacionar las variables conformación y tamaño para determinar el componente alométrico estático en la muestra: la conformación craneofacial total mostró mayor componente alométrico seguido por la mandíbula y por la región occipital, regiones que mostraron los mayores cambios en la agrupación natural de la muestra.

El análisis de la morfología craneofacial adulta revela que hay diferencias entre poblaciones humanas modernas. Vioarsdottir et al (67) argumentan que los mecanismos que producen dichas diferencias población-específicas están relacionados con discrepancias en: características prenatales, en las trayectorias ontogénicas y en alometría

ontogénica como el escalonamiento. Los cambios en la variabilidad individual en adultos de una población (alometría estática) reflejan los cambios en los procesos de desarrollo. El estudio de la influencia del tamaño sobre el DS en la etapa adulta ha sido poco estudiada, quizás debido a que son pocas las técnicas que permiten separar estas dos variables. Con MG el estudio de la alometría estática ha producido resultados contradictorios. En este sentido Rosas y Bastir (102), así como González (140,141) quienes afirma que el sexo tiene gran influencia sobre la conformación, y el tamaño también aunque en menor proporción. Por el contrario Kimmerle et al (12) quienes afirman que los individuos de diferentes tamaños y del mismo sexo exhiben formas iguales. Los resultados del presente trabajo indican que existe una leve evidencia de relación entre el DS y el tamaño, acorde con los resultados de Velemíská et al. (107), más aun, cada rasgo marcador de DS puede tener un componente alométrico diferente lo que produciría la variabilidad adulta.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

En resumen, este estudio es particularmente interesante por:

- La evaluación de DS en el tejido óseo de la región craneofacial, en una muestra contextualizada recién conformada de individuos adultos contemporáneos, concluyendo que la muestra representativa de la población bogotana presenta un dimorfismo moderado con respecto a otras poblaciones, cuando se evalúa el tamaño y mostrando unos patrones específicos cuando se evalúa la conformación. El DS así, está caracterizado por mayor robusticidad de los hombres en comparación con las mujeres, principalmente en zonas de la región craneofacial relacionadas con inserción muscular; dichas áreas consideradas marcadores para dimorfismo sexual pueden presentar poder discriminante útil en la asignación de individuos con el fin de diagnosticar sexo.
- La naturaleza tridimensional de las imágenes usadas para analizar la muestra, aspecto importante ya que no solo se mejora la comprensión espacial, sino que además es una manera de conservar la muestra y hacerla portátil
- La metodología morfo-geométrica basada en landmarks y semilandmarks que supera las dificultades de los métodos tradicionales. En este sentido, es importante resaltar las bondades del método como: el control de la variabilidad producto del error intra-operador, el tipo superposición que elimina el uso de planos de referencia y hace posible el análisis de muestras numerosas, el poder estadístico multivariado, la obtención de la conformación y el tamaño como dos variables diferentes y la visualización de los resultados sobre el contexto anatómico.

6.2 Recomendaciones

Se sugiere continuar con estudios de dimorfismo en poblaciones con diferencias espacio temporales; así como en series ontogénicas, y en poblaciones vivas sobre tejidos blandos y dientes.

Las imágenes obtenidas de la colección, pueden y deben ser aprovechadas en el análisis de otras variables relacionadas con la variabilidad morfológica poblacional.

Es importante profundizar en la tendencia natural de agrupamiento de la muestra con el fin de encontrar la razón de tal agrupamiento.

A. Anexo: Instructivo de selección de la muestra

La población de estudio está determinada por adultos contemporáneos mestizos colombianos. Serán examinados cráneos pertenecientes a cuerpos de la Colección Ósea Humana de Referencia del Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Individuos pertenecientes a la COHRPC	Cuerpos que por su identificación no sean colombianos
Mayores de 19 años o menores de 100 años	Cráneos incompletos o en mal estado de conservación, incluidos mandíbula y dientes. <ul style="list-style-type: none">- Índice de completitud diferente de 4- Índice de deterioro diferente de 1- Número de dientes que no permita oclusión estable
Que presenten identificación completa con sexo y edad	Con evidencias de malformaciones o alteraciones craneofaciales premortem perimortem o postmortem

Criterios de conservación para la elección de la muestra:

- Índice de completitud modificado por Gordon y Buikstra 1981:
Índice que evalúa la cantidad de tejido óseo presente y permite establecer la proporción de la masa preservada y el grado de destrucción ósea. Las categorías en las que se divide este índice son:
0 = elemento óseo ausente

1 = 1 a 25 % del elemento óseo presente

2 = 26 a 50% del elemento óseo presente

3 = 51 a 75% del elemento óseo presente

4 = 76 a 95% del elemento óseo presente

5 = 95 a 100% del elemento óseo presente

En esta investigación los cráneos seleccionados deben tener grado 4 de completitud

- Deterioro óseo modificad por Gordon y Buikstra 1981:

Este factor evalúa la alteración macroscópica de la estructura ósea trabecular y cortical, las categorías en que se divide el deterioro óseo son:

1 = El aspecto que presenta la superficie cortical es suave, se evidencia una buena preservación de la estructura ósea, con un mínimo o nulo deterioro a nivel macroscópico.

2 = Superficie cortical suave en gran parte del elemento, aunque algunos sectores acotados presentan destrucción cortical parcial y exposición del tejido esponjoso.

3 = Superficie cortical rugosa, áspera y /o agrietada, perdida de parte de la estructura ósea externa, parte de los bordes presentan un grado inicial de erosión y pérdida cortical, con alteración mínima o nula de la trabécula.

4 = Deterioro masivo de la superficie del hueso con pérdida de tejido y alta exposición de la trabécula ósea.

En esta investigación, el criterio preservación debe corresponder a 1.

Instructivo de selección de la muestra:

1. Se accederá a la muestra de día, dos operadores (MR) y (CI) realizaran la selección de los individuos, por criterios de inclusión y exclusión, los aspectos de conservación se evaluaran de manera macroscópica y a ojo desnudo.
2. Se iniciará la recolección, por verificación visual de la integridad del cráneo y la mandíbula, se hará una inspección del número de dientes presentes, en caso de ausencias se corroborará que la oclusión, al engranar la mandíbula con el cráneo sea estable, para la cual es necesario que estén presentes dientes posteriores de manera bilateral, así como dientes anteriores.

3. En caso que el cráneo presente corte en la calota por protocolo de autopsia médico-legal, verificar que las partes coincidan de la mejor forma posible.
4. Por inspección visual, verificar que el cráneo y la mandíbula no presenten deformaciones severas.
5. Solicitar los documentos que acompañan cada individuo y en ellos ubicar información según el cuadro de recolección de la muestra.
6. Antes de iniciar el registro de las imágenes, tapar las marcas de identificación, con cinta de enmascarar o plastilina blanca, en calota, cráneo y mandíbula, así como la fractura de calota por protocolo de autopsia médico-legal, o cualquier pequeño accidente anatómico que en la imagen reconstruida pueda ser leído como un hueco.

B. Anexo: Protocolo de obtención de imágenes

La obtención de las imágenes de los cráneos en tres dimensiones será realizada con un equipo con las siguientes características:

Escáner de superficie, de luz estructurada azul (ATOS compact Scan, GOM Germany)

Especificaciones del equipo:

Píxeles de cámara: 2 X 2 000 000, Precisión: 10 μ m, Densidad de puntos: 0.124 mm, Profundidad de campo (distancia de trabajo) 230 mm, Campo de visión: 300 x 230 x 230 mm, Distancia del objeto 590 mm, Longitud focal (cámara) 17 mm

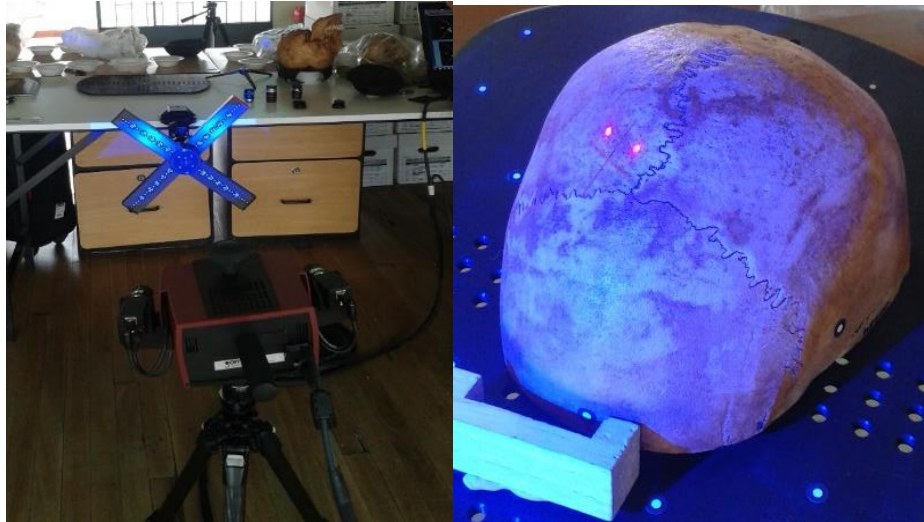
Manejo del equipo:

Todo equipo para estudios morfométricos debe tener una calibración con el fin de reducir el error sistemático. En el caso del escáner utilizado, el equipo posee un software que indica cuando y como se debe calibrar, sin embargo la calibración se realiza cada dos semanas de rutina y se realiza mediante un panel de calibración de 300 x 170 mm con un arreglo de puntos, el software coge los 4 puntos de las esquinas y saca la medida de las diagonales, esta medida tiene certificado de calibración del panel.

El inicio del equipo, una vez encendido, requiere de 30 minutos con el fin de estabilizar temperaturas y ajustar distancias, la distancia de trabajo cámara-objetivo que es de 59 cm, se comprueba automáticamente por medio de la proyección de dos puntos laser sobre el objeto a escanear, cuando los dos laser están juntos sobre el objetivo, la distancia de trabajo es óptima. El equipo es sensible al movimiento por lo cual se debe tener precaución en cuanto a la estabilidad del piso y mesa de trabajo y aunque la luz del escáner es superior

a la luz ambiente, es aconsejable controlar las variaciones fuertes de luz. La Figura 1 anexo B muestra el proceso de calibración de la distancia de trabajo.

Figura 1 anexo B: Sistema de ajuste de distancias del escáner Atos y sistema de comprobación de la distancia de trabajo



El equipo está acompañado por una mesa de trabajo giratoria que presenta en su superficie puntos marcados que suministran las coordenadas de referencia para el inicio del escaneo.

Instructivo para a la adquisición de imágenes y pre- procesamiento:

1. Las sesiones de obtención de imágenes se realizan en el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses de la ciudad de Bogotá, Colombia.
2. Serán realizadas por dos operadores (MR) (CIC), previamente entrenados en el manejo de los equipos y de material óseo, los dos operadores se comprometen a respetar todas las normas de bioseguridad y demás que tenga el instituto.
3. La obtención de las imágenes se realizara de día y un número máximo de cráneos será obtenido en cada sección que se determinó fuera 15.
4. Los puntos de referencia en cada parte y en ambos lados de los especímenes, serán marcados con calcomanías de papel adhesivo blanco y negro suministrados por el fabricante del equipo, que servirán de puntos para obtener las coordenadas de referencia para la reconstrucción de las imágenes. Todas las tomas iniciaran en los puntos de

referencia de la mesa de trabajo. La figura 2 anexo B muestra el sistema de referenciarían de las partes.

Figura 2 anexo B: Sistema de referencia usado para el ensamble de las diferentes vistas



5. Cada cráneo será escaneado en tres oportunidades, todas en el curso de la misma sesión:

5.1 Cráneo sin mandíbula

5.1.1 Cráneo sin mandíbula, vista lateral (derecha e izquierda), anterior, superior y posterior

5.1.2 Cráneo sin mandíbula, vista basal

5.2 Mandíbula sola

5.2.1 Mandíbula vista anteroposterior, lado derecho e izquierdo

5.2.2 Mandíbula vista postero-anterior, lado derecho e izquierdo

5.3 Cráneo completo (cráneo y mandíbula)

5.3.1 cráneo con mandíbula, todas las vistas (excepto basal)

6. Los cráneos serán fijados en la mesa de escáner con plastilina. Un dispositivo especial será requerido para posicionar el cráneo completo con mandíbula
7. El engranaje del cráneo con la mandíbula se utilizara plastilina con un grosor de 5 mm a cada lado, obteniendo la mejor oclusión, como sea posible.
8. La muestra será codificada siguiendo parámetros de sexo, utilizando F para femenino y M para masculino. Se utilizará la misma nomenclatura usada en la clasificación por el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses

Las imágenes digitalizadas en 3D deben ser procesadas en diferentes etapas:

Ensamble:

1. En el software Gom profesional, hacer un proyecto denominado ensamble por cada parte del cráneo, el software lee los puntos de todo el cráneo y los ensambla. Se importan los puntos de los ensambles según la necesidad.
2. Si se tienen ya todos los proyectos, por separado, y el equipo tiene la información de cada uno, se puede reconstruir toda la imagen en una sola imagen.
3. Se debe dar el sistema coordenado que se requiere, para luego sacar los puntos que se necesitan en archivo .stl (estereofotogrametría, formato de archivo de mallas triangulares)

Limpieza de las imágenes:

4. Cuando se obtienen imágenes por scanner, es posible que partes de objetos no pertenecientes al cráneo sean reconstruidos como parte del mismo, estos artefactos no deseados deben ser eliminados, proceso que se denomina limpieza.

Alineación

5. Alinear 321 por ejes X, Y y Z

Poligonización

6. Para poligonizar con el software Gom profesional, con el comando Poligonizar estándar el cual unifica todas las mallas en una sola.
7. Se le quitan todas las basuras conectadas al cráneo.

8. Las imágenes quedan listas para manejarlas con landmark editor®.

Los archivos de salida .gom son transformados en .ply (formato de archivo de mallas poligonales, capaz de guardar información de textura y color, dando gran precisión en la reconstrucción de la superficie del objeto escaneado), los archivos en extensión .ply serán ingresados en el software de digitalización landmark editor® donde se puede visualizar las imágenes como superficies NURBS (*Nonuniform Rational B Spline*), sobre estas imágenes serán digitalizadas las variables en tres dimensiones.

C. Anexo: Certificado de calibración

GOM mbH
Mittelweg 7-8
38106 Braunschweig
Germany



GOM Acceptance Test

121001_CC30/300/D10487

Certificate No.

Acceptance/Reverification According to VDI/VDE 2634, Part 3

This document may only be distributed in its entirety and without changes. Excerpts and changes require the approval of the issuing company. This document was created electronically and is valid without a signature.

General Data

System: ATOS Compact Scan 5M 300 MV300 SN: 120467
Measuring volume: MV300 (300x230x230) mm
Date: 10/1/2012
Inspector: C. Kuehlen
Measuring temperature: 24.2 °C

Artifact

General

Name: PSA/400/Z0009_L7R7
Calibration date: 7/13/2012
Calibration ID: 0165-D-K-15007-02-00
Calibration temperature: 20.0 °C
Expansion coefficient for sphere spacing: $4.00 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Expansion coefficient for diameter: $10.50 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

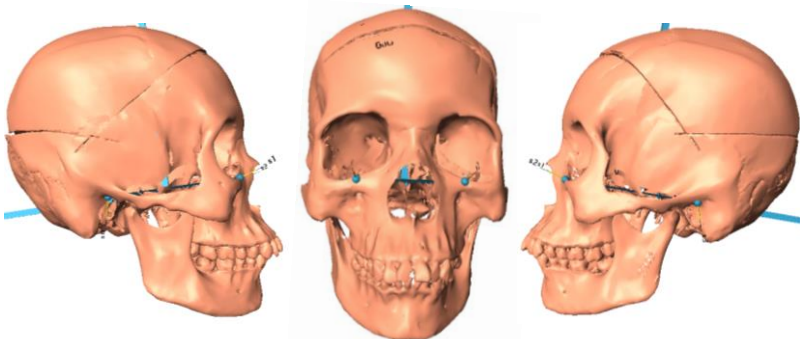
Basic dimensions

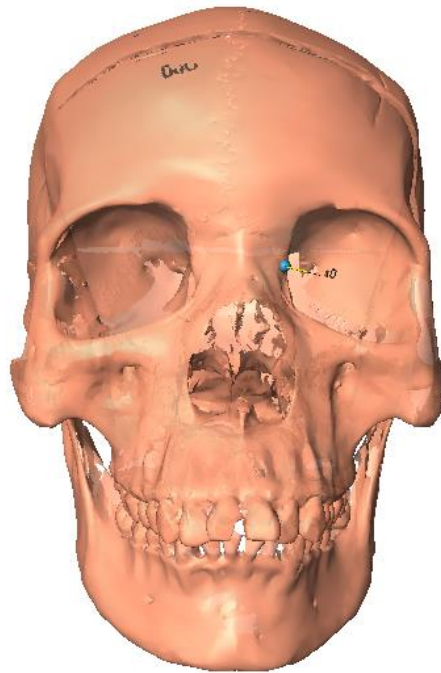
Sphere spacing: 160 mm
Diameter left sphere: 25 mm
Diameter right sphere: 25 mm

Calibrated nominal dimensions

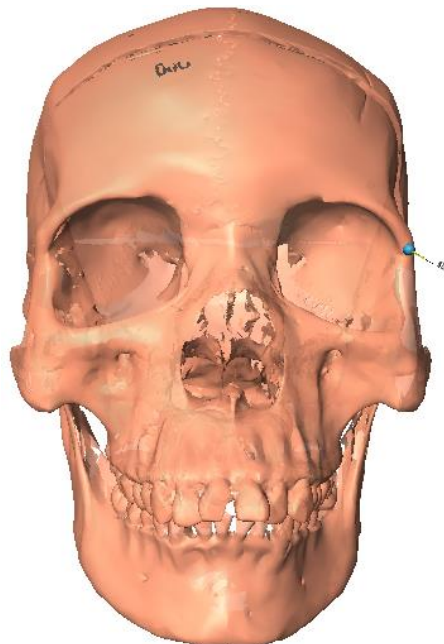
Sphere spacing: 159.9915 mm
Diameter left sphere: 25.0035 mm
Diameter right sphere: 25.0014 mm

D. Anexo: Definición de variables:

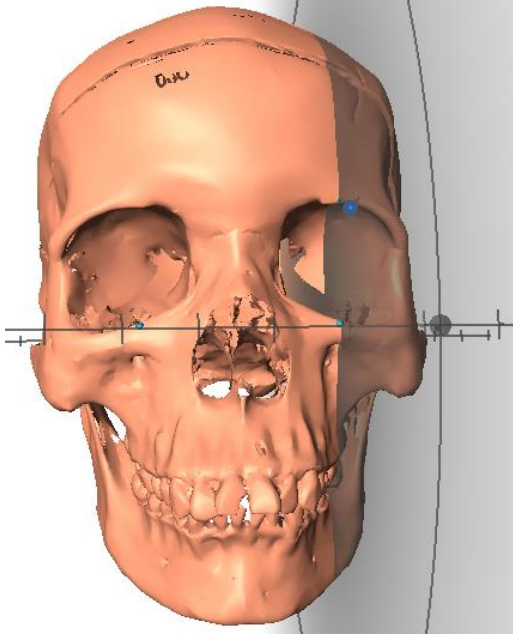
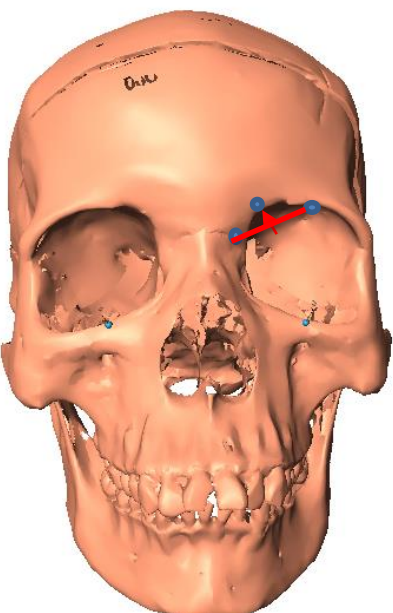
N°	Nombre landmark	Definición	Plano de visión
Definición de la orientación: Plano de Frankfort			
S0	Prion derecho Tipo I	Punto más superior del agujero auditivo del lado derecho	En vista lateral derecho (la flecha mirando abajo)
S1	Infraorbitario derecho Tipo I	Punto en el reborde orbitario inferior izquierdo y directamente superior al agujero infraorbitario	En vista frontal (la flecha mirando diagonal arriba)
S2	Infraorbitario izquierdo Tipo I	Punto en el reborde orbitario inferior izquierdo y directamente superior al agujero infraorbitario	En vista frontal
S3	Prion izquierdo Tipo I	Punto más superior del agujero auditivo del lado izquierdo	En vista lateral izquierdo
			
Landmark simples (S)			
S4	Naso maxilar interno Tipo I	Punto sobre la sutura frontomaxilar y sobre el reborde interno de la órbita izquierda, en la superficie del hueso frontal	En vista frontal, hemicara izquierda (sobre una línea imaginaria que complete la órbita en el reborde interno)

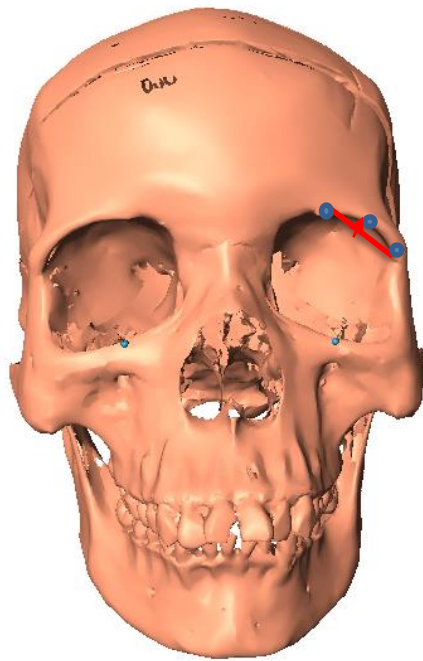


S5	Ectoconquio Tipo I	Punto sobre la sutura frontomalar y sobre el borde externo de la órbita, sobre la superficie del frontal	En vista frontal, hemicara izquierdo
----	-----------------------	--	--------------------------------------

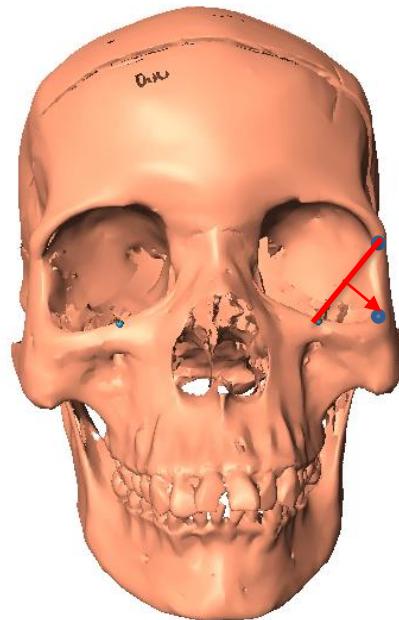


S6	Punto medio supraorbital Tipo II	Punto medio, en el reborde superior orbital a nivel de la proyección del punto infra orbital	En vista frontal, hemicara izquierdo
----	-------------------------------------	--	--------------------------------------

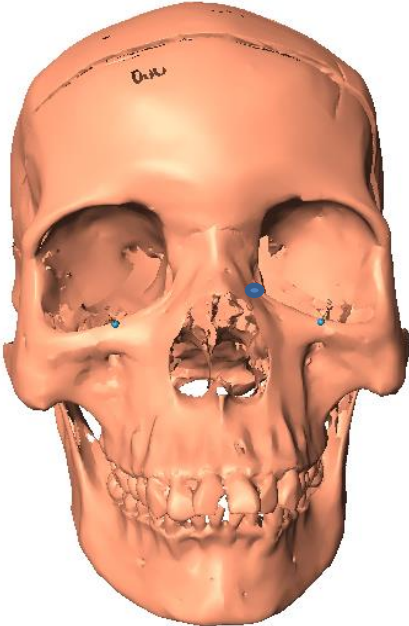
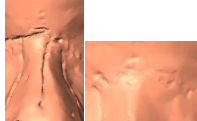
			
S7	Angulo superior interno Tipo II	Punto sobre el aspecto medio de los puntos 4-6 Trazar una línea imaginaria y localizar el punto medio en el reborde orbital	Vista frontal, hemicara izquierda
			
S8	Angulo superior externo Tipo II	Punto sobre el aspecto medio de los puntos 5-6 Trazar una línea imaginaria y localizar el punto medio en el reborde orbital	Vista frontal, hemicara izquierda

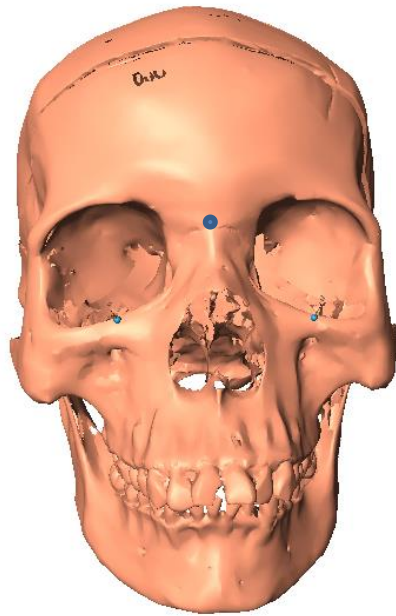


S9	Angulo inferior izquierdo Tipo II	Punto sobre el aspecto medio de 5-3 Trazar una línea imaginaria y localizar el punto medio en el reborde orbital	Vista frontal, hemicara izquierda
----	--------------------------------------	--	--------------------------------------

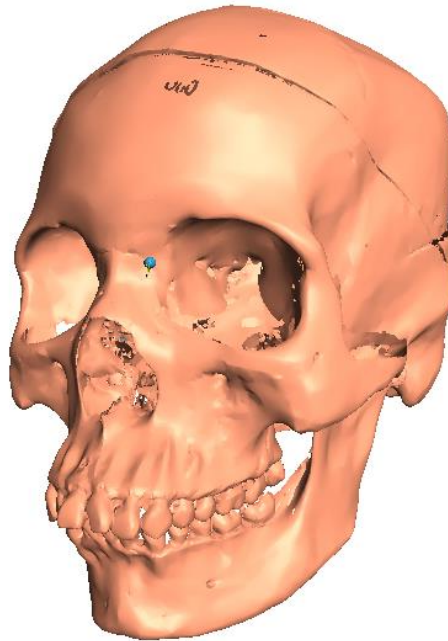


S10	Angulo inferior interno Tipo II	se toma la media	Vista frontal, hemicara izquierda (la flecha mirar hacia dentro de la órbita)
-----	------------------------------------	------------------	--

			
S11	Nasion Tipo I	<p>Punto medio de la sutura nasofrontal Sobre la superficie del frontal Buscar rasgo en el frontal, de no encontrarlo, buscar en último caso, la sutura de los huesos propios de la nariz</p>	<p>Vista frontal (tomar como referencia la sutura frontal media y no la de los huesos propios pues puede estar desviada), esta flecha debe mirar al frente, en caso de huesos accesorios en la porción frontal, tomarlos como parte del frontal</p> 

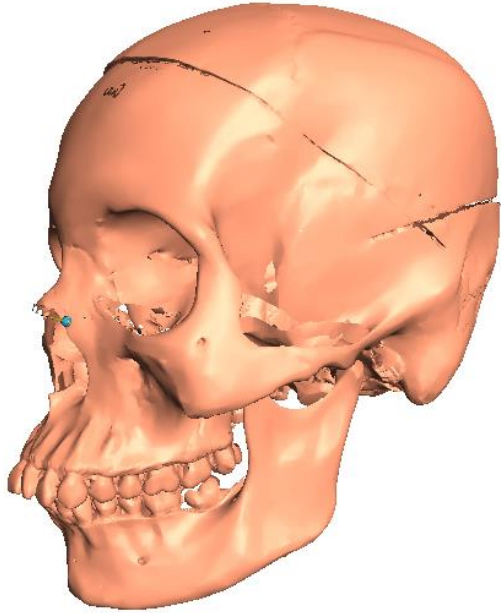
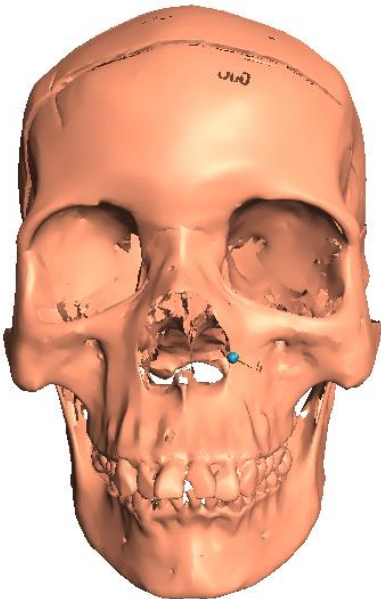


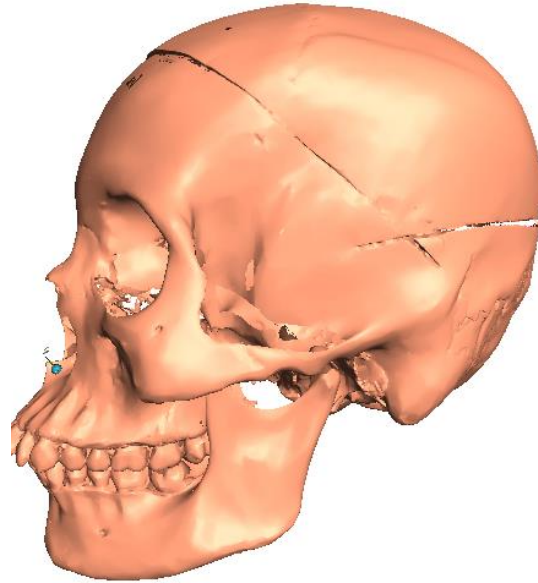
S12

Sutura Fronto-maxilo-nasal
izquierda
Tipo IPunto sobre la sutura frontomaxilar
nasal izquierda
Sobre la superficie del frontal y que a
la vez tenga parte en el nasal como en
el maxilarVista $\frac{3}{4}$
Hemicara izquierda

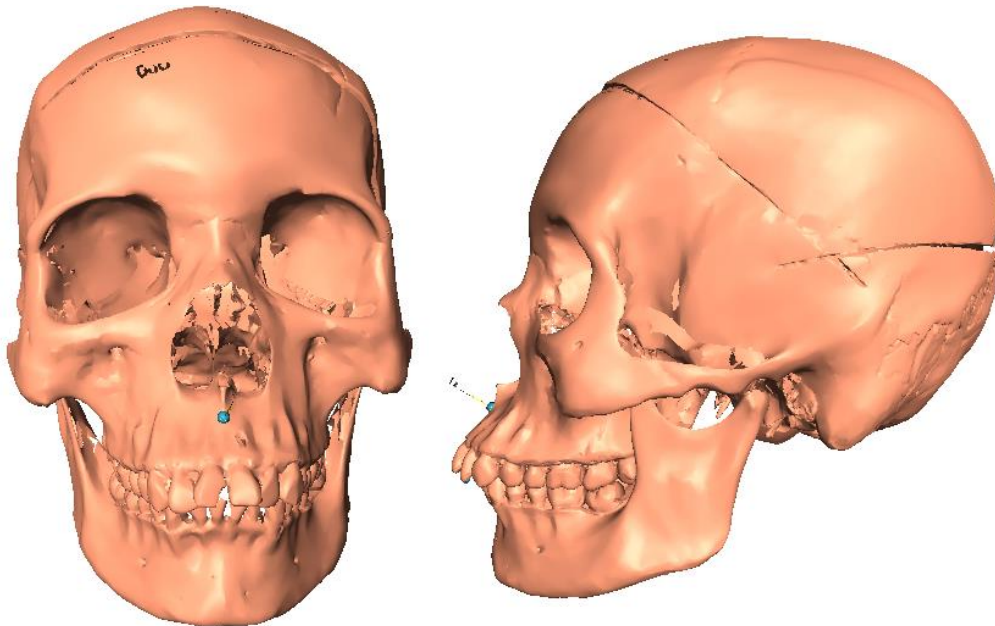
S13

Nasomaxilar izquierdo
Tipo IPunto en la sutura de los huesos
nasales y hueso maxilar izquierdo
Sobre el hueso maxilarVista $\frac{3}{4}$
Hemicara izquierda
(esta flecha debe mirar
lateral si se ve el cráneo
de frente)

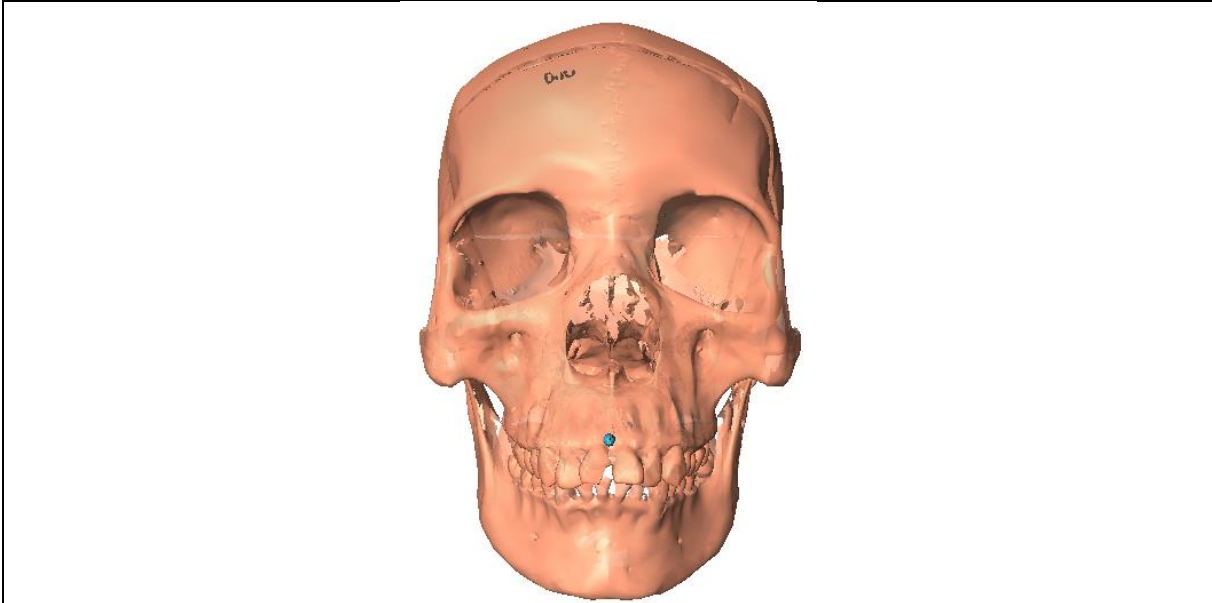
			
S14	Punto en la máxima apertura nasal izquierda Tipo II	<p>Se traza en la máxima concavidad de la apertura nasal izquierda Puede colocar un punto ENA tentativo y junto con el punto S13 trazar una línea imaginaria y rodar el papel hasta localizar el punto más profundo, una vez localizado borre el punto ENA tentativo</p>	<p>Se debe buscar y trazar en vista frontal Hemicara izquierda (esta flecha debe mirar lateral)</p>
			
S15	Espina Nasal anterior Tipo I	<p>Punto de la espina nasal anterior sobre el reborde de la apertura piriforme. Si no está la base se coloca sobre la base lateral en donde inicia la espina, del lado izquierdo En la mitad de la espina en sentido anteroposterior</p>	<p>Se debe localizar y trazar en la vista anterior y corroborar en lateral.</p>



S16	Punto A o subespinal Tipo II	Punto más profundo en la concavidad del maxilar, sobre la línea media	Se debe localizar y trazar en la vista anterior y corroborar en lateral. (esta flecha debe mirar al frente)
-----	---------------------------------	---	---

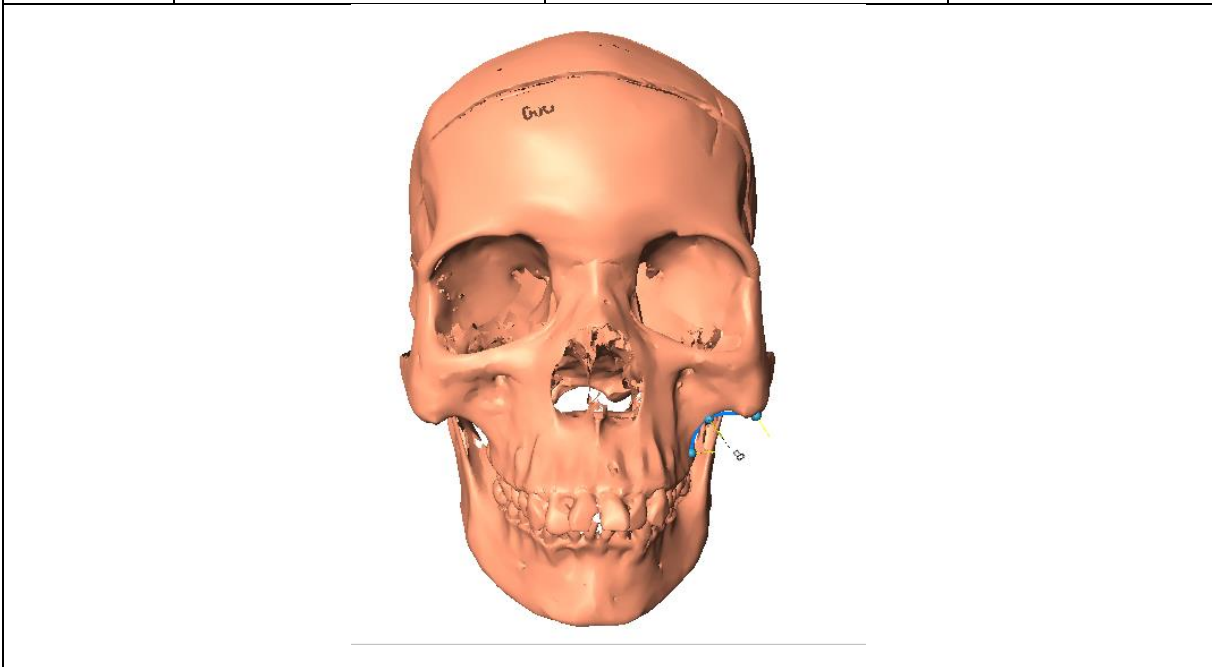


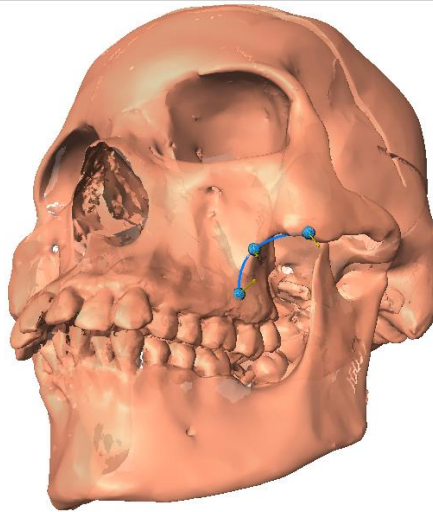
S17	Prostion maxilar anterior Tipo II	Punto entre los incisivos superiores a nivel del reborde oseó mas alto. Exactamente en la mitad de la sutura derecha e izquierda	En vista frontal
-----	--------------------------------------	--	------------------



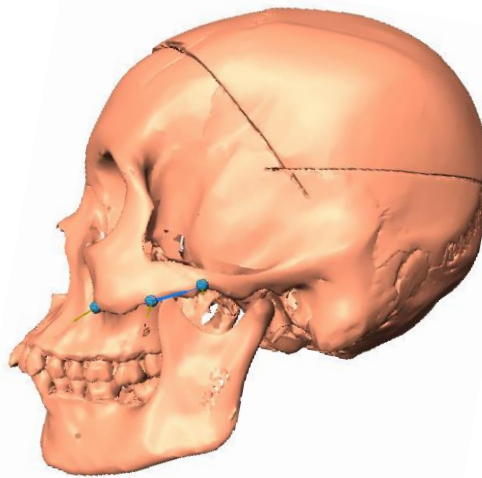
Landmar que apoyan curvas suaves(C): Los landmark que apoyan curvas son el primero y el último de la serie de tres, si el punto medio servira de apoyo a una curva vecina sera landmark despues del deslizamiento y se definira en esta lista

C0	Tipo II	Punto medial más profundo de la unión de la escotadura maxilar malar en unión con la apófisis alveolar	En vista frontal Hemicara izquierda (verifique el nacimiento de la apófisis malar del maxilar)
	Tipo III	Punto intermedio, medir	
	Tipo II	Punto más inferior del hueso malar Mirar si es repetible la sutura maxilo malar, del lado maxilar, si es repetible colocar en la sutura	En vista frontal, corroborar en vista ¾ Hemicara izquierda

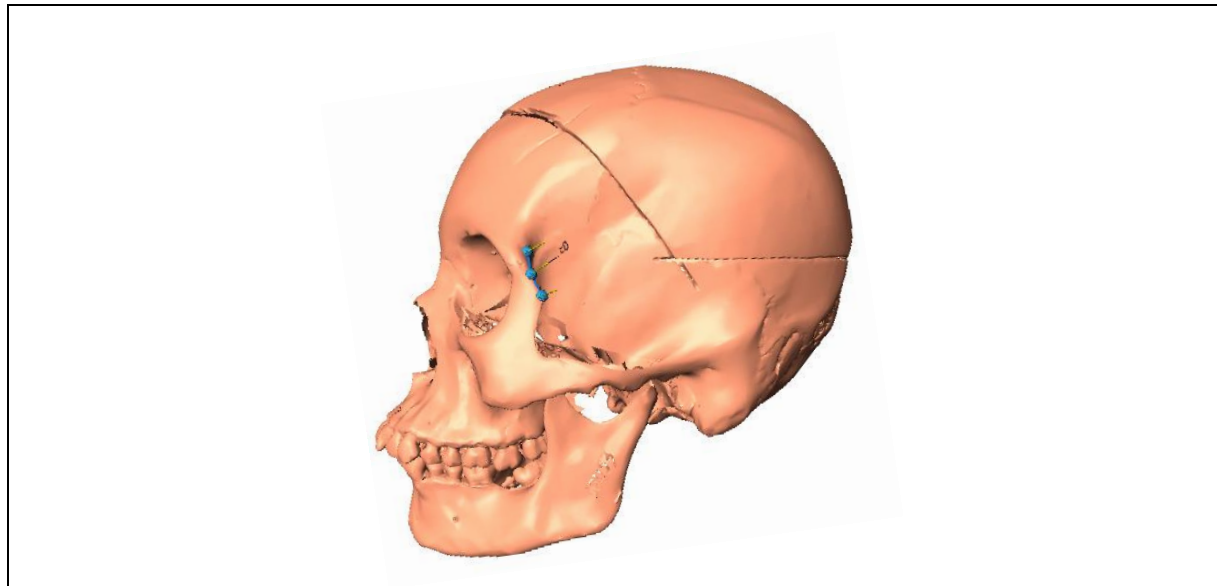




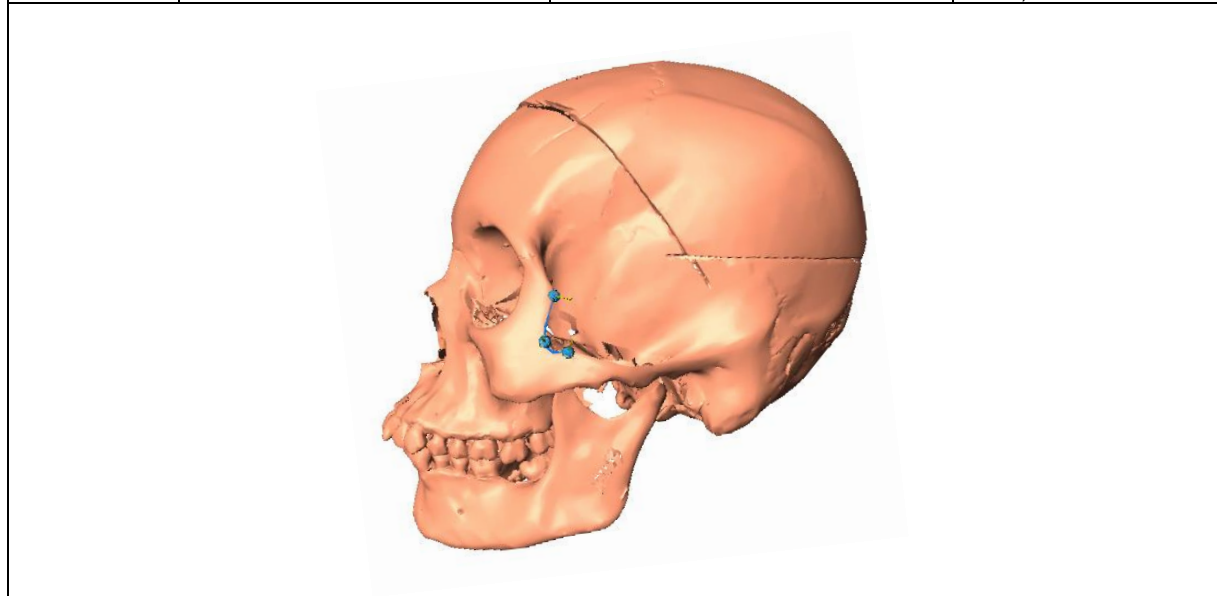
C1	Tipo II	Punto más inferior del hueso malar	En vista frontal, corroborar en vista $\frac{3}{4}$ Hemicara izquierda
	Sutura zigomática malar inferior izquierda Tipo I	Punto más inferior sobre la sutura temporo-malar. En el Malar	En vista lateral, Hemicara izquierda (los flechas deben mirar hacia abajo)



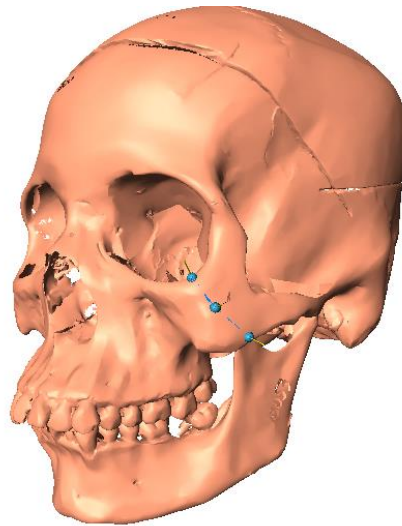
C2	Sutura Fronto-malar, borde posterior Tipo I	Punto más posterior de la sutura Fronto- malar en su borde posterior, sobre la superficie del frontal	En vista lateral, hemicara izquierda (la flecha debe mirar hacia atrás en los tres puntos)
	Tipo II	Punto más sobresaliente posterior sobre la apófisis frontal del malar. (en ocasiones hay dos sobresalientes, usar los dos uno como punto intermedio y el otro como segundo punto control)	En vista lateral, hemicara izquierda



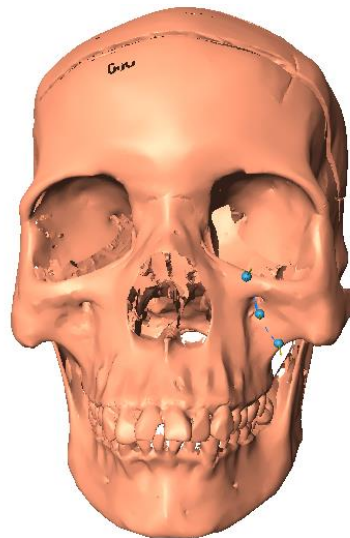
C3	Tipo II	Punto más sobresaliente posterior sobre la apófisis frontal del malar.	En vista lateral, hemicara izquierda (la fecha debe mirar atrás)
	Sutura zigomática malar superior izquierda Tipo I	Punto más superior en la sutura temporal malar. Sobre el malar	En vista lateral, hemicara izquierda (la fecha debe mirar arriba)



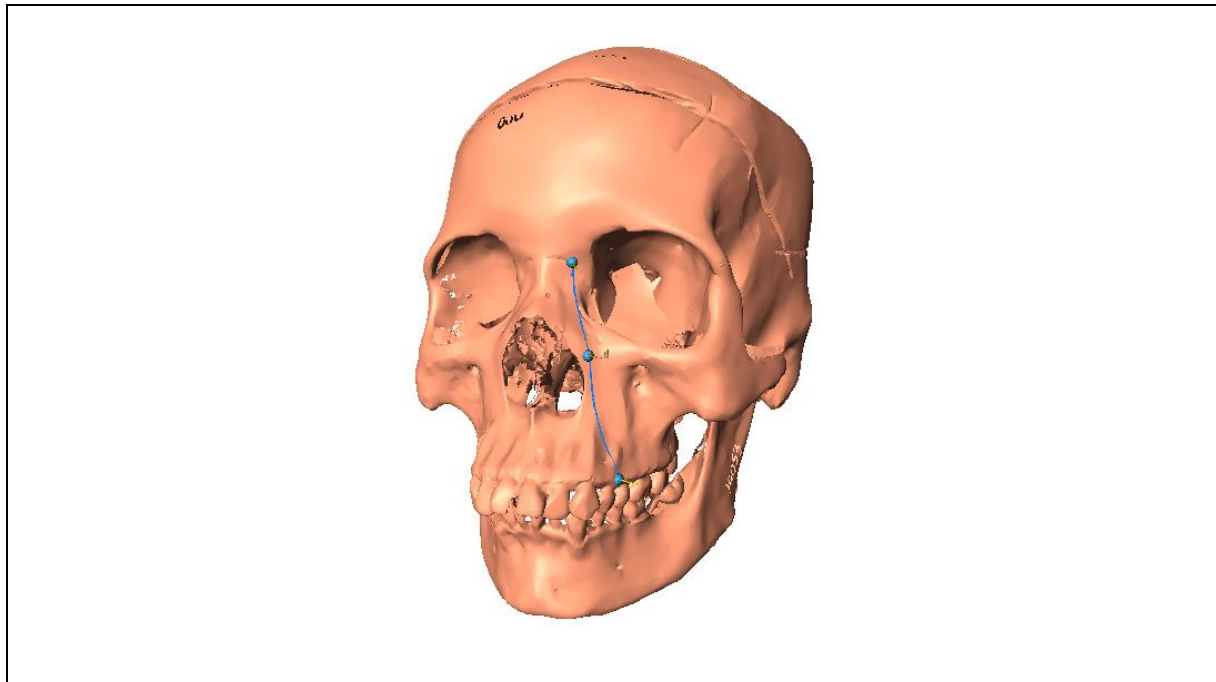
C4	S9 Tipo II		
	Prominencia malar Tipo II	Punto más prominente del malar en su superficie supero-inferior y antero-posterior (en muchos casos no se puede determinar el punto más prominente, en ese caso poner en el punto medio entre los dos puntos control que definen la curva y sobre la línea que los une) verificar de lado el punto más prominente	En vista ¾ Hemicara izquierda
	Tipo II	Punto medio de la curva 2 que luego del deslizamiento será landmark	



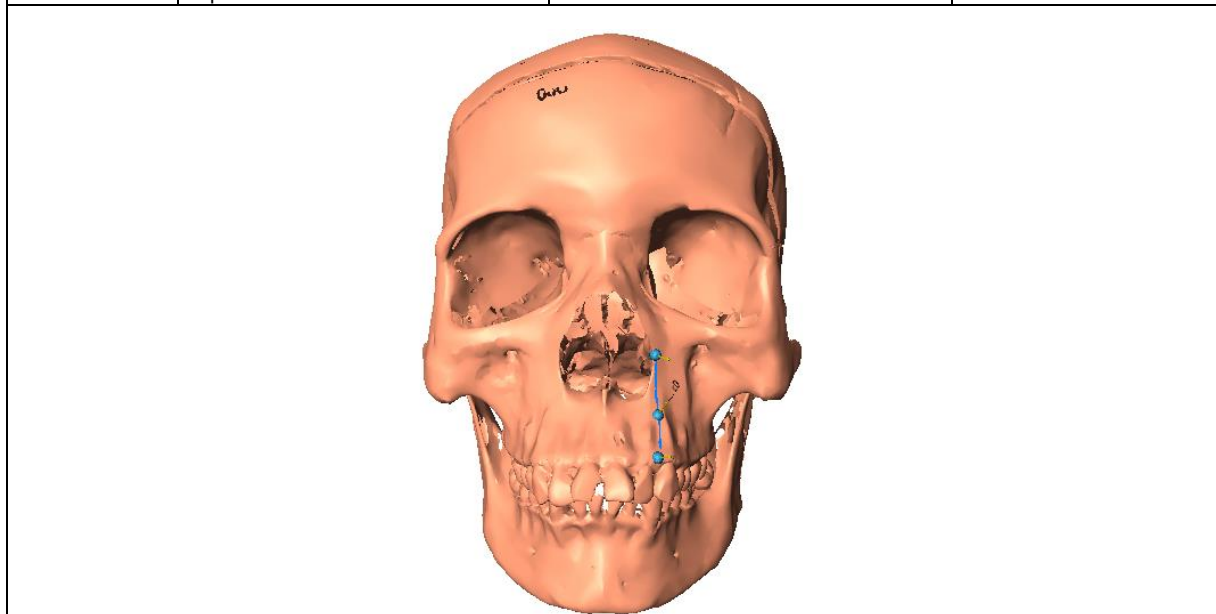
C5	Punto infraorbitario, punto S2 Tipo I		
	Coincide con el punto de apoyo de la curva 0.	Luego del deslizamiento este punto se convierte en landmarks	



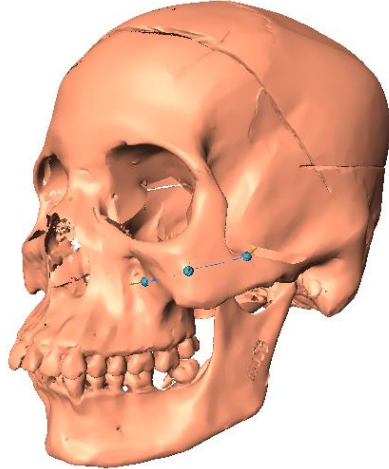
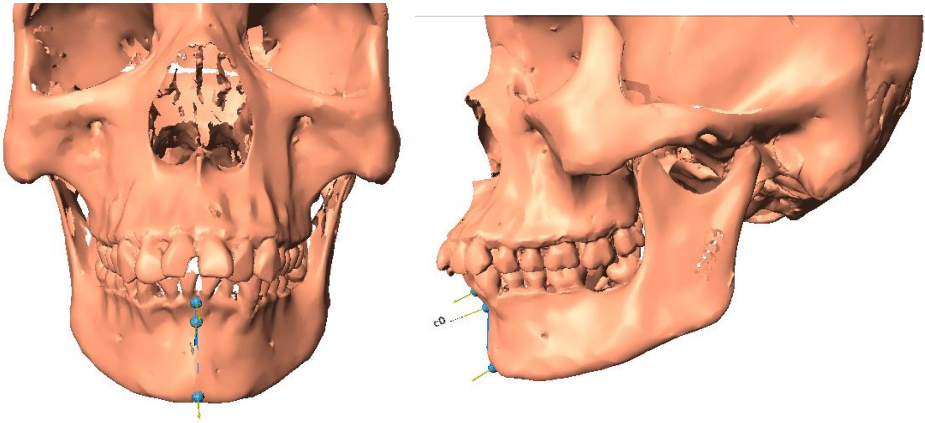
C6	Sutura Fronto-maxilo-nasal izquierda Tipo II	Punto sobre la sutura Fronto-maxilar nasal izquierda Sobre la superficie del frontal	Vista ¾ Hemicara izquierda
	Prostion superior lateral Tipo II	Punto medio entre los dos premolares superiores, izquierdos a nivel del reborde óseo (o a la altura ósea de premolar remanente) (en caso de que no esté presente ningún premolar dividir el espacio en dos y ubicar el punto en la mitad y sobre la altura ósea remanente)	Vista lateral Hemicara izquierda

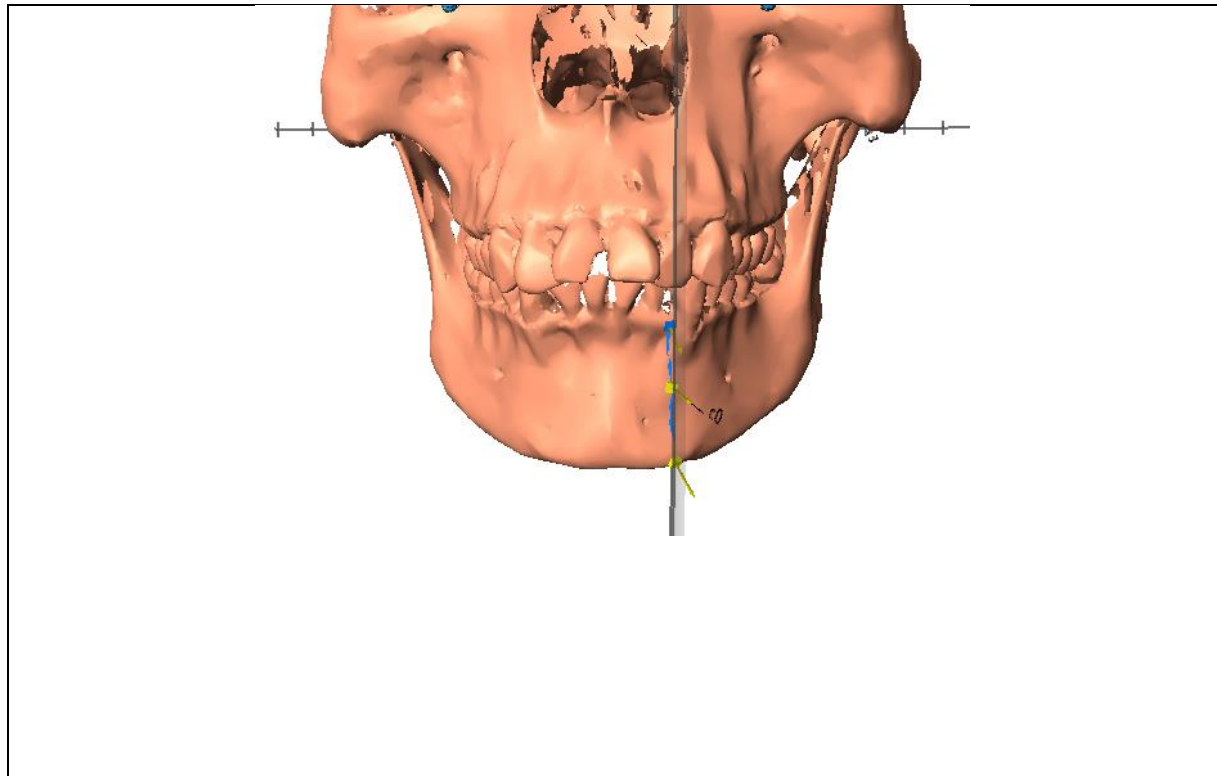


C7	Punto en la máxima apertura nasal izquierda Tipo II	Se traza en la máxima concavidad de la apertura nasal izquierda	Se debe buscar y trazar en vista frontal Hemicara izquierda
	Prostión medio-lateral superior izquierdo Tipo II	Punto medio entre el lateral y canino superior izquierdo, a nivel del reborde óseo	Vista de frente Hemicara izquierda

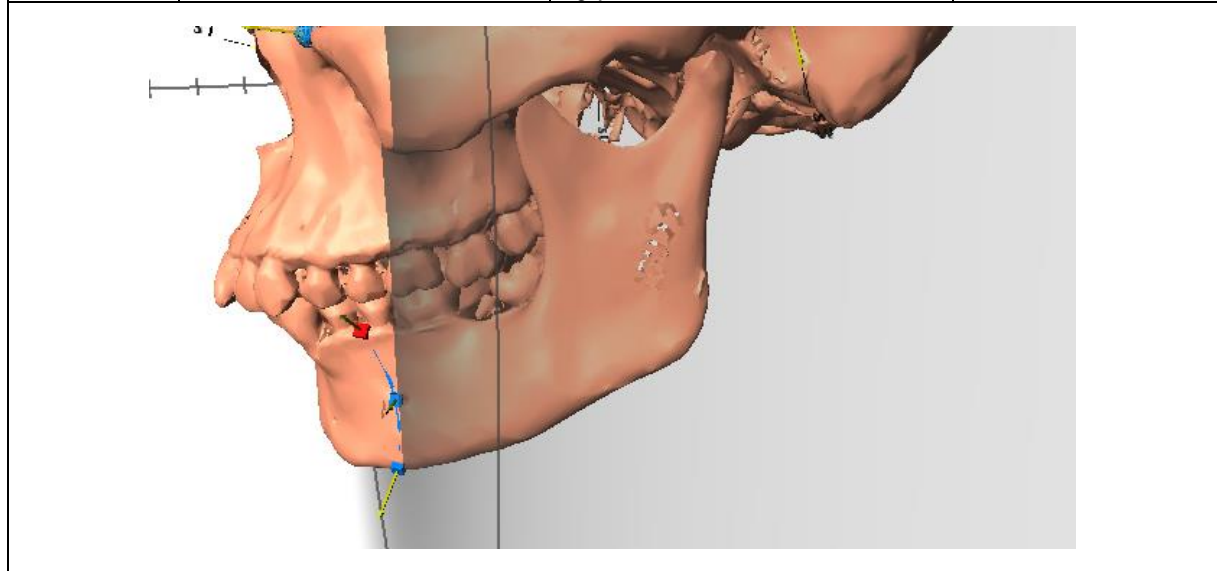


C8	Punto medio de la curva 5 Tipo II	Después del deslizamiento se convirtió en landmark	Vista ¾ Hemicara izquierda
	Punto medio de la superficie del Malar Tipo II	Después del deslizamiento se convirtió en landmark	Vista ¾ Hemicara izquierda
	Sutura zigomática-malar superior izquierda Tipo I	Punto más superior en la sutura temporal malar.	En vista lateral, hemicara izquierda

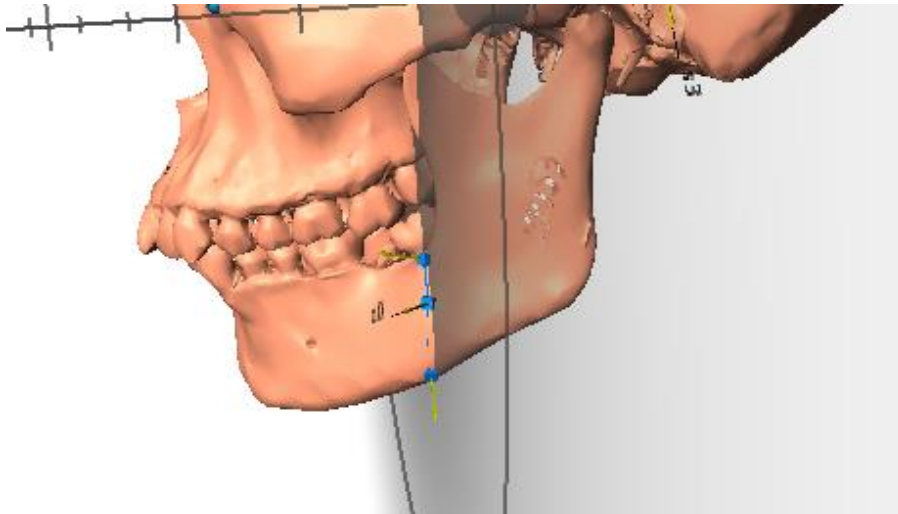
			
C9	Punto infradental entre los incisivos centrales inferiores Tipo II	Punto medio entre incisivos centrales inferiores, a nivel del reborde óseo	Si la línea media dental esta desviada, se respetará la línea media ósea Vista de frente
	Punto B Tipo II	Punto más profundo en la superficie anterior de la mandíbula, en la línea media	Vista de frente, corroborar en vista lateral
	Punto Gnation (mentón) Tipo II	Punto más infero-anterior de la sínfisis del mentón (esta flecha debe mirar en diagonal, abajo y adelante)	Vista de frente (estos tres puntos deben in centrados)
			
C10	Prostion al incisivo lateral izquierdo inferior entre el espacio entre el incisivo el lateral y el canino Tipo II	Punto medio entre el incisivo lateral y canino inferior izquierdo, a nivel del reborde óseo (en caso de que el nivel óseo se encuentre en el ápice radicular, colocar el punto a la altura de la mitad de la raíz)	Vista de frente
	Borde inferior de la mandíbula Tipo II	Punto en el reborde inferior de la mandíbula proyectando el punto anterior (este punto debe estar en diagonal, a la misma altura del mentón)	Vista de frente (estos puntos beben estar sobre la misma vertical)



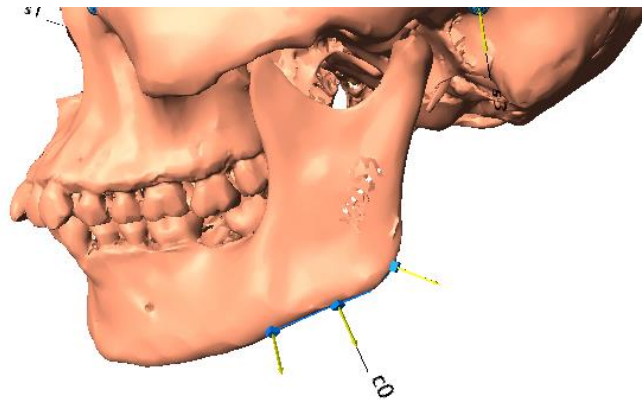
C11	Prostion al primer premolar inferior izquierdo Tipo II	Punto entre el primer y segundo premolar inferior izquierdo a nivel del reborde óseo	Vista lateral Hemicara izquierda
	Punto sobre el reborde mandibular inferior Tipo II	Punto sobre el reborde del cuerpo mandibular izquierdo sobre una proyección a la parte anterior del agujero mentoniano	Vista lateral Hemicara izquierda



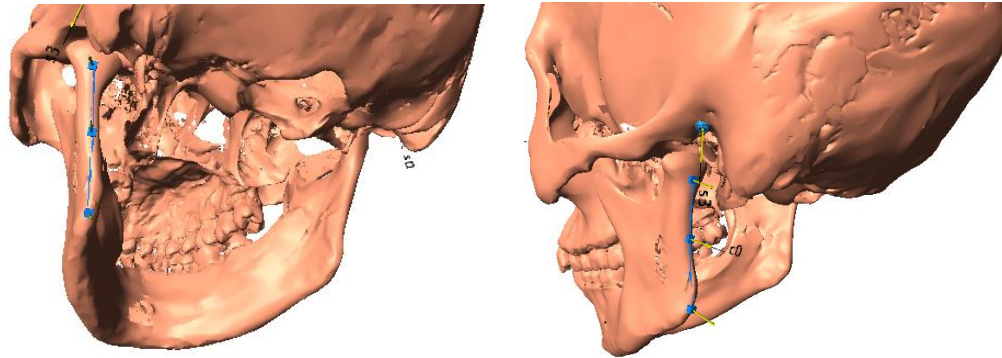
C12	Línea oblicua externa izquierda Tipo II	Punto final de la línea oblicua externa del borde anterior de la rama	Vista lateral Hemicara izquierda
	Punto sobre el reborde mandibular inferior Tipo II	Punto sobre el reborde mandibular izquierdo, proyectado desde el punto anterior plano coronal	Vista lateral Hemicara izquierda



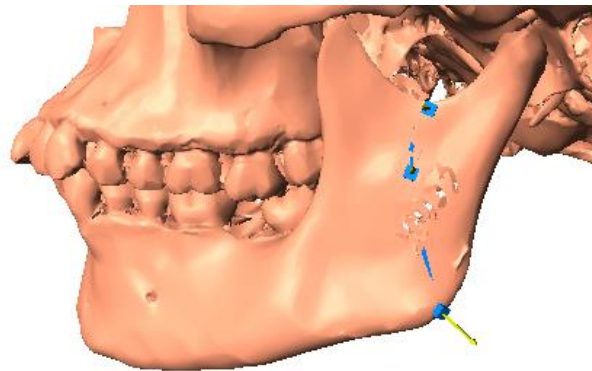
C13	Punto sobre el reborde mandibular inferior Tipo II	Punto sobre el reborde mandibular izquierdo, proyectado desde el punto anterior	Vista lateral Hemicara izquierda
	Gonio izquierdo Tipo II	Punto medio del ángulo goniaco izquierdo	Vista lateral Hemicara izquierda



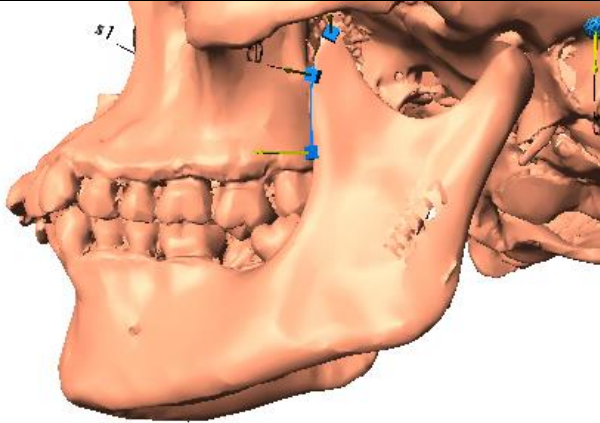
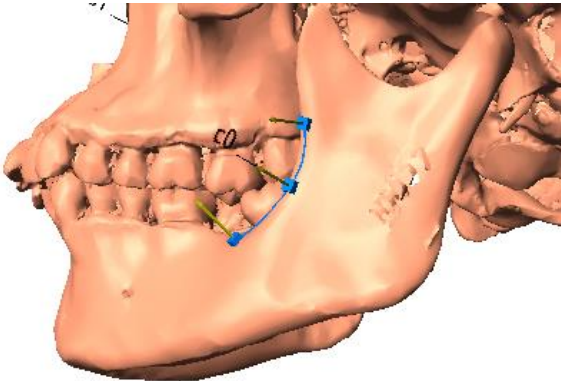
C14	Gonio izquierdo Tipo II	Punto medio del ángulo goniaco izquierdo	Vista lateral Hemicara izquierda
	Cuello del cóndilo mandibular Tipo II	Punto más posterior en el cuello del cóndilo, sobre su superficie posterior a nivel medial (localizar el cuello del cóndilo, colocar un plano transversal para apoyo en la colocación de este punto)	Vista posterior Hemicara izquierda

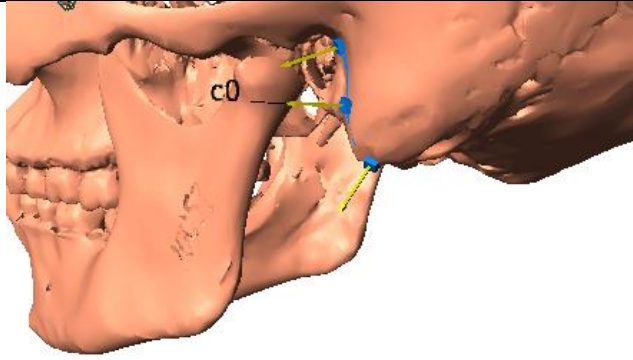
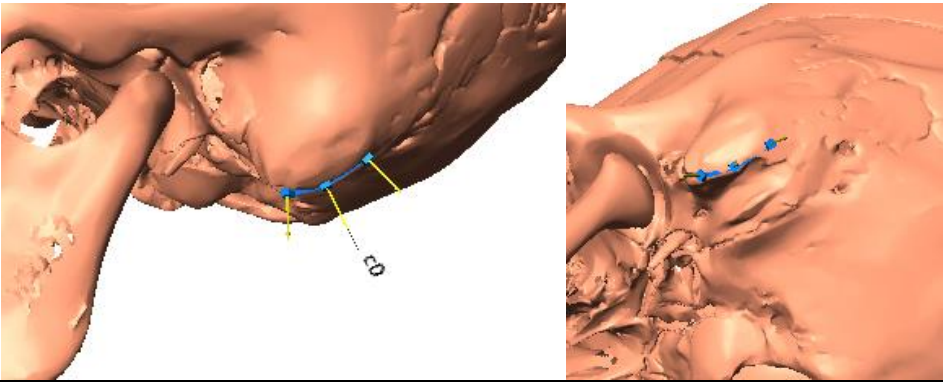


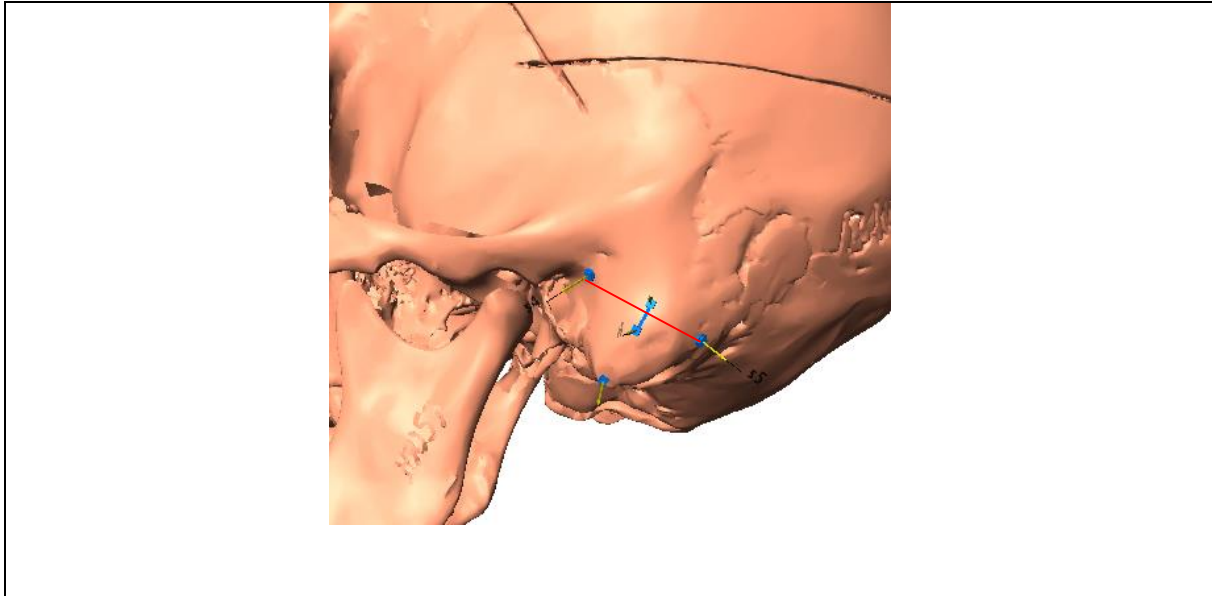
C15	Escotadura Sigmoidea Tipo II	Punto más inferior de la escotadura sigmoidea (Utilizar un plano para encontrar el punto más inferior)	Vista lateral Hemicara izquierda
	Gonion izquierdo Tipo II	Punto medio del ángulo goniaco izquierdo	Vista lateral Hemicara izquierda



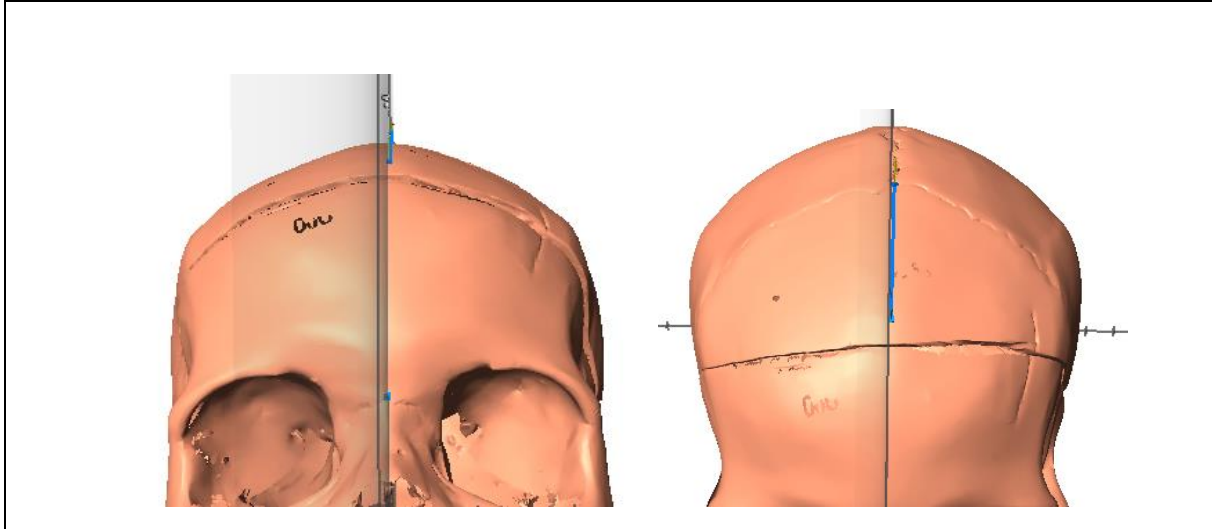
C16	Coronoides superior Tipo II	Punto más superior de la apófisis Coronoides izquierda	Vista lateral, con leve inclinación Hemicara izquierda
	Cuerpo de la Coronoides Tipo II	Punto sobre la superficie anterior de la Coronoides donde la cóncavo se convierte en convexo	Vista lateral, con leve inclinación Hemicara izquierda

			
C17	Cuerpo de la Coronoides Tipo II	Punto sobre la superficie anterior de la Coronoides donde la cóncavo se convierte en convexo	Vista lateral, con leve inclinación Hemicara izquierda
	Línea oblicua externa izquierda Tipo II	Punto final de la línea oblicua externa del borde anterior de la rama	Vista lateral Hemicara izquierda
			
C18	Auditivo posterior izquierdo Tipo II	Punto posterior del conducto auditivo externo óseo donde nace la apófisis mastoides	Vista lateral Hemicara izquierda
	Tip de la mastoides Tipo II	Punto más inferior de la apófisis Mastoides izquierda	Vista ¾ posterior Hemicara izquierda

			
C 19	Tip de la mastoides	Punto más inferior de la apófisis Mastoides izquierda	Vista ¾ posterior Hemicara izquierda
	Tipo II Mastoides posterior Tipo II	Punto más inferior de la apófisis mastoides izquierda Identificar la fosa presente en la parte posterior de la mastoides y paralelo a ella la línea del contorno de la apófisis	Vista ¾ posterior Hemicara izquierda Corroborar en diferentes vistas
			
C 20	Tip de la mastoides	Punto más inferior de la apófisis Mastoides izquierda	Vista ¾ posterior Hemicara izquierda
	Tipo II Medio mastoideo Tipo II	Punto medio entre el inicio de Auditivo posterior izquierdo y Mastoides posterior	Vista ¾ posterior Hemicara izquierda



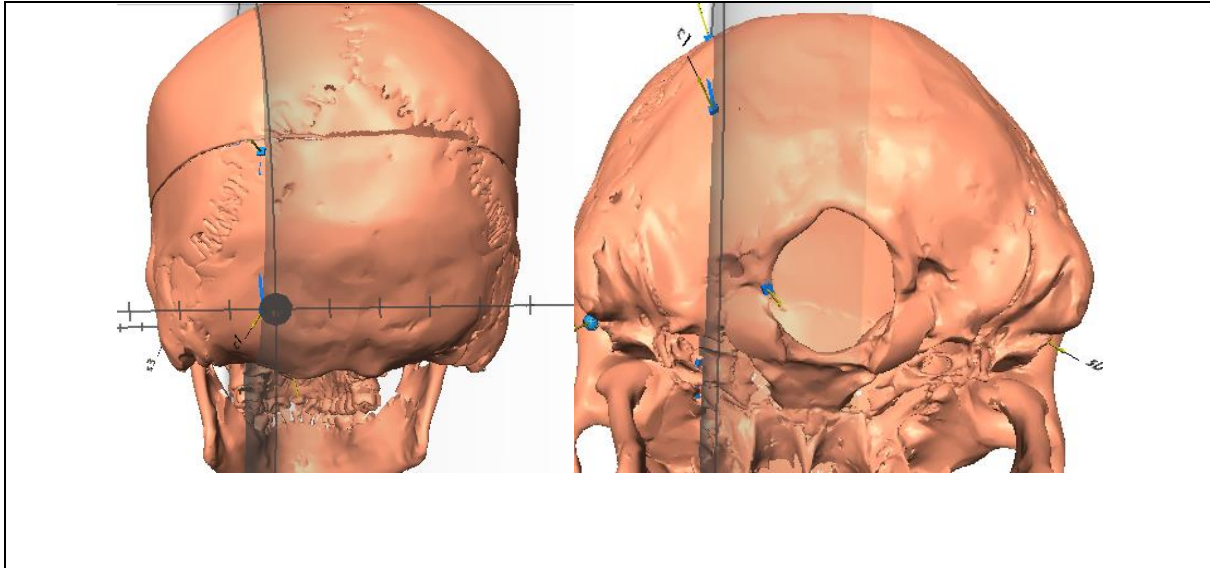
C 21	Nasion Tipo I	Punto medio de la sutura nasofrontal Sobre la superficie del frontal	Vista frontal
	Bregma Tipo I	Punto en la sutura Coronal, línea media, sobre el frontal	Vista frontal y coronal



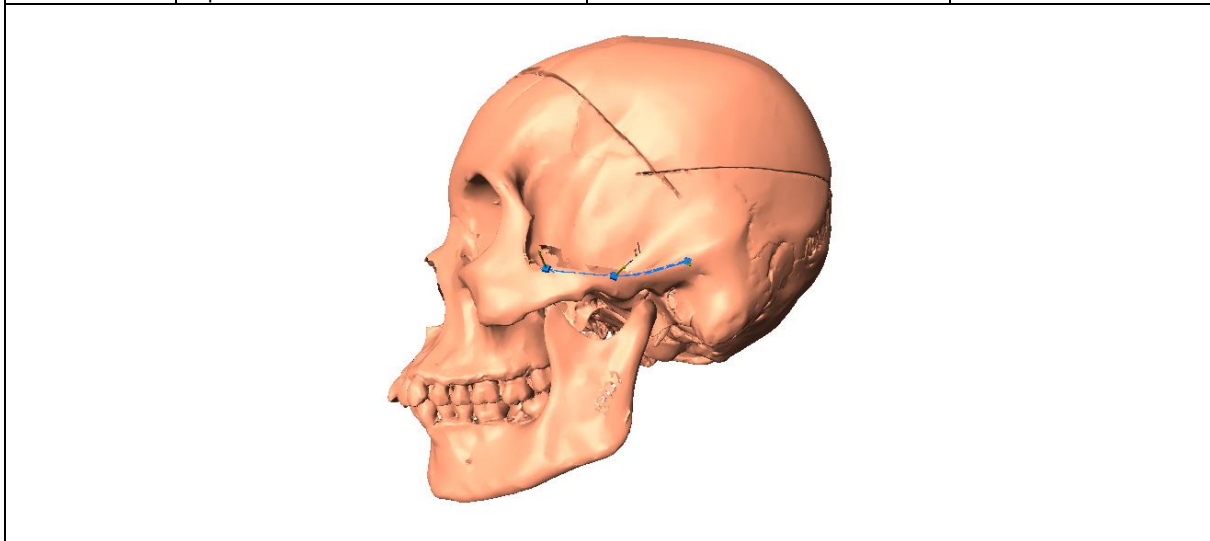
C 22	Lambda Tipo I	Punto medio de la sutura Lambdoidea, sobre el occipital	Vista posterior
	Opistion Tipo I	Punto más posterior sobre el agujero magno	Vista basal

--	--	--	--

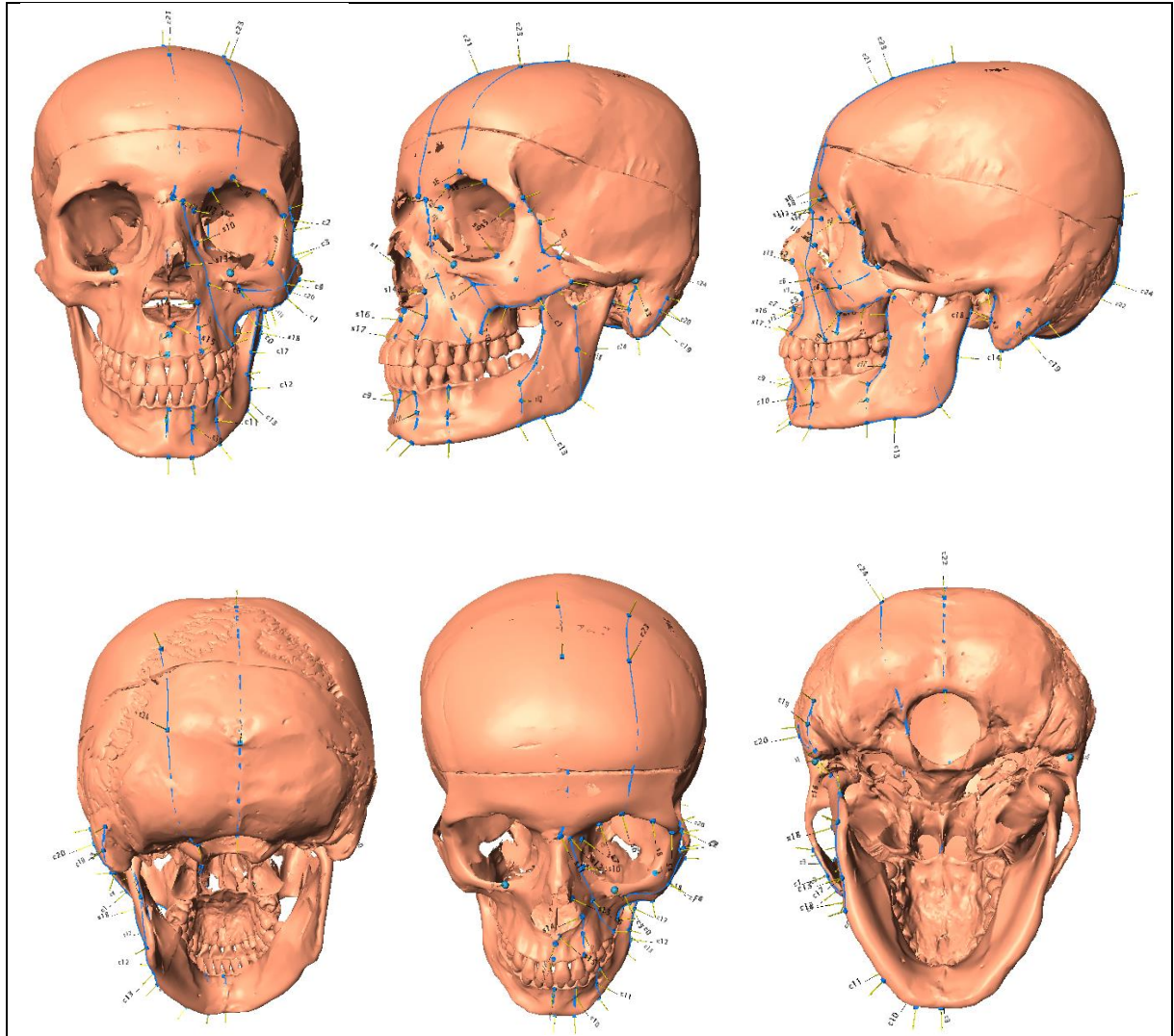
C23	Punto medio supraorbital	Punto medio, en el reborde superior orbital a nivel de la proyección del punto infra orbital	En vista frontal, hemicara izquierdo
	Tipo II		
	Medio coronal Tipo II	Punto sobre la sutura coronal izquierda sobre la línea de referencia dada por el punto anterior	Vista superior o coronal Hemicara izquierda
C24	Punto medio Lambdoideo Tipo II	Punto medio de la sutura Lambdoidea, a nivel de la línea de referencia marcada, sobre el lado izquierdo	Vista posterior Hemicara izquierda
	Basal medio Tipo II	Punto lateral medio izquierdo del agujero magno a nivel del inicio de los cóndilos	Vista basal Hemicara izquierda



C25	Sutura zigomática malar superior izquierda Tipo I	Punto más superior en la sutura temporal malar.	En vista lateral, hemicara izquierda
	Prion izquierdo Tipo I	Punto más superior del agujero auditivo del lado izquierdo	En vista lateral izquierdo



Vista final de la composición (frontal, ¾, lateral, posterior, coronal)



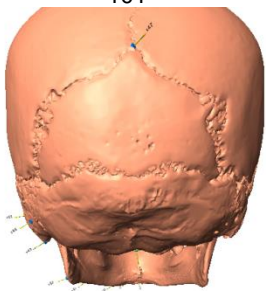
E. Anexo: Definición de variables: Landmarks tipo I, II y III

	Nombre landmark	Definición técnica	Definición con ayudas
ORBITA			
Anotar en cada cráneo lo raro en cada punto para verlo si es un caso extremo			
Todos los extremos de las curvas se conviertan en landmark			
Tomar imágenes de las vistas para recordar cómo se toman			
CONDICIONES CRANEO 405 H Desde medial a lateral lado izquierdo con las manecillas del reloj			
Puntos iniciales de posiciona miento de cráneo	Se marcaran 4 puntos para fijar el plano de HP		
0	Porion derecho	Punto más superior del conducto auditivo externo derecho	
1	Infraorbitario derecho	Punto más inferior del reborde infra orbital , arriba del agujero infraorbitario	
2	Infraorbitario izquierdo	Punto más inferior del reborde infra orbital , arriba del agujero infraorbitario izquierdo	
3	Porion izquierdo	Punto más superior del conducto auditivo externo izquierdo	
4	Nasomaxilar interno	En la sutura frontomaxilar sobre el reborde de la órbita Sobre el borde interno	Se traza sobre el hueso frontal, EN VISTA FRONTAL. DESDE LA LINEA OCLUSAL HASTA LA MITAD DE LA FRENTE.
5	Ectoconquio	Punto más anterior sobre el borde de la Órbita en la sutura frontomalar	Se traza en el hueso frontal. EN VISTA FRONTAL. DESDE LA LINEA OCLUSAL HASTA LA MITAD DE LA FRENTE
6	Punto supraorbital	Punto en el reborde superior de la órbita donde corta con la guía que pasa por el infraorbitario	Colocar la guía de referencia en el landmark infraorbitario (1,2)
7	Angulo superior interno	Punto sobre el aspecto más profundo del ángulo superior interno de la orbita	EN VISTA FRONTAL. DESDE LA LINEA OCLUSAL HASTA LA MITAD DE LA FRENTE.
8	Angulo superior externo	Punto sobre el aspecto más profundo del ángulo superior externo de la orbita	EN VISTA FRONTAL. DESDE LA LINEA

			OCLUSAL HASTA LA MITAD DE LA FRENTE.
9	Angulo INFERIOR EXTERNO	Punto sobre el aspecto más profundo del ángulo inferior externo de la orbita	EN VISTA FRONTAL. DESDE LA LINEA OCLUSAL HASTA LA MITAD DE LA FRENTE.
10	Angulo inferior interno	Punto sobre el aspecto más profundo del ángulo inferior interno de la orbita	EN VISTA FRONTAL. DESDE LA LINEA OCLUSAL HASTA LA MITAD DE LA FRENTE.
	Curvas	7 semilandmarks	Los landmarks se puede colocar uno sobre otro haciéndolos coincidir
4 curvas y 28 landmarks en cada órbita			
Apertura piriforme			
11	Nasion	Punto medio sutura nasofrontal	Se traza sobre el hueso frontal. EN VISTA FRONTAL. DESDE LA LINEA OCLUSAL HASTA LA MITAD DE LA FRENTE.
12	Sutura Fronto-maxilo-nasal izquierda	Punto sobre la sutura Fronto-maxilar nasal izquierda	Trazado sobre el hueso frontal. EN VISTA 3/4. No siempre la sutura está conformada por los tres huesos, en ese caso proyectar la sutura al hueso frontal
13	Maxilo-nasal izquierdo	Punto en la sutura de los huesos nasales y hueso maxilar izquierdo.	Cuando no esté presente el hueso nasal se utilizará su huella y se trazará sobre el hueso maxilar. EN VISTA 3/4. DESDE LA LINEA OCLUSAL HASTA LA MITAD DE LA FRENTE. Mirando el extremo inferior de los huesos nasales
14	Punto en la máxima apertura nasal izquierda	Se traza en el punto más ancho de la concavidad de la apertura nasal izquierda	Se debe buscar y trazar en la vista frontal. EN VISTA SAGITAL. DESDE LA LINEA OCLUSAL HASTA LA MITAD DE LA FRENTE.
15	Espina Nasal anterior	Punto de la espina nasal anterior sobre el reborde de la apertura piriforme. Si no está la base se coloca sobre la base lateral en donde inicia.	Se debe localizar y trazar en la vista anterior, si esta bifurcada se traza sobre la sutura en el punto medio. EN VISTA lateral. En FH DESDE LA LINEA OCLUSAL HASTA LA MITAD DE LA FRENTE.
4 curvas 28 landmarks			
Malar			
16	Punto medial más profundo de la unión de la escotadura maxilar malar en unión con la apófisis alveolar		Sobre el reborde, en el nacimiento de la apófisis malar. EN VISTA FRONTAL. DESDE LA LINEA OCLUSAL HASTA LA MITAD DE LA FRENTE.
17	Punto más inferior de la apófisis malar.	punto sobre la sutura, sobre el maxilar, en caso de que la sutura no se vea el punto más inferior	Este punto mira abajo

18	Punto más profundo superior sobre la escotadura maxilar malar	Línea imaginaria desde los dos anteriores y ubicar el punto más profundo, medir la mutad entre los dos puntos anteriores	EN VISTA FRONTAL. DESDE LA LINEA OCLUSAL HASTA LA MITAD DE LA FRENTE.
19	Punto más INFERIOR sobre la sutura temporomalar. En el MALAR	Cuando la vista sea de perfil poner el cráneo en FH	Vista de perfil Esta flecha mira abajo
20	Punto inferior medio entre el punto más bajo de la apófisis malar y la sutura temporomalar sobre el arco cigomático sobre el borde inferior. En el malar	Medir la distancia y colocar el punto en la mitad, esta flecha mira abajo	VISTA DE PERFIL.
21	Punto más posterior sobre la sutura frontomalar. EN EL FRONTAL		VISTA PERFIL
22	Punto más sobresaliente posterior sobre la apófisis frontal del malar.	Esta flecha mira atrás	VISTA PERFIL
23	Punto más superior en la sutura temporal malar.		VISTA PERFIL sobre el hueso malar
Infraorbitaria			
24	Punto A	Punto más profundo en la concavidad del maxilar	VISTA PERFIL corregirla en vista frontal
25	Punto Prostion	Punto más sobresaliente en el reborde alveolar superior	VISTA FRENTE unir los rebordes óseos de los dos centrales, el borde inferior de la base del punto debe tocar el reborde de la hoja
26	Punto medio entre incisivo lateral y canino reborde alveolar		EN VISTA 3/4
27	Punto medio entre los dos premolares		Después de dos dientes VISTA LATERAL
Mandíbula			
28	Punto infradental entre los incisivos centrales inferiores		Si la línea media dental esta desviada, se respetará la línea media DENTAL SI NO ESTAN AL MISMO NIVEL USAR EL DERECHO VISTA FRONTAL
29	Punto B	Punto más profundo	VISTA DE PERFIL Y CORREGIDO EN VISTA frontal PARA QUE ESTE EN LINEA MEDIA
30	Punto Gnation (mentón)	Punto más antero inferior de la curvatura	VISTO DE FENTE
31	Prostion al incisivo lateral izquierdo entre el espacio entre el incisivo lateral y el canino	Tomar el nivel óseo del diente inmediatamente anterior derecho	Si la línea media esta desviada, se tomara el punto medio del lateral. EN VISTA 3/4
32	Punto sobre el reborde mandibular más anterior	Utilizar la guía horizontal colocada en el punto anterior	VISTA DE FRENTE

	e inferior proyectado paralelo entre el punto incisivo lateral y el canino		
33	Prostion al primer premolar izquierdo entre el espacio entre el primer y segundo premolar.		VISTA DE LADO NO OLVIDAR PONER EN FH, TENER EN CUENTA EL NIVEL OSEO DEL DIENTE INMEDIATAMENTE ANTERIOR DERECHO
34	Punto sobre el reborde mandibular perpendicular al landmark anterior	Colocar el punto sobre el borde de la mandíbula, borde posterior del PUNTO, con el borde anterior del conducto Montonero	Se coloca el plano coronal sobre la parte más anterior del conducto mentoniano y donde corte con la mandíbula en su borde posterior, la flecha mira diagonal abajo y adelante
35	Punto final de la línea oblicua externa del borde anterior de la rama	Corroborar que quede sobre el lomo que se forma entre las dos líneas	Vista de lado
36	Punto, sobre el reborde mandibular inferior perpendicular al punto anterior	Utilizar el plano coronal	Vista de lado
37	Gonio	Al ojo, la flecha debe murar atrás	Vista lateral
38	Punto más posterior en el cuello del cóndilo		Ver desde todas las vistas, altura sobre la parte más estrecha (cuello) y sobre el lomo posterior
39	Punto medio de la escotadura sigmoidea		EN VIATA LATERAL CON FH U LAS AREDES PIRIFORMES ALINADAS, LINEA IMAGINARIA SOBRE CONDILO Y CORONOIDES Y EL PUNTO MAS PROFUNDO
40	Punto superior en la apófisis corónides		VISTA LATERAL CON EL CRANEO EN FH Y PIRIFORME
41	Punto más anterior de la apófisis corónides		COLOCANDO UNA MARCA PERPENDICULAR A FH Y DONDE PRIMERO TOQUE
Apófisis Mastoides			
42	Punto posterior del conducto auditivo externo óseo donde nace la apófisis mastoides	El cráneo estandarizado en vista lateral	En la mitad de la estructura que hace de pilar (anteroposterior) y en sentido vertical el más bajo
43	Punto más inferior de la apófisis mastoides	Esta flecha debe mirar abajo	
44	Punto posterior sobre línea horizontal que pasa por el borde auditivo donde termina la apófisis mastoides	SE CORRIGE CENTRNADOLO EN EL BORDE POSTERIOR DE LA APOFISIS	No olvidar verificar la fosita posterior a la mastoides y una proyección superior a esta fosa donde termina la apófisis

45	Punto medio superior de la apófisis mastoideas a la altura del punto posterior del conducto auditivo	Entre el punto del nacimiento y la terminación de la mastoideas, punto medio	
Frontal y occipital			
Colocar el plano anteroposterior en el punto Nasion y sobre las sutura coronal, Lambdoidea y en el agujero magno localizar			
46	Punto Bregma	En el frontal	
47	Punto Lambda	En el occipital	
48	Punto opistion	Punto más posterior sobre el agujero magno	
Colocar el plano anteroposterior en el punto medio del reborde supra-orbitario y localizar			
49	Punto en la sutura coronal	Exactamente sobre la sutura	
50	Punto en la sutura Lambdoidea	Como esta sutura es una interdigitación colocarla en la mitad, si por ejemplo la línea toca las sutura en tres puntos tomar el punto medio, si la toca en dos puntos tomar la mitad	
51	Punto en el borde del agujero magno construido como proyección del plano anteriormente mencionado con la intersección del cóndilo del occipital donde toque dicho borde		

F. Anexo: Aspectos éticos

El presente estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de Colombia y estuvo regulado por un acta entre investigadores y el IMLCF, con el fin de establecer y firmar compromisos entre las partes. Se anexa copia.



INSTITUTO NACIONAL DE MEDICINA LEGAL Y CIENCIAS FORENSES
Establecimiento Público Adscrito a la Fiscalía General de la Nación
SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
GRUPO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y BIBLIOTECA FORENSE

ACTA DE COMPROMISO PARA INVESTIGADORES E INICIO DEL PROYECTO

Por el carácter legal sobre reserva sumarial que posee toda la información generada en el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, es necesario establecer y firmar compromisos con las personas que realicen investigaciones científicas que impliquen la participación directa o indirecta de la entidad, especialmente cuando se requiera: consultar informes periciales o cualquier otro tipo de documento físico o incorporado en las bases de datos; utilizar componentes anatómicos de cadáveres o fluidos biológicos; realizar grabaciones de cualquier índole; efectuar impresión de imágenes; y practicar entrevistas a los funcionarios o usuarios.

En virtud de lo anterior y teniendo en cuenta que la propuesta Nro.019-2013, titulada: **“Caracterización craneomandibular en una muestra de población colombiana contemporánea con aplicación clínica reconstructiva e identificación forense de cadáveres en condición de no identificados.”**, surtió los procesos evaluativos establecidos en el Procedimiento de Gestión de Proyectos de Investigación Científica del INMLCF, código DG-M-P-02-V-03, las suscritas investigadoras **Clementina Infante Contreras**, identificada con la cédula de ciudadanía Nro.41540588, **Nancy Esperanza Castro Guevara**, identificada con la cédula de ciudadanía 60318492 y **Martha Patricia Rojas Sánchez**, identificada con la cédula de ciudadanía 35473872, responsables del hoy proyecto Nro.PROY-004-2014, se comprometen libre y voluntariamente a:

1. Cumplir con la normatividad vigente, principalmente:

La Constitución Nacional de 1991; Ley 9 de 1979 (Código Sanitario Nacional); Ley 23 de 1982 (Derechos de Autor); Ley 44 de 1993 (Derechos de Autor); Ley 73 de 1988 (donación y trasplante de órganos y componentes anatómicos para fines de trasplantes y otros usos terapéutico); Ley 600 de 2000 (Código de Procedimiento Penal); Ley 734 de 2002 (Código Disciplinario Único); Ley 919 de 2004 (Prohíbe la comercialización de componentes anatómicos); Ley 906 de 2004 (Código de Procedimiento Penal); Decreto 1608 de 1978 (Reglamenta el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente); Decreto 2493 de 2004 (reglamentan parcialmente las Leyes 9ª de 1979 y 73 de 1988, en relación con los componentes anatómicos); Decreto 1375 de 2013 (Reglamentan las colecciones biológicas); Decreto 1376 de 2013 (Reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica); Resolución 08430 de 1993 -MS- (Normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud); Resolución 01995 de 1999 - MS - (Por la cual se establecen normas para el manejo de la Historia Clínica); Resolución 0485 de 2002 - INMLCF - (Reglamenta el procedimiento para la entrega de cadáveres y componentes anatómicos que se obtengan de los mismos, para fines de docencia e investigación); Resolución 06394 de 2004 - FGN - (adopta el manual de procedimientos del Sistema de Cadena de Custodia para el Sistema Penal Acusatorio); Resolución 02640 de 2005 - MPS - (Reglamentan los artículos 3º, 4º, 6º parágrafo 2º, 7º numeral 10, 25 y 46 del Decreto 2493 de 2004); Resolución 2770 de 2005 - FGN - (modifica el manual de

FORMATO DG-M-P-02-F-13



“Servicio Forense Efectivo”

Calle 7 A N° 12 - 61 piso 2 dic@medicinalegal.gov.co
Teléfonos: 4069944 – 4069977, Ext: 1241–1242-1244, Fax: 1244 Bogotá - Colombia
www.medicinalegal.gov.co

3º Congreso Internacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 17º Congreso Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses y
16º Reunión Anual Iberoamericana de AICEF
Cien años de Medicina Legal y Ciencias Forenses: la historia, el hoy y hacia el mañana
Bogotá, Colombia. 15 a 19 de septiembre de 2014



INSTITUTO NACIONAL DE MEDICINA LEGAL Y CIENCIAS FORENSES
Establecimiento Público Adscrito a la Fiscalía General de la Nación
SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
GRUPO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y BIBLIOTECA FORENSE

- procedimientos del sistema de cadena de custodia); Resolución 042 de 2008 - MPS - (modifica el artículo 20 de la Resolución 2640 de 2005); Resolución 1065 de 2013 INMLCF - (reglamenta la inscripción de entidades para la obtención de cadáveres, componentes anatómicos y tejidos con fines de trasplante, docencia e investigación); Código Procedimiento Civil, artículo 74; Código de Procedimiento Administrativo y Contencioso Administrativo; y demás normas complementarias y afines a la temática de la investigación.
2. Acatar los objetivos, metodología, cronograma, presupuesto y demás componentes de la versión de la propuesta de investigación que fue aprobada; aceptando que en caso de requerirse cambios durante la ejecución del proyecto, informarán y solicitarán las modificaciones al GNICBF. Es de aclarar que únicamente mediante la autorización escrita del Grupo Nacional de Investigación Científica y Biblioteca Forense, se podrá cambiar o modificar el proyecto de inversión y el rubro solicitado o aprobado.
 3. Utilizar la información obtenida de los archivos institucionales solo para los fines académico-pedagógicos y de investigación científica, propios del proyecto, y de mantener en reserva absoluta la identidad de las personas involucradas en el estudio.
 4. Diligenciar y tramitar ante las instancias competentes lo atinente al consentimiento informado de las víctimas o sus familiares cercanos; siempre que el caso lo amerite.
 5. Observar y acatar las normas generales de bioseguridad, exigidas por el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.
 6. Portar permanentemente en lugar visible el carné de identificación. Las personas externas autorizadas por el Instituto, al concluir la investigación deberán devolver el carné mediante documento escrito.
 7. Respetar la autonomía del Instituto en cuanto al diseño y programación de sus actividades.
 8. Entregar al GNICBF informes trimestrales de avance del proyecto, a partir del término de que trata el numeral 15 de la presente acta.
 9. Entregar en medio magnético e impreso (*empastado*), al Grupo Nacional de Investigación Científica y Biblioteca Forense, el trabajo final del proyecto de investigación, el cual deberá ser allegado cumpliendo los parámetros establecidos en la "*Guía para la Presentación de Informe Final*".
 10. Entregar en medio magnético la base de datos generada a partir de la revisión de los casos estudiados
 11. Propender por publicar un artículo de los resultados de la investigación en la revista científica del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. En caso de pretender el investigador publicar el artículo en otro medio diferente al ya señalado, deberá comunicar por escrito al GNICBF.
 12. Respetar la normatividad vigente en torno a los derechos de autor que corresponde al Instituto y a los investigadores.
 13. Dar los créditos al Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, indicando el lugar donde se realizó el estudio y a qué entidad pertenecen los autores.
 14. Presentar los resultados de la investigación al área involucrada, previa coordinación con el Grupo Nacional de Investigación Científica y Biblioteca Forense.

FORMATO DG-M-P-02-F13

"Servicio Forense Efectivo"
Calle 7 A N° 12 - 61 piso 2 dic@medicinalegal.gov.co
Teléfonos: 4069944 - 4069977, Ext: 1241-1242-1244, Fax: 1244 Bogotá - Colombia
www.medicinalegal.gov.co

3° Congreso Internacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 17° Congreso Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses y 16° Reunión Anual Iberoamericana de AICEF
Cien años de Medicina Legal y Ciencias Forenses: la historia, el hoy y hacia el mañana
Bogotá, Colombia. 15 a 19 de septiembre de 2014



INSTITUTO NACIONAL DE MEDICINA LEGAL Y CIENCIAS FORENSES
Establecimiento Público Adscrito a la Fiscalía General de la Nación
SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
GRUPO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y BIBLIOTECA FORENSE

15. Dar inicio formal al proyecto de investigación el primer día hábil siguiente a la firma del presente documento, en procura de cumplir con el cronograma y alcanzar las metas proyectadas.

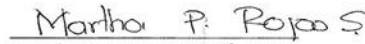
COMPROMISOS EN CASO DE REQUERIRSE GRABACIONES DE CUALQUIER INDOLE

1. Someter el protocolo de investigación al consentimiento del área donde se realizará la entrevista.
2. No hacer reproducción total ni parcial del material de grabación.
3. Mantener el anonimato de los actores en todos los informes y publicaciones generadas aprobadas.
4. Realizar el análisis y la transcripción del material filmado.
5. Entregar en custodia al Grupo Nacional de Investigación Científica Forense, las grabaciones realizadas, una vez transcritas y analizadas las entrevistas.

Una vez leída y aprobada integralmente por los investigadores, se firma la presente acta en dos ejemplares, a los once (14) días del mes de febrero de dos mil catorce (2014).


Clementina Infante Contreras
C.C. Nro. 41540588


Nancy Esperanza Castro Guevara
C.C. Nro. 60318492


Martha Patricia Rojas Sánchez
C.C. Nro. 35473872

Proyectó: Edgar Ramos Saldaña-Profesional Especializado.
Elaboró: Edgar Ramos Saldaña-Profesional Especializado.
Revisó: Ricardo Palacio Castillo-Coordinador GNICB

FORMATO DG-M-P-02-F13

"Servicio Forense Efectivo"
Calle 7 A N° 12 - 61 piso 2 dic@medicinalegal.gov.co
Teléfonos: 4069944 – 4069977, Ext: 1241–1242-1244, Fax: 1244 Bogotá - Colombia
www.medicinalegal.gov.co

3° Congreso Internacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 17° Congreso Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses y
16° Reunión Anual Iberoamericana de AICEF
Cien años de Medicina Legal y Ciencias Forenses: la historia, el hoy y hacia el mañana
Bogotá, Colombia. 15 a 19 de septiembre de 2014

G. Anexo: Acuerdo de confidencialidad



**Facultad de Odontología
Maestría en Odontología**

ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

Yo, **MARTHA PATRICIA ROJAS SÀNCHEZ**, mayor de edad y vecina de Bogotá, identificada con cédula de ciudadanía **35473872** expedida en Chía, en mi condición de estudiante de Maestría en Odontología, he aceptado formalmente trabajar en el **Dimorfismo sexual craneofacial en población contemporánea colombiana. Análisis morfométrico geométrico 3D**, declaro que conozco que este tema de trabajo se circunscribe dentro del proyecto de investigación **Biometría craneofacial** como parte del programa general de investigación de dentro del **Grupo de Investigación en Crecimiento y Desarrollo Craneofacial** en la Universidad Nacional de Colombia. Por tal razón, consciente de que en el desarrollo de mi trabajo podré usar información privilegiada previamente lograda, propiedad de la Universidad y con características y usos potenciales promisorios, y que igualmente, es posible que en mi trabajo se alcancen resultados e informaciones de interés para el futuro del proyecto de investigación, me comprometo a manejar de manera confidencial los resultados y demás información relativa a mi trabajo de grado, atendiendo especialmente lo consignado en las siguientes cláusulas:

1. Aplicar el manejo confidencial a toda la información que se me suministre con esas características como insumo para el desarrollo del trabajo y extender ese

tratamiento a los resultados alcanzados, reportándolos solamente al director del trabajo.

2. No emplear la información relacionada con mi trabajo, o cualquiera otra referida al proyecto de investigación, en beneficio propio o de terceros mientras conserve sus características de confidencialidad o mientras sea manejada como un secreto empresarial.
3. Informar clara y lealmente si en cualquier momento en el desarrollo del trabajo surgen intereses de mi parte que riñan con el interés de la Universidad. Se entiende por tal cualquiera intención más allá del ámbito académico que entre en conflicto con los intereses económicos o sociales que pudieren derivarse de la aplicación de los resultados de investigación. El acatamiento de este punto no implica necesariamente rompimiento del acuerdo si no reordenamiento de la relación.
4. Aceptar que cualquier publicación relacionada con el trabajo de investigación requiere autorización que deberé tramitar ante el director del trabajo, presentando el texto a publicar con un mes de antelación a la fecha en que se desea enviar a edición. Las anotaciones o correcciones del director y/o del comité revisor deberán ser atendidas sin objeciones y se relacionarán exclusivamente con información confidencial o susceptible de protección. Esta previsión deberá aplicarse igualmente al texto que constituirá el trabajo o tesis de grado.
5. Informar inmediatamente al director sobre cualquiera hallazgo o innovación alcanzada en el desarrollo de mi trabajo, y a colaborar con mi mayor diligencia en la documentación y declaración de lo hallado y a mantener sobre todo ello los compromisos de confidencialidad requeridos y necesarios.
6. Fijar como vigencia del presente acuerdo el tiempo de ejecución del trabajo y cinco años más después de concluido. No obstante, si la Universidad requiriese ampliar ese plazo sobre alguna de la información que llegue a conocer, aceptaré una ampliación por el mismo término con tan sólo se me notifique por correo electrónico.

Los compromisos y derechos aquí previstos se encuentran regulados por la legislación, los reglamentos y la doctrina vigente en Colombia, como es posible confrontar en: la Ley 23 de 1982, Decisión 351 CAN, Circular 06 de 2002 DNDA, artículo 308, Ley 599 de 2000, Ley 256 de 1996, Decisión 486 de la CAN, Tit. XVI, Acuerdo 035 de 2003 C.A.

Anexo: Acuerdo de confidencialidad

En constancia y refrendación de lo declarado suscribo libremente el presente acuerdo, a los 8 días del mes de febrero de 2013, en la ciudad de Bogotá.

Nombre: Martha Patricia Rojas S.

Cédula: 35473872

Martha Patricia Rojas S.

H. Anexo. Carta aprobación del comité de ética



CIE187-13

Bogotá D.C., viernes, 28 de junio de 2013

Doctor
DIEGO BETANCOURT
Facultad de Odontología
Universidad Nacional de Colombia

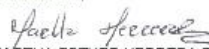


Apreciado Doctor:

Cordialmente le informo que el Comité de Ética y Metodología en Investigación de la Facultad de Odontología, en su sesión del lunes 17 de Junio de 2013, Acta 10-13, luego de revisar el proyecto recibido para su estudio y aval del proceso de inscripción, emitió el concepto que se relaciona a continuación:

MAESTRIA EN ODONTOLOGIA	
Estudiante	35473872 MARTHA PATRICIA ROJAS SÁNCHEZ
Título de trabajo	DIMORFISMO SEXUAL CRÁNEO FACIAL EN POBLACIÓN CONTEMPORÁNEA COLOMBIANA. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO GEODÉTRICO 3D"
Director	Dra. CLEMENTINA INFANTE C
Codirector	Dr. JOAO VICTOR MUÑOZ DURÁN
Concepto	APROBADO

Cordialmente,


MARTHA ESTHER HERRERA RUIZ
Directora del Centro de Investigación y Extensión
Facultad de Odontología

Referencias Bibliográficas

1. Rodríguez Cuenca JV. La antropología forense en la identificación humana. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2004.
2. Rodríguez JV. Introducción a la antropología forense. Análisis e interpretación de restos óseos humanos. 1. a ed. Santa Fe de Bogotá: Anaconda Editores; 1994.
3. Pucciarelli HM. Evolución y Diversificación Biológica y humana desde la perspectiva craneofuncional. Rev Argent Antropol Biol. 2010;12(1):79-82.
4. Martínez-Abadías N, Esparza M, Sjøvold T, González-José R, Santos M, Hernández M. Heritability of human cranial dimensions: comparing the evolvability of different cranial regions. J Anat. 2009;214(1):19-35.
5. Retamal R. Efectos de la deformación craneana intencional sobre la expresión del dimorfismo sexual en cráneos adultos: Un análisis morfométrico geométrico. [Tesis pre grado]: Universidad de Chile; 2004.
6. Arrighi A. Dimorfismo sexual humano. Rev Asoc Medica Argent. 2012;125(1):9-18.
7. García Mancuso R. Análisis biantropológico de restos esqueléticos de individuos subadultos. Diagnóstico de edad y sexo, y validación técnico metodológica. [Tesis doctoral]: Universidad de La Plata; 2012.
8. Franklin D, Cradini A, Flavel A, Kuliukas A. The application of traditional and geometric morphometric analyses for forensic quantification of sexual dimorphism: preliminary investigations in a Western Australian population. J Legal Med.2012;126:549-558
9. Katzenberg MA, Saunders SR. Biological anthropology of the human skeleton. 2 ed. Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons; 2007.
10. Desantolo B. Validación metodológica para la estimación de edad en restos óseos humanos adultos: Análisis histomorfométrico. [Tesis doctoral]: Universidad de La Plata; 2012

-
11. Slice DE, Ross A. Geometric Morphometric Classification of Crania for Forensic Scientists. 2009 [citado 25 de abril de 2014]. Recuperado a partir de: <http://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/231196.pdf>
 12. Saini V, Srivastava R, Shamal S, Singh TB, Pandey A, Tripathi S. Sex determination using mandibular ramus flexure: a preliminary study on Indian population. *J Forensic Leg Med.* 2011;18:208-212.
 13. Kimmerle E, Ross A, Slice D. Sexual Dimorphism in America: Geometric Morphometric Analysis of the Craniofacial Region. *J Forensic Sci.* 2008;53(1):54-57.
 14. Bigoni L, Velemínská J, Bruzek J. Three-dimensional geometric morphometric analysis of cranio-facial sexual dimorphism in a Central European sample of known sex. *HOMO J Comp Hum Biol.* 2010;61:16-32.
 15. Green H, Curnoe D. Sexual dimorphism in Southeast Asian crania: A geometric morphometric approach. *J Comp Hum Biol.* 2009;60:517-534.
 16. Frayer D, Wolpoff M. Sexual Dimorphism - *Ann Rev Anthropol.* 1985;14(1):429-473
 17. Mazza B. Determinación sexual en cráneos de sitios arqueológicos del humedal del Paraná inferior. Una aproximación desde análisis cualitativos y cuantitativos. *Rev Argent Antropol Biol.* 2013;15(1):15-28.
 18. Buikstra JE, Ubelaker DH. Standards for data collection from human skeletal remains. *Am J Hum Biol.* 1995;7(5):672-672.
 19. Badawi-Fayad J, Cabanis E-A. Three-dimensional procrustes analysis of modern human craniofacial form. *Anat Rec Adv Integr Anat Evol Biol.* 2007;290(3):268-276.
 20. Pérez I. Morfometría de poblaciones humanas prehistóricas: Una comparación de técnicas tradicionales y geométricas. *Intersecc Antropol.* 2003;4:121-129.
 21. Moyers R, Bookstein FL. The inappropriateness of conventional cephalometrics. *Am J Orthod.* 1979;75(6):599-617.
 22. Pretorius E, Steyn M, Scholtz Y. Investigation into the usability of geometric morphometric analysis in assessment of sexual dimorphism. *Am J Phys Anthropol.* 2006;129(1):64-70.
 23. Cevidanes LHC, Oliveira AEF, Grauer D, Styner M, Proffit WR. Clinical Application of 3D Imaging for Assessment of Treatment Outcomes. *Semin Orthod.* 2011;17(1):72-80.
 24. Da Silveira A, Daw J, Kusnoto B, Evan C, Cohen M. Craniofacial applications of three-dimensional laser surface scanning. *J of Craniofac Surg.* 2003;14(4):449-456

Referencias Bibliográficas

25. Hajeer MY, Millett DT, Ayoub AF, Siebert JP. Current Products and Practices Applications of 3D imaging in orthodontics: Part I. *J Orthod*. 2004;31(2):154-162.
26. Singh GD. Digital diagnostics: Three-dimensional modelling. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2008;46(1):22-26.
27. Grauer D, Cevidanes LSH, Proffit WR. Working with DICOM craniofacial images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;136(3):460-470.
28. Rohlf F, Marcus L. A Revolution in Morphometrics. *TREE*. 1993;8(4):129-132.
29. Toro I, Manríquez S, Suazo G. Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa. *Int J Morphol*. 2010;28:977-990.
30. Rohlf F. On Applications of Geometric Morphometrics to Studies of Ontogeny and Phylogeny *Syst Biol*. 1998;47(1):147-158.
31. Mitteroecker P, Gunz P. Advances in Geometric Morphometrics. *Evol Biol*. 2009;36:235-247.
32. Mitteroecker P, Gunz P, Windhager S, Schaefer K. A brief review of shape, form, and allometry in geometric morphometrics, with applications to human facial morphology. *Hystrix Italian J Mammal*. 2013;24(1):59-66.
33. Adams D, Rohlf JL, Slice D. A field comes of age: geometric morphometrics in the 21 st century. *Hystrix Italian J Mammal*. 2013;24(1):7-14.
34. Adams D, Rohlf FJ, Slice D. Geometric Morphometrics: Ten Years of Progress Following the «Revolution». *Ital J Zool*. 2004;71:5-16.
35. Rohlf JL. On Application of Geometric Morphometrics to Studies of Ontogeny and Phylogeny. 1998;47(1):147-158.
36. Cardini A, Loy A. On growth and form in the «computer era»: from geometric to biological morphometrics. *Hystrix Italian J Mammal*. 2013;24(1):1-5.
37. Gunz P, Mitteroecker P. Semilandmarks: a method for quantifying curves and surfaces. *Hystrix Italian J Mammal*. 2013;24(1):103-109
38. Schaefer K, Bookstein FL. Does geometric morphometrics serve the needs of plasticity research? *J Biosci*. 2009;34(4):589-599.
39. Pérez I, Bernal V, González P. Differences between sliding semi-landmark methods in geometric morphometrics, with an application to human craniofacial and dental variation. *J Anat*. 2006;208:769-784.

-
40. Bookstein FL. Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group differences in outline shape. *Med Image Anal.* 1997;1(3):225-243.
 41. Gunz P, Mitteroecker P, Bookstein FL. Semilandmarks in Three Dimensions. En: Slice DE, editor. *Modern Morphometrics in Physical Anthropology.* New York: Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers. 2013:73-98.
 42. Halazonetis DJ. Morphometrics for cephalometric diagnosis. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2004;125(5):571-581.
 43. Jaramillo A, Prieto F, Boulanger P. Inspección de piezas 3D: revisión de la literatura. *Rev Ing E Investig.* 2007;27(3):118-126.
 44. Halazonetis DJ. From 2-dimensional cephalograms to 3-dimensional computed tomography scans. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;127(5):627-637.
 45. Passariello G, Mora F. *Imágenes Médicas: Adquisición, Análisis, Procesamiento e Interpretación.* 1 ed. Caracas, Venezuela: Equinoccio, Ediciones de la Universidad Simón Bolívar;1995
 46. DANE. Colombia una nación multicultural: su diversidad étnica. 2007 [citado 23 de enero de 2014]. Recuperado a partir de: http://www.dane.gov.co/files/censo2005/etnia/sys/colombia_nacion.pdf
 47. Bustos I, Acosta M, Bravo M, Builes J, Caraballo L. Colombia: país genéticamente megadiverso en poblaciones humanas caracterizadas por sistemas STRs. VI jornadas de genética forense. Grupo español-portugués de la sociedad internacional de genética forense, 4. [citado 27 de enero de 2014]. Recuperado a partir de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1357763>
 48. Delgado M. Diversificación Morfológica y poblamiento temprano del Noroccidente de Suramérica. *Rev Colomb Antropol.* 2012;48(1):189-232.
 49. Pucciarelli HM. Migraciones y variación craneofacial humana en América. *Complutum.* 2004;(15):225-248.
 50. Yunis E, Yunis JJ. *El ADN en la identificación humana.* Bogotá: Editorial Temis; 2002.
 51. Duque C, Parra M, Valencia AV, Bedoya G, Ruiz-Linares A. Comparación de cuatro programas utilizados en la determinación de la composición genética ancestral de la población antioqueña. *Rev Colomb Antropol.* 2012;48(1):233-257.
 52. Córdoba L, García J, Hoyos L, Duque C, Rojas W, Carvajal S, et al. Composición genética de una población del suroriente de Colombia. *Rev Colomb Antropol.* 2012;48(1):21-48.

Referencias Bibliográficas

53. Rojas W, Parra MV, Campo O, Caro MA, Lopera JG, Arias W, et al. Genetic make-up and structure of Colombian populations by means of uniparental and biparental DNA markers. *Am J Phys Anthropol.* 2010;143(1):13-20.
54. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Colombia) CA de AE. Estimación de la migración 1973 - 2005. Bogotá: UNFPA; 2008.
55. Bonilla R, Torrad M, Barrios M, Navarro F, Quiroga B, Cano G, Bermúdez J. Situación actual y prospectiva de la niñez y la juventud en Colombia. . [citado 27 de enero de 2014]. Recuperado a partir de: http://www.emdialogo.uff.br/sites/default/files/situacao_infancia_e_juv_na_Colombia_0.pdf
56. Rey M, Usaquén W, Acosta E, Parra J. Datos Poblacionales de los Microsatélites de ADN Humano D2S1338, D19S433, Penta D, Penta EY SE-33 de la Región Central Colombiana. *Acta Biol Colomb.* 2009;14(2):161-168.
57. UNIMEDIOS. Mapa genético de los colombianos. 2014 [citado 4 de junio de 2014]. Recuperado a partir de: <http://historico.unperiodico.unal.edu.co/ediciones/105/15.html>
58. Bastir M, Godoy P, Rosas A. Common features of sexual dimorphism in the cranial airways of different human populations. *Am J Phys Anthropol.* 2011;146(3):414-422.
59. Plavcan JM. Understanding dimorphism as a function of changes in male and female traits. *Evol Anthropol.* 2011;20(4):143-155.
60. Klingenberg CP. Heterochrony and allometry: the analysis of evolutionary change in ontogeny. *Biol Rev Camb Philos Soc.* 1998;73(1):79-123.
61. Anzelmo M, Sardi M, Barbeito-Andrés J, Pucciarelli H. Alometrías ontogénicas y dimorfismo sexual facial en dos poblaciones humanas modernas. *Rev Argent Antropol Biol.* 2012;14(1):89-100
62. Schaefer K, Mitteroecker P, Gunz P, Bernhard M, Bookstein FL. Craniofacial sexual dimorphism patterns and allometry among extant hominids. *Ann Anat Anat Anz Off Organ Anat Ges.* 2004;186(5-6):471-478.
63. Bulygina E, Mitteroecker P, Aiello L. Ontogeny of facial dimorphism and patterns of individual development within one human population. *Am J Phys Anthropol.* 2006;131(3):432-443.
64. Bernal V, Pérez SI, González PN. Variation and causal factors of craniofacial robusticity in Patagonian hunter-gatherers from the late Holocene. *Am J Hum Biol Off J Hum Biol Counc.* 2006;18(6):748-765.

-
65. González PN, Pérez SI, Bernal V. Ontogeny of robusticity of craniofacial traits in modern humans: a study of South American populations. *Am J Phys Anthropol.* 2010;142(3):367-379.
66. Celbis O, Iscan MY, Soysal Z, Cagdir S. Sexual diagnosis of the glabellar region. *Leg Med Tokyo Jpn.* 2001;3(3):162-170.
67. Viðarsdóttir US, O'Higgins P, Stringer C. A. Geometric morphometric study of regional differences in the ontogeny of the modern human facial skeleton. *J Anat.* 2002;201(3):211-229.
68. Vidarsdottir US, O'Higgins P. O'Higgins Paul. Development of sexual dimorphism in the facial skeleton of anatomically modern *Homo sapiens* [Abstract]. *Am J Physic Anthropol.* 2001;144 (S52):144.
69. Vidarsdottir SN, O'Higgins P. Developmental variation in the facial skeleton of anatomically modern *Homo Sapiens* in *Patterns of growth and development in the genus homo.* Cambridge: Cambridge University Press; 2003. 114-143.
70. Weston EM, Friday AE, Liò P. Biometric Evidence that Sexual Selection Has Shaped the Hominin Face. *PLoS ONE.* 2007;2(8): e710.
71. Franklin D, O'Higgins P, Oxnard CE. Sexual dimorphism in the mandible of indigenous South Africans: a geometric morphometric approach. *South Afr J Sci.* 2008;104(3-4):101-106.
72. Parker KL, Schedl A, Schimmer BP. Gene Interactions in gonadal development. *Annu Rev Physiol.* 1999;61(1):417-433.
73. Bogin B. Evolutionary perspective on human growth. *Annu Rev Anthropol.* 1999;28:109-153.
74. Coquerelle M, Bookstein FL, Braga J, Halazonetis DJ, Weber GW, Mitteroecker P. Sexual dimorphism of the human mandible and its association with dental development. *Am J Phys Anthropol.* 2011;145(2):192-202.
75. Dean D, Hans M, Bookstein F, Subramanyan K. Three-Dimensional Bolton-Brush Growth Study Landmark Data: Ontogeny and Sexual Dimorphism of the Bolton Standards Cohort. *Cleft Palate Craniofac J.* 2000;37(2):145-156.
76. Ursi WJ, Trotman CA, McNamara JA Jr, Behrents RG. Sexual dimorphism in normal craniofacial growth. *Angle Orthod.* 1993;63(1):47-56.
77. Franklin D, Oxnard CE, O'Higgins P, Dadour I. Sexual dimorphism in the subadult mandible: quantification using geometric morphometrics. *J Forensic Sci.* 2007;52(1):6-10.

Referencias Bibliográficas

78. Samal A, Subramani V, Marx D. Analysis of sexual dimorphism in human face. *J Vis Commun Image Represent*. 2007;18(6):453-463.
79. Walker P. Problems of preservation and sexim in sexing: some lessons from Historical collections for Palaeodemographers. *Age*. 1995;18:18-25
80. Meindl RS, Lovejoy CO, Mensforth RP, Carlos LD. Accuracy and direction of error in the sexing of the skeleton: implications for paleodemography. *Am J Phys Anthropol*. 1985;68(1):79-85.
81. O'Higgins P, Moore WJ, Johnson DR, McAndrew TJ, Flinn RM. Patterns of cranial sexual dimorphism in certain groups of extant hominoids. *J Zool*. 1990;222(3):399-420.
82. Lee S-H. Patterns of size sexual dimorphism in *Australopithecus afarensis*: Another look. *HOMO - J Comp Hum Biol*. 2005;56(3):219-232.
83. Leigh SR. Evolution of human growth. *Evol Anthropol Issues News Rev*. 2001;10(6):223-236.
84. Frayer DW. Sexual dimorphism and cultural evolution in the Late Pleistocene and Holocene of Europe. *J Hum Evol*. 1980;9(5):399-415.
85. Marini E, Racugno W, Borgognini Tarli SM. Univariate estimates of sexual dimorphism: the effects of intrasexual variability. *Am J Phys Anthropol*. 1999;109(4):501-508.
86. Moreddu E, Puymeraill L, Michel J, Achache M, Dessi P, Adalian P. Morphometric measurements and sexual dimorphism of the piriform aperture in adults. *Surg Radiol Anat* 2013;35(10):917-924
87. Grumbach MM. Estrogen, bone, growth and sex: a sea change in conventional wisdom. *J Pediatr Endocrinol Metab*. 2000;13 Suppl 6:1439-1455.
88. Wood C, Lynch J. *Advances in morphometrics*. New York: Springer-Verlag; 2013.
89. Franklin D, Freedman L, Milne N, Oxnard CE. A geometric morphometric study of sexual dimorphism in the crania of indigenous southern Africans. *South Afr J Sci*. 2006;102(5/6):229.
90. Graw M, Czarnetzki A, Haffner HT. The form of the supraorbital margin as a criterion in identification of sex from the skull: investigations based on modern human skulls. *Am J Phys Anthropol*. 1999;108(1):91-96.
91. Garvin HM, Ruff CB. Sexual dimorphism in skeletal browridge and chin morphologies determined using a new quantitative method. *Am J Phys Anthropol*. 2012;147(4):661-670.

-
92. González PN, Bernal V, Pérez SI. Analysis of sexual dimorphism of craniofacial traits using geometric morphometric techniques. *Int J Osteoarchaeol.* 2011;21(1):82-91.
 93. De Paiva LAS, Segre M. Sexing the human skull through the mastoid process. *Rev Hosp Clínicas.* 2003;58(1):15-20.
 94. Thayer ZM, Dobson SD. Sexual dimorphism in chin shape: implications for adaptive hypotheses. *Am J Phys Anthropol.* 2010;143(3):417-425.
 95. Rogers TL. Determining the sex of human remains through cranial morphology. *J Forensic Sci.* 2005;50(3):493-500.
 96. Claes P, Walters M, Shriver MD, Puts D, Gibson G, Clement J, et al. Sexual dimorphism in multiple aspects of 3D facial symmetry and asymmetry defined by spatially dense geometric morphometrics. *J Anat.* 2012;221(2):97-114.
 97. Puts DA. Beauty and the beast: mechanisms of sexual selection in humans. *Evol Hum Behav.* 2010;31(3):157-175.
 98. Rodríguez JV. Dientes y Diversidad Humana. *Avances en Antropología Dental.* 1 ed. Bogotá: Guadalupe; 2003.
 99. Galdames ICS, Matamala DAZ, Smith RL. Sex determination using mastoid process measurements in Brazilian skulls. *Int J Morphol.* 2008;26(4):941-944.
 100. White TD, Black MT, Folkens PA. *Human osteology.* Amsterdam: Elsevier/Academic Press; 2012.
 101. Sanabria C. Dimorfismo sexual en la columna vertebral. [Tesis doctoral]: Universidad de Granada; 2011.
 102. Rosas A, Bastir M. Thin-plate spline analysis of allometry and sexual dimorphism in the human craniofacial complex. *Am J Phys Anthropol.* 2002;117(3):236-245.
 103. Castro N. Modelo de Identificación de Patrones del Tercio Medio Facial en Clase I, II y III Esquelética: Un Análisis Morfogeométrico. [Tesis maestría]: Universidad Nacional de Colombia; 2013.
 104. Martínez L, Infante C. Revisión y aplicación de métodos de morfometría geométrica para el análisis craneofacial. *Rev Científica Soc Colomb Ortod.* 2012;XIX(18):59-76.
 105. Da Silveira AC, Daw JL Jr, Kusnoto B, Evans C, Cohen M. Craniofacial applications of three-dimensional laser surface scanning. *J Craniofac Surg.* 2003;14(4):449-456.
 106. Toma AM, Zhurov A, Playle R, Richmond S. A three-dimensional look for facial differences between males and females in a British-Caucasian sample aged 151/2 years old. *Orthod Craniofac Res.* 2008;11(3):180-185.

Referencias Bibliográficas

107. Evison M, Dryden I, Fieller N, Mallett X, Morecroft L, Schofield D, et al. Key parameters of face shape variation in 3D in a large sample. *J Forensic Sci.* 2010;55(1):159-162.
108. Velemínská J, Bigoni L, Krajíček V, Borský J, Šmahelová D, Cagáňová V, et al. Surface facial modelling and allometry in relation to sexual dimorphism. *Homo Int Z Für Vgl Forsch Am Menschen.* 2012;63(2):81-93.
109. Hennessy RJ, Kinsella A, Waddington JL. 3D laser surface scanning and geometric morphometric analysis of craniofacial shape as an index of cerebro-craniofacial morphogenesis: initial application to sexual dimorphism. *Biol Psychiatry.* 2002;51(6):507-514.
110. Gayon J. History of the Concept of Allometry. *Amer Zool.* 2000;40:748-758.
111. O'Higgins P. The study of morphological variation in the hominid fossil record; biology, landmark and geometry. *J Anat.* 2000;197:103-120.
112. Klingenberg CP. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Mol Ecol Resour.* 2011;11(2):353-357.
113. Ashraf E. *Morphometrics for nonmorphometricians.* Berlin ; New York: Springer; 2010.
114. Dryden IL. *Statistical shape analysis.* Chichester ; New York: John Wiley & Sons; 1998. 347 p.
115. Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL. *Geometric morphometrics for biologists: a primer.* New York and London: Elsevier Academic Press; 2004.
116. Heffan IV. Copyleft: licensing collaborative works in the digital age. *Stanford Law Rev.* 1997;1487-1521.
117. Harcourt-Smith WEH, Tallman M, Frost SR, Wiley DF, Rohlf FJ, Delson E. Analysis of selected hominoid joint surfaces using laser scanning and geometric morphometrics: a preliminary report. *Mamm Evol Morphol.* 2008;373-383.
118. Klingenberg CP. Morphological Integration and Developmental Modularity. *Annu Rev Ecol Evol Syst.* 2008;39(1):115-132.
119. Accorsi M, Velasco L. *Diagnóstico en ortodoncia 3D.* Sao Pablo: Amolca; 2014.
120. Ladislav M, Pokorný P. Optical 3D Scanning of Small Parts. *Advanced Materials Research* 468 (2012): 2269-2273.
121. Adams DC, Otárola-Castillo E. Geomorph: an R package for the collection and analysis of geometric morphometric shape data. *Methods. Ecol Evol.* 2013;4(4):393-399.

-
122. R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. 2014. <http://www.r-project.org/>
123. Falissard B, Falissard MB. Package 'psy'. measurements. 2012;20:37-46.
124. Gordon C, Buikstra J. Soil, pH, Bone preservation, and sampling bias at mortuary sites. *Am Antiq*, 1981:566-571
125. Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD. Geometric Morphometrics for Biologists: a workbook. Academic Press. 2012
126. Bernal V, González PN, Pérez SI, Del Papa MC. Evaluación del error intraobservador en bioarqueología. *Intersecc Antropol*. 2004;(5):129-140.
127. Arnqvist G, Martensson T. Measurement error in geometric morphometrics: Empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape. *Acta Zool Acad Sci Hung*. 1998;44(1-2):73-96
128. Yezerinac S, Loughheed S, Handford P. Measurement Error and Morphometrics Studies Statistical Power and Observer Experience. *Syst Biol*. 1992;41(4):471- 482.
129. Von Cramon-Taubadel N, Frazier BC, Lahr MM. The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: Theory, methods, and modifications. *Am J Phys Anthropol*. 2007;134(1):24-35.
130. Fleiss J, Levin B, ChoPaik M. Statistical Methods for Rates and Proportions. 3 ed. Hoboken: Wiley; 2003.
131. Katina S, Bookstein FL, Gunz P, Schaefer K. Was it worth digitizing all those curves? A worked example from craniofacial primatology. *Am J Phys Anthropol S*. 2007;44:140.
132. Díaz L. Estadística multivariada: Inferencia y Métodos. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2007.
133. Ross A, Ubelaker D, Kimmerle E. Implications of dimorphism, population variation, and secular change in estimating population affinity in the Iberian Peninsula. *Forensic sci int*. 2011;206(1): 214-e1.
134. Everitt B, Landau S, Leese M. Cluster analysis. 5 ta ed. Chichester: Willey; 2001.
135. Timm N. Applied multivariate analysis (Vol. 26). New York: Springer. 2002
136. Friess M, Marcus LF, Reddy DP, Delson E. The use of 3D laser scanning techniques for the morphometric analysis of human facial shape variation. *BAR Int Series*. 2002; 1049:31-35.

Referencias Bibliográficas

137. Iscan MY, Helmer RP. Forensic analysis of the skull. New York: Willey-Liss; 1993
138. Abdel Fatah E, Shirley N, Jantz R, Mahfouz M. Improving Sex Estimation from Crania Using a Novel Three-dimensional Quantitative Method. *J forensic sci.* 2014; 59(3):590-600
139. Rosique J. Determinación del sexo en cráneo y mandíbula en una muestra contemporánea de Medellín. *Manguaré.* 2005;19:213-232
140. González PN. Morfometría geométrica aplicada al análisis del dimorfismo sexual en restos óseos humanos de individuos adultos y subadultos. [Tesis doctoral] Universidad Nacional de La Plata, 2008.
141. González PN, Pérez SI, Bernal V. Ontogenetic allometry and cranial shape diversification among human populations from South America. *Anat Rec.* 2011; 294(11):1864-1874..

Glosario

Alometría: Es la variación morfológica asociada o causada por la variación en tamaño.

Análisis Generalizado de Procrustes (AGP). Método de superposición en estudios morfométricos, en donde coordenadas cartesianas de *landmarks* que definen formas biológicas, son rotadas, reflectadas, trasladadas al origen, y escaladas a la unidad. Este método utiliza el criterio de mínimos cuadrados para ajustar los *landmarks* por medio de un proceso iterado. Una vez las formas están superpuestas o alineadas, es posible realizar análisis estadísticos.

Causa de muerte: Es la enfermedad o injuria responsable de un evento letal.

Configuración: Es la representación de una forma biológica a través de *landmarks*

Conformación (*Shape*): Es la propiedad geométrica de un objeto, invariante a rotación, translación y escala. Se refiere a una forma alineada o ajustada después de ser sometida a un Análisis Generalizado de Procrustes.

Configuración Consenso: Corresponde a la media de la forma o la configuración promedio, obtenida romediando todos los *landmarks* de las configuraciones alineadas. Es obtenida al someter un conjunto de formas biológicas a un AGP.

Coplanaridad: Se refiere a que todos los puntos se ubican en el mismo plano. En el caso objetos 3D a los que se toma una imagen 2D, los puntos ubicados a diferentes profundidades pueden aparecer en el mismo plano de la imagen proyectada.

Dimorfismo sexual: Está definido como las diferencias morfológicas, fisiológicas, bioquímicas y de comportamiento de machos y hembras de una misma especie, y es una característica importante de variación intraespecífica tanto en poblaciones vivas como en restos humanos.

Distancia Procruster: Distancia Euclidiana entre dos configuraciones de coordenadas de Procrustes como medida métrica de sus diferencias en conformación (*shape*).

Escalonamiento ontogénico: En dimorfismo sexual, cuando los individuos masculinos, de mayor tamaño, representan una versión escalada de los individuos femeninos.

Forma: Es la propiedad geométrica de los objetos, invariante a la rotación y a la translación pero no al tamaño, es decir, en su definición esa implícita la escala del objeto.

Grado de dimorfismo sexual: Se refiere a las diferencias en tamaño corporal entre machos y hembras de una especie.

Heterocronía: Son todos aquellos cambios en la tasa y tiempo de los procesos ontogénicos, que dan lugar al cambio de forma y tamaño de un organismo en relación a un estado ancestral.

Iteración: Acto de repetir un proceso con el objetivo de alcanzar una meta deseada, objetivo o resultado. Cada repetición del proceso también se le denomina una "iteración", y los resultados de una iteración se utilizan como punto de partida para la siguiente iteración.

Landmark: Son puntos anatómicos discretos, presentes y reconocidos en todos los individuos de una muestra

Lateralidad: Es el predominio por el uso de un lado del cuerpo.

Manera de muerte: Se refiere a cómo surge la causa de muerte; se clasifica en natural o violenta, la manera de muerte violenta se clasifica en homicidio, suicidio, accidental o indeterminada.

Migraciones: O movimientos migratorios se refiere a cambios de residencia habitual definitivos o indefinidos, de personas en un espacio geográfico, cruzando límites político-administrativo. De acuerdo con la escala de la frontera que sea cruzada, pueden considerarse como migraciones internas o migraciones internacionales.

Ontogenia: Proceso de crecimiento, desarrollo y maduración desde el nacimiento hasta la muerte.

Patrón de dimorfismo sexual: cambios cualitativos en la conformación de determinada forma biológica.

Plasticidad: Capacidad de un genotipo determinado de producir fenotipos diferentes como respuesta a ambientes diferentes.

Procesos tafonómicos post-depositacionales: Se refiere a los procesos de descomposición de un cuerpo humano después de sepultura.

Selección sexual: Postula que ciertos rasgos presentes en un organismo son el resultado de la competencia entre individuos de un mismo sexo por el acceso a la cópula (selección intrasexual) y de la selección por parte de uno de los sexos, usualmente las hembras, de individuos del sexo opuesto (selección intersexual).

Semilandmark: Descritos por Bookstein en 1991, se equiparan a la clasificación de *landmarks* tipo III por la ambigüedad en su definición, están colocados sobre curvas y

Glosario

superficies y presentan una corrección en su localización al ser tratados como datos perdidos.

Tamaño del centroide: Es el valor del tamaño o escala en GM, es conservado en la matriz de datos como una columna aparte. Definido como la raíz cuadrada de las distancias al cuadrado de cada uno de los *landmarks* de una configuración al centro geométrico de la misma.